جاذبية مدهشة

من التفاحة إلى القمر

فرانسوا روتن

جاذبية مدهشة

جاذبية مدهشة

من التفاحة إلى القمر

تأليف
فرانسوا روتن

ترجمة
ميشيل نشأت شفيق حنا

هنداوي

جاذبية مدهشة

فرانسوا روتن

Surprenante Gravité

François Rothen

الطبعة الأولى ٢٠١٦م
رقم إيداع ١٠٩٦٤ / ٢٠١٤
جميع الحقوق محفوظة للناشر مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
المشهرة برقم ٨٨٦٢ بتاريخ ٢٦ / ٨ / ٢٠١٢

مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٠٦٣٥٢ ٢٠٢ + **فاكس:** ٣٥٣٦٥٨٥٣ ٢٠٢ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: http://www.hindawi.org

روتن، فرانسوا.
جاذبية مدهشة: من التفاحة إلى القمر/تأليف فرانسوا روتن.
تدمك: ٧ ٨٩٦ ٧١٩ ٩٧٧ ٩٧٨

١- الفلك

أ- العنوان

٥٢٠

تصميم الغلاف: خالد المليجي.

يُمنَع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية، ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أية وسيلة نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2016 Hindawi Foundation for Education and Culture.
Surprenante Gravité
Originally published in French under the title “Surprenante Gravité”.
Copyright © 2008 Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
All rights reserved.

المحتويات

شكر وتقدير ٩
تمهيد ١١

الرواد ١٥
١- ويستمر الدوران ... لكن بسرعة أقل ١٧
٢- التنين يقف بجوار عقدة ٣٧
٣- ارقص مع القمر ٥٧
٤- قبة فلكية من العصر الحجري الحديث ٧٥
٥- عالم دانتي ٨٩

النهضة ١٠٥
٦- زوجتي وحماتي ١٠٧
٧- محاكمة جاليليو لن تتم ١٢٧
٨- الخسوف أم الكرونومتر؟ ١٤٧
٩- كبلر مسَّاح السماء ١٧١
١٠- السقوط سيكون أكثر قوة ١٨٩
١١- فليكن نيوتن! ٢٠٩

الورثة ٢٣١
١٢- يجب اتخاذ تدابير ٢٣٣
١٣- جاذبية مدهشة ٢٥٣

١٤- الدلائل على حركة الأرض ٢٧١

أكبر الورثة ٢٨٧
١٥- أينشتاين أخيرًا ٢٨٩
١٦- الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي ٣٠٧
١٧- الجاذبية مسألة هندسية ٣٢٣
١٨- ما زال أمامنا الكثير لنعرفه ٣٤٥

الملحقات ٣٤٩
(أ) زيادة مدة طول اليوم ٣٥١
(ب) توالي حالات الخسوف والفترات التقريبية ٣٥٣
(ج) دورة ساروس ٣٥٧
(د) حالات مرور الزهرة ٣٦١
مسرد المفردات ٣٦٥
مراجع الكتاب ٣٧٩
ملاحظات ٣٨٧

تخليدًا لذكرى عزيزتي فيرونيك.

شكر وتقدير

لقد حظيتُ طيلة فترة تأليف هذا العمل بدعمِ الكثيرين، وأودُّ أن أشكر كلَّ من قدموه لي. أودُّ في البداية أن أُعرب عن عميقِ امتناني لجوزيان مول التي تمكنت، دون كلل ودون أن تتخلى عن ابتسامتها، من أن توفر لي بصورة دائمة وسريعة الوثائق الأرشيفية التي كنت أحتاج إليها، فَدُون مساعدتها لم أكن لأجمع نصفها. وأيضًا قدم لي دانييل مونتو بعض الوثائق التي كنتُ أجهل وجودها. وقرأ أنطون فوس مسوَّدة هذا العمل عندما كان من المبكر أن يُدخل عليه تعديلاتٍ ذات أهمية. وسنحت لي الفرصة أيضًا أن أعوِّل على كفاءة العديد من زملائي، إما في أثناء المناقشات أو بقبولهم لقراءة بعض فصول هذا العمل قراءةً نقدية. وأودُّ أن أعرب عن شكري لفولفجانج بستجن وجيوفاني ديتلر وفيليب إبرهارد وميشيل جرينون وجون جويكس وبرنارد هوك وروبير هيجوينين دانييل مونتو وبيير نورث وباول بييرانسكي. وأنقذني كلٌّ من جافت باجيليشيا وميشيل كيسوس وباتريك ستوتز في كل مرة أعاقتني قِلَّةُ كفاءتي في تكنولوجيا المعلومات. أود أيضًا أن أعرب عن جزيل شكري للمطابع الهندسية والجامعية الرومانديةِ، وخاصةً مديرها أوليفيه بابل الذي وافق على نشر هذا العمل. لا أستطيع أن أغفل كريستوف بورلا ومعاونيه الذين قاموا بإنتاجه، بالإضافة إلى جون فرانسوا كاستو الذي تكفل بالرسوم. وفي الختام لا يمكنني أن أُغفل العمل الضخم الذي قامت به زوجتي برنا روتن، التي قرأت من جديد هذا العمل وتحولت إلى مصوِّبة للأخطاء مثلما فعلت ذلك من قبل في موقف مماثل، فتربصتْ للأخطاء والغلطات المطبعية والتفسيرات الخاطئة وأيضًا الفقرات الغامضة. وإذا كانت لا تزال توجد بعض مواطن الغموض خلال قراءة هذا العمل فهي ليست مسئولة عنها على الإطلاق، فأود أن أعرب لها عن امتناني لتعاونها القيم.

تمهيد

ذات مرة حصل طفل صغير السن على كتاب في علم الفلك.

ونظرًا لحماسته في معرفة المزيد عن علمٍ ساحر للغاية، انطلق بمفرده في قراءة مليئة بالمفاجآت، فأسعدته قائمة الكواكب، وظل كوكب الزهرة مبهمًا على الرغم من تشابهه الواضح مع كوكب الأرض. وبدا كلٌّ من المريخ ولغز قنواته، والمشتري وبقعته الحمراء، وزحل وحلقاته؛ قابلًا للفهم نسبيًّا، بينما افتقرت الكواكب الأكثر بعدًا للوضوح. ثم جاء دور الفصل المخصص لقوانين كبلر وحينئذٍ أصبحت الرؤية قاتمة لدى الطفل الصغير.

استخدم مؤلف الكتيب فجأةً لغة مختلفة وعبَّر بأسلوب غامض، ولم يكتفِ بالتأكيد على أن الكواكب ترسم قطعًا ناقصًا، بل تطرَّق إلى أن ثمة علاقةً جبرية غريبة بين المسافة بينها وبين الشمس من ناحية، والمدة التي يستغرقها دورانها من ناحية أخرى. كان هذا الخطاب المعقد غريبًا من وجهة نظر الطفل، إلا أنه بفضل القاموس الموسوعي الذي كان يتصفحه في بعض الأحيان كانت لديه فكرة واضحة بقدر كافٍ عن شكل القطع الناقص، وكان يعرف حتى تلك المنحنيات المسماة بالقطع المكافئ. ولما كان لا يعرف ما هي العلاقة الجبرية، فما قرأه كان خليقًا بأن يتسبب له في حيرة بالغة.

كان واضحًا للطفل الصغير أنه يجب عدم التمسك حرفيًّا بما قرأه في الكتاب. لم يرَ مؤلِّف العمل أنه من الضروري توضيح ذلك، لكنه كان من الغريب أن يتخيل أحدٌ أن الكواكب — تلك الأجرام السماوية الساحرة — ترضى بالخضوع لقوانين الهندسة. كان الطفل الصغير متيقنًا من ذلك، فلا توجد — ولا يمكن أن توجد — علاقة بين العالم السماوي وعالم الرياضيات، فلكلٍّ سحره ولكنهما مختلفان تمامًا. كان من غير المعقول التخيل أن كوكبًا يرسم قطعًا ناقصًا، تمامًا مثل الاعتقاد أن كرات الزجاج الصغيرة الملونة التي كان يحب أن يلعب بها ترسم دائرة عندما يقذفها في الحديقة. ولمَ لا يَكُون أيضًا

قطعًا مكافئًا! ولكن يوجد فرق كبير بين رسم مطبوع على ورقة وبين مَسارٍ سماوي، كان الخلط بينهما سخيفًا للغاية. ومع مراعاة فارق النِّسب، كان من المثير للسخرية بصورة أكبر أن نخوِّل للكواكب القدرةَ على القيام بحسابات. وبعد الهندسة، جاء دور علم الحساب! لم يكن الطفلُ يستطيع أن يصدق قوانين كبلر، فكان أمام معضلة غير قابلة للفهم.

من جهة أخرى، كان من غير المعقول أيضًا أن كتاب علم الفلك قد يكذِب. فقد يحدث أن يقصَّ الأطفال أكاذيب لتفادي عقوبة أو للتفاخر، وهو أمر دائمًا ما تكون نهايته سيئة. فعندما حكى الطفل الصغير لمعلمته في المدرسة أنه يملك خيلًا صغيرًا في المنزل وأن والده فارس، لم تصدقه! حتى إنها استدعت والدته لإخبارها بالأمر. وفي المقابل، يقول الكبار دائمًا الحقيقة، ومؤلف الكتاب شأنه شأن الآخرين. فمن وجهة نظر الطفل كان يوجد تناقض صارخ. فكيف له أن يوفِّقَ بين انعدام العقلانية في التأكيدات المستمَدة من كتابه وبين التيقُّن من أنها صادقة؟ لم يبقَ إلا حلٌّ واحد وسرعان ما سلَّم به الطفل: توصل إلى أن القَطع الناقص والعلاقة الجبرية يمثلان رسالة مشفرة أراد المؤلف إيصالها لقرائه وعليهم أن يفكوا شفراتها، وهو ما لم يستطع الطفل الصغير فعله للأسف.

منذ ذلك الوقت وبمجرد أن صار بالغًا، علم أن الرسالة كانت واضحة، وأن الشمس تتحكم عن بعد في حركة الكواكب، وأن الكواكب ترسم حقًّا قطعًا ناقصًا، وأن كلَّ هذا العالم السماوي الصغير خاضع باستمرار لحسابات لا تَقْوى عليها أقوى أجهزة الحاسوب في عصرنا. يمثل كلُّ ذلك اليوم في عقل الطفل الصغير بناءً متماسكًا، ولكنه لم ينسَ شيئًا من عدم فهمه واندهاشه حيال الفاعلية المخيفة وغير المفهومة للرياضيات في مجال العلوم الدقيقة.

إن قصة الطفل الصغير حقيقية. والغريب في الأمر أن أسئلته كانت تتعلق ببعض المراحل التي تجاوزتها الإنسانية في محاولتها كشفَ سرِّ الساعة السماوية والظواهر التي تحدث فوق رءوسنا. وعلى مدار الألفيات، انطلق القدماء من مفاجأة إلى أخرى.

(١) في بداية تاريخ علم الفلك

كان الكهنة المنجمون في بلاد الرافدَيْن قديمًا يسعَوْن لفكِّ رموز الرسالة التي تخفيها الآلهة في السماء المرصعة بالنجوم. وللتوصُّل إلى ذلك، كان يتعيَّن عليهم مضاعفة الملاحظات

وتسجيلها بأمانة، والتحول في الوقت ذاته لعلماءِ فلكٍ حقيقيين؛ مما أتاح لهم بصورة خاصة إعداد جداول دقيقة لخسوف القمر، وتمكنوا في النهاية من التنبؤ به.

وبمقارنة الجداول البابلية مع جداولنا، قُمنا باكتشافٍ ذي أهمية بالغة. ففي الأزمنة السحيقة كانت مدة طول اليوم أقصر من مدتها الحالية؛ لأن الأرض كانت تدور حول نفسها بسرعة أكبر، وهي شهادة أيَّدها علم الحفريات الذي، بدلًا من أن يفك رموز الألواح المسمارية، استعان بحفريات المرجان للرجوع بالوقت إلى العصر البدائي الذي كانت فيه الأرض بالفعل تدور حول نفسها بسرعة أكبر.

وبعد أن نقلب صفحة العصر الذي كانت فيه الأسماك ملوك الخليقة، قد نخطئ إذا لم نتوقف برهة عند العصر الحجري الحديث حين كانت الكتابة لا تزال غير معروفة في غرب أوروبا. وفي المقابل كان فن العمارة متطورًا بقدر كافٍ؛ فقد ترك لنا آثارًا ميغاليثية لا تزال حتى يومنا هذا تنال إعجاب السائحين. ونظرًا لغياب الشواهد الكتابية يمثل الميغاليث لغزًا ويثير جدلًا لا نهاية له. هل كانت رسالتها دينية أو اجتماعية فحسب، أم أنها تمثل أيضًا مراصد فلكية؟ هل كانت مُوجَّهة عن عمد ناحية الشمس المشرقة؟ هل كانت تُعتبر بمنزلة تقويمات؟ بالطبع لن نعرف أبدًا إجابة هذه الأسئلة. وقد تقودنا الحضارة الميغاليثية للتقليل من قيمة المستوى الثقافي الذي وصلت إليه؛ نظرًا لعدم تركها شواهد كتابية.

(٢) الأربعة الكبار عددهم خمسة

في الوقت الذي أنهت فيه الحضارة الإغريقية صفحات التاريخ، تركت لنا إرثًا ضخمًا اشتعل جزء منه في الحرائق المتعددة التي لحقت بمكتبة الإسكندرية، وإنْ حفِظه ثراؤه من الاختفاء الكامل. وأُنقذ من نسيان العالم العربي له عندما جمعه الغرب في نهاية العصور الوسطى. وبعد هذه الفترات الطويلة من الإهمال، ازدهر منذ ذلك الوقت التراثُ القديم على يد كبار الرموز العلمية في عصر النهضة، ولا سيما على يد الأربعة الكبار الذين صاروا فيما بعد سببًا في وجود علم الفلك الحديث والفيزياء الحديثة. فنذكر كوبرنيكوس الثوري الخجول، وجاليليو المحرض الذي تحدَّى سلطة الكنيسة المذنبة لتخيله أن الكتاب المقدس لا يمكن أن يكذب حتى في أدق التفاصيل. ونذكر أيضًا كبلر المبشِّر الغريب الذي لا يكف عن إنعام النظر في طلاسم السماء واكتشاف كنوزها. ويأتي أخيرًا لتتويج مجهوداتهم نيوتن المتوحد والمتشكك، الذي أنهى فك رموز حركة النجوم. كان جاليليو

قد أكد بقوة أنه لا يمكن التطرق للعلم إذا كنَّا لا نُتقن أولًا اللغة والرياضيات. وبعد عدة عقود، أثبت نيوتن إلى أي مدًى كان جاليليو محقًّا.

ثم تغير العالم. ربما لم يكن الأربعة الكبار، عدا جاليليو، يكفلون مجيء عصر المعرفة لكنهم مهدوا إليه الطريق. واهتمت الحكومات بنِتاج أعمالهم بتشييد مراصد جديدة وتمويل أول شركة دولية ذات رسالة علمية، وكلفت علماء الفلك بتحديد خط الطول في البحر بدقة كافية.

وشهد القرنان الثامن عشر والتاسع عشر استغلال اكتشافات نيوتن وتعميقها. فتساءل الناس حول طبيعة الضوء وعلاقته بالجاذبية، وبرهنوا بالتجربة على أن الأرض تدور، وفسروا هذه الجاذبية المبهمة، ثم تساءلوا رويدًا رويدًا عن أصلها. وفي بدايات القرن العشرين سُجل اسم جديد في قاعة مشاهير العلم إلى جانب أسماء الأربعة الذين سبقوه، هو اسم موظف صغير في المكتب الفيدرالي لبراءات الاختراع بمدينة برن، سمح لنفسه أن يستأنف عمل نيوتن من حيث توقف. يجدر الذكر بأن اسمه أينشتاين.

الرواد

الفصل الأول

ويستمر الدوران ... لكن بسرعة أقل

(١) مُشعل المصابيح

في الرواية المسماة «الأمير الصغير» لأنطوان دي سانت إكزوبيري، يغادر الأمير الصغير كوكبه الشديد الصغر. وبينما يستعد لزيارة كوكبنا، ينتهز الفرصة ليتوقف عند بعض الكويكبات الأصغر حجمًا من كوكبه. ويقطن أحدَ هذه الكويكبات، وهو الأصغر حجمًا، مُشعلُ مصابيح لديه تعليمات بإشعال مصباح كلما غربت الشمس ثم إطفائه بحلول الفجر، وهو تكليف أصبح ثقيلًا للغاية:

جفف مُشعل المصابيح عَرَقَه بمنديل على شكل مربعات حمراء اللون.

– أقوم هنا بعمل فظيع. كان الأمر منطقيًّا فيما مضى. كنت أطفئ المصباح في بداية النهار وأشعله في المساء. وكان لديَّ ما تبقَّى من اليوم للاستراحة وما تبقَّى من الليل للخلود إلى النوم ...

– وهل تغيرت التعليمات منذ ذلك الوقت؟

– لم تتغير التعليمات، وهذه هي المأساة! فقد ازدادت سرعة دوران الكوكب عامًا تِلوَ الآخر ولكن لم تتغير التعليمات!

هل يتعين علينا إقناع مُشعل المصابيح بالإقامة على كوكب الأرض؟ ولكنه بسبب وفائه للتعليمات والتزامه بها، ربما يرفض مثل هذه الدعوة. إنه لَأمر مؤسف! قد تسنح له الفرصة أن يتساءل أسئلة شائكة. فإذا كان كوكب الأرض يدور بسرعة أكبر أو أقل، فكيف ندرك ذلك؟ لقد تم تعريف الثانية في النهاية بكونها جزءًا على ٨٦٤٠٠ جزء من اليوم. وإذا كان دوران الأرض يغير من سرعتها، فإن مدة الثانية ستتغير بالنسبة ذاتها.

سوف يحتاج كوكبنا دائمًا ٨٦٤٠٠ ثانية لكي يقوم بدورة كاملة. ومن يستطع ملاحظة التغيير الطفيف لسرعة الدوران فسيكون ماهرًا للغاية. إذا ألقت بكم العاصفة في جزيرة مهجورة، فستعانون مشقة كبيرة في معرفة إذا كانت الساعة الوحيدة المتبقية لديكم تتقدم أم تتأخر، إلا إذا كنتم قد تلافيتم غرق العديد من الكرونومترات.

ذلك كان الموقف الذي وجد نفسه فيه عالم الفلك الإنجليزي إدموند هالي (١٦٥٦–١٧٤٢). فانطلاقًا من المعطيات التي جمعها قدماء اليونانيين حول بعض حالات الخسوف، استند هالي على اختلافِ ما بين ساعة الأرض والساعة التي تقود المسار السماوي للقمر. ونمتلك اليوم الدليل على أنه لا يمكننا الوثوق بصورة كاملة بالساعات الفلكية؛ حيث تُعد الساعات الذرية أكثر انتظامًا. وما المدهش في ذلك؟ فالساعة الفلكية ليست إلا ساعة آلية ضخمة.

على الرغم مما قد نعتقده، يحدث التفاوت الخاص بالساعة الأرضية بصورة متكررة. كما نشهد حاليًّا تغيرات موسمية وسنوية لمدة طول النهار، بالإضافة أيضًا إلى تغيرات عشوائية تستغرق من بضعة أيام إلى بضعة أسابيع. ومن المؤكد أن هذه القياسات تخبرنا بما يحدث اليوم، ولكنها لا تُعْلمنا شيئًا عن مدة طول النهار في الماضي. فكم كانت مدة طول النهار منذ آلاف السنين، بل منذ ملايين السنين؟ إنه لَسؤال سخيف لا يمكن الإجابة عنه بصورة مباشرة. لمْ تحتفظ الأرض بالطبع بتسجيلات لمدة طول النهار كما كانت عليه في الماضي.

إن هذا خطأ. فلا تكف الدراسة المشتركة لعلوم المعرفة المختلفة عن إخفاء المفاجآت. فمثل هذه التسجيلات موجودة حقًّا، شريطة أن نسأل المستشرقين وعلماء الفلك والحفريات. لكن ينبغي أولًا أن نفكَّ رموز الكتابة المسمارية.

(٢) الكتابة المسمارية

في بلاد الرافدَيْن، تعود النماذج الأولى للكتابة إلى قرابة القرن الثالث والثلاثين قبل الميلاد، وقد تم اكتشافها في مدينة أوروك في بلاد السومريين، وهو شعب كان يستخدم نظامًا أبجديًّا معقدًا مكونًا من أكثر من ٧٠٠ رمز. وقد شهد مثل هذا التطور مراحل تمهيدية، ولكنها لم تصل إلينا. فعلى عكس المصريين المتجمعين حول دلتا النيل، لم يكن سكان بلاد الرافدَيْن يمتلكون ورق البردي، هذا النبات الذي يترعرع في الأراضي المستنقعية. وفي المقابل، كانت بلادُ دجلة والفرات صالحةً لاختراع الكتابة المسمارية لكونها غنية بالطمي.

وكان السومريون ينقشون رموزًا على لوحات من الطمي الرطب التي تحتفظ، بمجرد تجفيفها، بآثار هذه الرموز فترةً طويلة، حتى إنه يمكِننا فك شفراتها في يومنا هذا.

قد يخيل لنا بسذاجة أن اختراع الكتابة أمر بسيط. فلْنفكر في اللغة الدارجة، فوفقًا لقاموس «لو نوفو بوتي روبير» يحتوي علم الصوتيات الفرنسي على ستة عشر حرفَ علةٍ مختلفًا، بما فيها حروف العلة المزدوجة، كما يضم سبعة عشر حرفًا ساكنًا، وثلاثةً من أنصاف حروف العلة؛ أي ستة وثلاثين صوتًا[١] في المجمل. و«لاختراع الكتابة» يكفي إذن أن نعطي لكلِّ صوت علامة خاصة خالية من الغموض، وهكذا نحصل على كتابة فعالة بصورة ملحوظة. ولكن ستبقى بعض المشاكل الجوهرية؛ وهي نصيب كل الكتابات: يتباين علم الصوتيات من منطقة إلى أخرى ومن لغة إلى أخرى، فهو يتغير على مر التاريخ. ولكن لا يعد ذلك عقبة حقيقية؛ لقد استطاعت اللغات الدارجة حاليًّا، التي لا تكُون مطلقًا صوتية بصورة كاملة، أن تتخطاها جميعًا.

إن ذلك لَمنهج جيد ولكنَّ تطبيقه ليس سهلًا. ويسعى تاريخ اللغات والكتابات إلى إثبات ذلك. فقد قامت الكتابات القديمة بتحويل مبادئ بسيطة وملموسة إلى رموز بدلًا من الأصوات، وذلك بتمثيلها عن طريق أشكال مزخرفة وكتابات بالصور وإشارات يكتظُّ بها العالم الحديث؛ نجدها خاصة على لوحات الإشارات المرورية، في محطات القطار وفي المطارات. لا ريب في فائدتها، فهي مختصرة ومستقلة عن اللغة الدارجة لكن تطبيقها محدود؛ لن يفكر أحد في ترجمة «نقد العقل المجرد» على أنه نظام كتابة بالصور. فمن الطبيعي إذن أنه آجلًا أو عاجلًا ستمرُّ الكتابة بمراحل لاحقة، مثل اختراع الألغاز الرمزية؛ فلا تشير الكتابة بالصور إلى الشيء الذي تمثله فقط، لكنها تشير أيضًا إلى المقطع بل الكلمة التي ترمز إليها. ففي لغز رمزي، يمكن لرسم قطة (شا أو Chat بالفرنسية) أن يرمز أيضًا إلى سَمِّ إبرة chas أو إلى مقطع «شا» في كلمة nonchalant (أي غير مبالٍ) مثلما يشير إلى القطة المنزلية. وتسير الكتابة في طريقها نحو مرحلة أقرب إلى نقل اللغة الدارجة، شريطة ألا تتوقف عند هذا الحد. إلا أن الكتابة المسمارية، وهي نتاج تطور بطيء واستكشافاتٍ وظهور لغات جديدة، لم تصل إلى مرحلة التبسيط الأخيرة إلا مرة واحدة. وفي القرن الثالث عشر، اخترعت مدينة أوغاريت، وهي مدينة تجارية ودولية صغيرة في الساحل الفينيقي، كتابةً أبجدية كانت نتاجًا لتبسيط بعض العلامات المسمارية[٢] وتعديلها. ويعد مثل هذا الاكتشاف مفيدًا للغاية عندما تكون التبادلات متكررة والشركاء متعددين.

ظلت بقية بلاد الرافدَيْن غير مكترثة باختراع أوغاريت، ومتمسكةً بألواح الطمي والخناجر المستخدَمة لنقش الرموز عليها وبالطبيعة المقطعية للكتابة السومارية. فإن كل مقطع مكوَّن من حرف علة ومن حرف ساكن أو حرفين كان يُمَثَّل بعلامة خاصة. وعلى غرار ما يمكِننا أن نلاحظه على مدار التاريخ المصري، تَعاقبت الأُسر في بلاد الرافدَيْن وخضعت الشعوب لغازيها ولكن بقيت الكتابات، حتى إن الإمبراطورية الفارسية كانت لا تزال تَستخدم علامات مسمارية خلال الألفية الأولى قبل الميلاد. ويشهد علم الآثار بذلك، ويُدلل على ذلك أيضًا تاريخ بدايات فك رموز هذه الكتابة الغامضة.

(٣) حجر رشيد الكتابة المسمارية

استفاد فك رموز الحروف الهيروغليفية المصرية من اكتشاف حجر رشيد، وهو مسلة تحمل مرسومًا لبطليموس الخامس الملقَّب بإبيفانس مكتوبًا بلغتين (المصرية القديمة واليونانية) وبثلاث كتابات (الهيروغليفية والديموطيقية[٣] واليونانية). وحجر رشيد الكتابة المسمارية هو نقش أثري لداريوس الكبير ملك الفرس من عام ٥٢٢ إلى ٤٨٦ قبل الميلاد، أُعيد اكتشافه في أثناء القرن الثامن عشر في بقايا قصر داريوس، المعروف آنذاك بتشيهيل منار (الأربعين مئذنة) والقريب من مدينة برسبوليس القديمة. كان داريوس أحد أبرز ممثلي الأسرة الأخمينية التي حكمت الإمبراطورية الفارسية منذ بداية القرن السابع وحتى عام ٣٣١ قبل الميلاد، وهو العام الذي أنزلها فيه عن العرش الإسكندر الأكبر. نُهبت مدينة برسبوليس وحُرقت آنذاك. ووفقًا للأسطورة، كان الغازي المقدوني ثَمِلًا، فأشعل بنفسه النيران في القلعة الفارسية بتحريض من تايس، تلك المرأة المنحرفة؛ منتقمًا بذلك لتدمير أثينا على يد الفرس.

نقل هذا النقش المؤرخ والدبلوماسي الدنماركي بارتولد جورج نيبور (١٧٧٦–١٨٣١) الذي كان لديه انطباع أن الكتابة الأثرية لم تكن موحَّدةَ الشكل، بل تنقسم لثلاث مجموعات نوعية. كان نيبور محقًّا، فتتلاءم كل كتابة من النقش مع لغة دارجة في الإمبراطورية،[٤] تَستخدم كلٌّ منها رموزًا مسمارية مختلفة بالقدر الكافي الذي يَلفت انتباه نيبور. والثلاث لغات هي: الفارسي القديم، واللغة العيلامية، والبابلية.

إذا كان التاريخ يُرجِع الفضل لعالم المصريات الفرنسي جون فرانسوا شامبليون (١٧٩٠–١٨٣٢) في فك رموز الحروف الهيروغليفية، فإن تاريخ الكتابة المسمارية يلقي الضوء على العديد من اللاعبين، وخاصَّةً العالم الألماني في فقه اللغة جورج فردريتش

جروتفند (١٧٧٥–١٨٥٣). ففي أثناء دراسته لعلم اللاهوت والفلسفة في جامعة جوتنجن، قضى جروتفند وقتًا طويلًا بصحبة علماء الآثار والمؤرخين والمستشرقين المشهورين، لدرجة أنه كرس نفسه بحماسة لدراسة علم اللغة التقليدي. وفي أوقات فراغه كان يُنمِّي موهبة ملحوظة؛ فمنذ ريعان شبابه كان يحل الألغاز الأكثر صعوبة دون عناء: الأحاجي والألغاز الرمزية والمعضلات المحيرة، فلا يقف أمامه شيء. وسرعان ما أصبح المدير المساعد لمدرسة جوتنجن الثانوية دون أن يتوقف عن ممارسة هواياته المتنوعة. وفي ليلة ما، وبعد وجبة طيِّبة مع صحبة سعيدة، راهَن رِهانًا مذهلًا؛ تعهد بفك رموز الكتابة المسمارية! يحذِّر عالم اللغة أرنست دوبلوفر قائلًا: إذا تحقق رهان جروتفند، «[...] فإن الادعاء مع ذلك بأنه لم يشعر قط بأي حس علمي، وأنه سمع فقط للنداء الطائش لفترة الشباب واللعب؛ هو بمنزلة [...] إنكار لدراساته التمهيدية شديدة الجدية.»[٥]

إذا كان الرهان مذهلًا، فنتيجته كانت أكثر إثارة للذهول؛ فقد توصل جروتفند إلى أهدافه؛ اقتصر في البداية على النقش الأول الذي فكَّر فيه مليًّا بأنه يجب أن يكون مكتوبًا بالفارسية القديمة؛ فبلا شك يخاطب الملك داريوس أتباعه في لغته الخاصة، ثم تأتي الترجمة فيما بعد. ثم لاحظ جروتفند في النص الذي جمعه نييبور أنواعًا من الابتهالات، ولتفسيرها استند إلى المؤرخ اليوناني هيرودوت (حوالي ٤٨٤–٤٢٥ قبل الميلاد) الذي وضع على لسان خشايارشا ما يمكن أن يعد نموذجًا للابتهالات: «[...] لن أكون ابنَ داريوس بنِ إيستاتسب بن أرتامس بن أريامن بن تيسبس بن كورش بن كامبيز بن تسبس بن أشمينيس؛ إذا لم أثأر من الأثينيين!» لا يتبقى لجروتفند سوى افتراضِ أن كل ابتهالة منقوشة على الحجر تتكوَّن على هذا النمط، ثم مراجعة سلالة الملوك الذين يُشتبه أن يكونوا مؤلفي النقش. ثم نعود للتعبير الأصلي الذي أطلقه هيرودوت على هذه الأسماء الإغريقية، يمكن إذن لجروتفند تحديد القيمة الصوتية لمختلف العلامات المسمارية. وهكذا لم يعد يتبقى له سوى أن يحدد بالضبط الرموز المسمارية المستخدمة في اللغة الفارسية القديمة.[٦]

لا تكون الأمور أبدًا بهذه البساطة، ولا يمكننا اختصار تاريخ فك الرموز في هذه الصورة البسيطة. نلاحظ بدايةً أن بهذه الطريقة لم يَفك جروتفند في أفضل الحالات سوى رموز الكتابة المسمارية للغة الفارسية القديمة. ولتحقيق ذلك، ارتكب أخطاءً كما فعل شامبليون قبله. فقد استند جروتفند بصورة خاصة إلى بعض أشكال اللغة الفارسية في العصور الوسطى وليس الأشكال القديمة من اللغة. وبالإضافة إلى ذلك زادت صعوبة فك الرموز؛ لأن الكتابة كانت مقطعية أكثر من كونها أبجدية.

لم تتوقف الصعوبات أمام جروتفند عند هذا الحد. فنذكر أنه لم يكن ينتمي إلى العالم الأكاديمي؛ نظرًا لأنه كان يقوم بالتدريس في مدرسة ثانوية. ولقد جعلته جامعة جوتنجن يدرك هذا الشعور عندما رفضت نشر عمله بالكامل، ولم تُوافق إلا على جزءٍ نُشر ما بين عامي ١٨٠٢ و١٨٠٣. فلا نخلط الأمور. كان من الممكن أن تنتهي مسيرة جروتفند العملية عند هذا الحد. ولكنه سعى إلى استكمال عمله في فك الرموز، إلا أنه استمر في ارتكاب بعض الأخطاء التي قام بها منذ المحاولة الأولى. ثم تناوَل الكتاباتِ اليونانية القديمة للأناضول، ثم بعض اللغات الإيطاليقية، ولكن دون أن يسفر ذلك عن أي نتيجة.

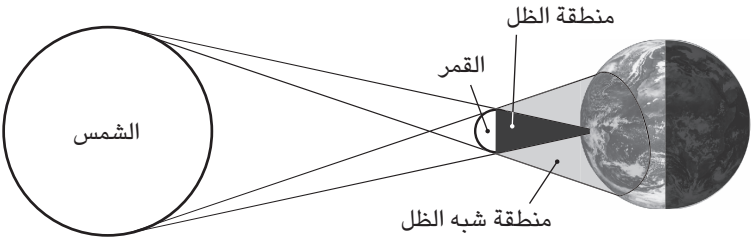
يظل جروتفند صاحب النموذج الوحيد المعروف لاكتشاف أبخرة الكحول.

(٤) الكسوف الذي أوقع بابل في الظلام

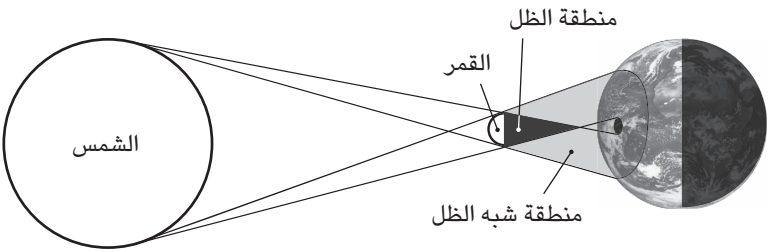
يمتلك كسوف الشمس منطقة «شبه ظل»، وعندما يكون كليًّا يتميز بمنطقة ظِلٍّ تغطي سطح الأرض (شكل ١-١). وتُحجب الشمس عن أنظارنا كليًّا فقط داخل هذا «المسار الكلي».

يستطيع علماء الفلك اليوم أن يتنبئوا بموعد حدوث الكسوف والمدة التي سيستغرقها. وهكذا يكون الكسوف الكلي للشمس مثيرًا للانتباه بصورة كبيرة. وتكون مدته بالضرورة أقلَّ من ثماني دقائق في أي مكان على سطح الأرض. ويتوقع علماء الفلك أيضًا أي مناطق على الأرض ستحظَى بمشاهدة كسوف محدد. ونلاحظ أنه إذا كان المسار الكلي شديد الامتداد، يكون أيضًا ضيقًا للغاية. ووفقًا للظروف يُقاس عرضه بعشرات الكيلومترات، وأحيانًا بمئات الكيلومترات. وتكون منطقة الظل في وقتٍ ما دائريةً بالضرورة، بما أنها تَنتج عندما يتوسط قرص القمر الدائري طريق الأشعة الشمسية المتجهة إلى الأرض.

في أثناء الكسوف الذي حدث في ١١ أغسطس ١٩٩٩، غطَّى الظل مسارًا يمتد من نقطةٍ في المحيط الأطلنطي في جنوب جزيرة نيوفاوندلاند إلى خليج البنغال، مرورًا بجنوب إنجلترا وأوروبا القارية وشمال شرق تركيا والشرق الأوسط وشمال شبه الجزيرة الهندية. ولم تبلغ مدة هذا الكسوف في مكان محدد من هذا المسار دقيقتين ونصفًا بالكاد، وكانت منطقة الظل تتحرك بسرعة تقارب ٨٠٠ متر في الثانية.



(أ)



(ب)

شكل ١-١: في هذا الشكل الذي يمثل كسوف الشمس، نميز مناطق الظل وشِبه الظل. تَرسم منطقةُ الظل على سطح الأرض منطقةً دائرية يكون فيها الكسوف كليًّا (أ). وفي بعض الحالات تكون المسافة بين الأجرام الثلاثة بدرجةٍ تجعل الأرض خارج منطقة الظل. ويكون الكسوف في هذه الحالة حلقيًّا (ب). وبسبب حركة الأرض والقمر والشمس تتحرك منطقة الظل وترسم على سطح الأرض مسارًا ضيقًا وممتدًّا يُسمى المسار الكلي.

في ١٥ أبريل ١٣٦ قبل الميلاد شوهد كسوف كلي في بابل. وعرفنا ذلك بفضل علماء الفلك الذين كانوا يعيشون آنذاك في هذه المدينة وسجلوا هذا الحدث على ألواح الطمي. يعد هذا التسجيل وثيقة ذات قيمة بالغة؛ لأنه يصطدم بتناقض واضح. وفقط عندما يزول هذا التناقض، سنحصل على معلومة قيمة حول العمل الذي كانت تقوم به في الماضي ثلاثٌ من أهم الساعات الفلكية؛ وهي الأرض والقمر والشمس.

شهدت بابل القديمة اضطرابات عديدة. ففي ظل حكم حامورابي (١٧٣٠–١٦٨٧ قبل الميلاد) ذاقت طعم القوة والمجد. وظلت تارة خاضعة وتارة فاتحة، حتى أصبحت على

رأس الإمبراطورية البابلية الجديدة في عام ٦٢٥ قبل الميلاد. ويرجع الفضل في بناء الصروح الشهيرة في العصور القديمة، التي نعرفها عن طريق أعمال التنقيب، إلى نبوخذنصر الثاني ملك بابل من عام ٦٠٥ حتى عام ٥٦٢ قبل الميلاد، وهو نبوخذنصر المذكور في الإنجيل. ولكن منذ عام ٥٣٩ في ظِل حكم كورش الكبير مؤسس الإمبراطورية الفارسية، بدأت بابل تفقد استقلالها نهائيًّا، حتى وإن بقيت لغتها تحت الهيمنة الفارسية في ظل حكم الأسرة المقدونية الناشئة عن غزوة الإسكندر. وخلافًا لمدن قديمة وكبيرة أخرى، لم تختفِ بابل تحت الأسلحة والنيران أو بمِعول بعض الغزاة. وفي حوالي عام ٢٧٥ قبل الميلاد تلقَّى شعبها أوامر بالنفي إلى مدينة السلوقية، وهي العاصمة الجديدة التي شيدها الملك سلوقس الأول نيكاتور (حوالي ٣٥٨–٢٨٠ قبل الميلاد) الذي أسس الأسرة السلوقية عند تقسيم إمبراطورية الإسكندر. لم يبقَ حينئذٍ أمام بابل سوى مصير واحد؛ وهو أن تذوي ببطء. وكانت المرة الأخيرة التي ذَكر فيها العالم القديم بابل في عام ١١٦ ميلاديًّا، عندما قضى تراجان الشتاء مع جيوشه في موقع العاصمة القديمة. ووفقًا لما قاله المؤرخ ديودورس الصقلي لم يكن يوجد «سوى أحجار وأنقاض.»[٧]

نمتلك أدلة كتابية على أنه منذ عصر حامورابي قام علماء الفلك في بابل بإنعام النظر في السماء بطريقة منتظمة، وتسجيل الأحداث الاستثنائية التي كانت تحدث، ولا سيما كسوف الشمس وخسوف القمر. كان هؤلاء المنجمون وعلماء الفلك يبحثون عن تنبؤات في الملاحظات التي كانوا يسجلونها، وكان يتعيَّن عليهم التنبؤ بقيام حرب أو ميلاد طفل لملك. وفي المقابل، وعلى الرغم من أسطورة تعود إلى العصر الإغريقي على حد قول نيجباور، نحن لا نعرف شيئًا في الواقع عن علم التنجيم الفلكي في بلاد الرافدَيْن القديمة. ولا ينطبق الأمر ذاته على مصر في العصر البطلمي أو الروماني أو البيزنطي التي يعج الإرث فيها بوثائق تتعلق بعلم التنجيم. لم يختفِ للأسف هذا الاستخدام، ويبدو أنه مستمر لدى بعض رؤساء الدول الحاليين الذين يصل بهم الأمر — على حد قول البعض — إلى استشارة العرافين والمنجمين.[٨]

وفيما يخص علم الفلك، فهو يبدو بدائيًّا ونوعيًّا بصورة أساسية في ظل الإمبراطورية البابلية الأولى؛ أي في عصر حامورابي. ولم تبدأ الرياضيات في لعب دورٍ ما في دراسة السماء إلا في عصر الهيمنة الآشورية. وبلغ علم الفلك أيضًا ذروة ازدهاره في ظل حكم الأسرة السلوقية في بداية العصر الإغريقي.

(٥) ألواح بابل المسمارية

لقد احتفظنا بالآثار الكتابية لبعض ملاحظات الكسوف كُتبت برموز مسمارية، ويعود أقدمها لعام ٧٥ من عصرنا؛ أي بعد ثلاثمائة عام من بداية انهيار المدينة. وتثير إحداها الانتباه بصورة كبيرة؛ لأنها تتعلق تحديدًا بكسوف الشمس الذي حدث في ١٥ أبريل عام ١٣٦. وقد عرفنا بفضلها أن بابل وقعت في الظلام؛ فقد كانت العاصمة القديمة جزءًا من المسار الكلي. وهنا تصبح الأمور مثيرة بصورة خاصة.

كان فك رموز النصوص الفلكية يمثل اختبارًا لمجموعات المستشرقين والفلكيين. وكانت النصوص الأولى التي تم اكتشافها في بابل تتكون من أجزاء تالفة للغاية. وعندما أدرك سكان المنطقة حجم المبالغ التي قد يحصلون عليها من وراء تلك الاكتشافات، لاحظوا أيضًا أنهم يستطيعون الحصول على مبالغ أكبر من لوح مُقسم إلى أجزاء أكثر من العينة السليمة. ولم تتأخر نتائج الوضع السوقي المؤسف عن الظهور؛ حيث اضْطُرَّ أمناء المتاحف لقضاء أيام عديدة لتجميع تلك الأجزاء المتفرقة ثم نقل النقوش. وهكذا نمتلك أقدم تسجيل متعارَف عليه لمرور مذنَّب هالي في عام ١٦٤ قبل الميلاد. ولم تُجْرَ العمليات الأولى لفك رموز النصوص الفلكية إلا في عام ١٨٨١. كان يجب التعرف على الطريقة المستخدمة لوصف الظواهر مثل الكسوف. وكان يتعين أيضًا في النهاية تحديدُ الأسماء البابلية لأهم الكواكب والنجوم، وهي معلومة ضرورية لتحليل الكسوف الكلي للشمس الذي لوحظ في بابل؛ فقد كان علماء الفلك في بابل يحددون الكواكب المرئية في أثناء فترة الكسوف الكلي.

(٦) الساعات الفلكية تختلُّ

مثلما رأينا في عام ١٩٩٩، يستطيع علماء الفلك أن يتنبئوا بموعد بداية الكسوف ونهايته بالثانية، ويحددوا أيضًا المناطق التي يمكن رؤية الكسوف منها، وخاصةً الوضع المحدد للمسار الكلي. وللتوصل إلى ذلك يستخدمون ملاحظات عديدة يستطيعون تفسيرها بفضل معرفتهم المحددة بِتُروس الآلة السماوية. وفي المقابل كان يتعين على علماء الفلك في بابل القديمة الاكتفاءُ بملاحظاتهم والملاحظات التي سجَّلها سلفهم. وكان الكسوف لديهم يخضع لبعض القواعد التي لا تسمح بالتنبؤ بموعد حدوثه بالتحديد ولكنها تسمح على الأقل بتأكيد الوقت الذي لا توجد فيه أي فرصة لحدوثه.

في يومنا هذا الذي نعرف فيه قانون الجاذبية، والذي تطورت فيه الرياضيات بصورة كبيرة، والذي نمتلك فيه حاسبات قوية؛ تغيرت الأمور جذريًّا. فنحن نُتقن فهم الكسوف بصورة تامة؛ إذ نعرف على سبيل المثال أنه في ٣ سبتمبر ٢٠٨١ ستشاهِد أوروبا كسوفًا كليًّا للشمس، ونعرف أيضًا المسار الكلي، الذي سيتوافق تقريبًا مع مسار كسوف عام ١٩٩٩. وبالإضافة إلى ذلك يمكن عمل توقعات محددة للماضي وتحديد التواريخ القديمة للكسوف، حتى إذا كانت شديدة القدم، بالإضافة إلى خصائصها المختلفة. إن حساب المتغيرات المختلفة للكسوف والموقع الجغرافي للمسار الكلي إذا كان الأمر يتعلق بكسوف كلي للشمس؛ يتطلب بالضرورة سيرًا ثلاثَ ساعات سبق الحديث عنها: يُقاس دوران الأرض حول الشمس بالأعوام، ودوران القمر بالشهور، أو حوالي ذلك، ودوران الأرض حول نفسها بالأيام. لا يمكن حساب خصائص الكسوف إلا عن طريق القيم الرقمية لهذه الموازين الفلكية الثلاثة. وسواء توقف القمر أو الشمس عن الالتقاء في الموعد المحدد، وسواء زادت أو قلت سرعة دوران الأرض؛ فإن الوثائق التاريخية ستُكَذِّب تلك التقديرات الحسابية. وفي المقابل يمثل الفارق الشاسع الذي يوجد بين الملاحظات القديمة والحسابات التي نقوم بها اليوم مؤشرًا مهمًّا؛ لقد عدلت إحدى الساعات الثلاث على الأقل من سيرها خلال الألفيات الماضية.

إذا حاولنا إعادة تمثيل الكسوف الذي حدث في ١٥ أبريل ١٣٦، فسنواجه مشكلة أولى ولكنها بسيطة. لم يكن التقويم البابلي مثل تقويمنا، فينبغي معرفة كيفية ترجمة المعطيات الزمنية المستخدمة في بلاد الرافدَيْن القديمة بأسلوب بسيط، لا سيما أن تقويمنا نفسه ليس خاليًا من بعض الأمور الغامضة. لكن علم الفلك تغلب على هذه الصعوبات منذ فترة طويلة، فهو يستخدم للعصور القديمة، بل والسحيقةِ، التقويمَ اليولياني الذي وضعه يوليوس قيصر عام ٤٦ قبل الميلاد، وهو أول تقويم حديث والسابق للتقويم الميلادي الذي نستخدمه منذ عام ١٥٨٣.

بمجرد تخطي مشكلة التقويم يبقى تفسير المعطيات المدونة على الألواح المسمارية. وبصورة عامة لا يعد ذلك أمرًا هينًا؛ فلمْ يكن أسلافنا يمتلكون ساعات محددة. ولكن في حالة الكسوف الذي لوحظ عام ١٣٦ لم يكن ثمة وجود لهذه المشكلة على أرض الواقع.

أولًا ينبغي أن نذكر أن النص المسماري الذي يشير لكسوف كلي في بابل موثوقٌ به بصورة كاملة. فوفقًا لحساباتنا حدث كسوف للشمس بالفعل في هذا اليوم. ويعطينا النص معلومات إضافية؛ في ظل الظلام الدامس كان يمكن رؤية كوكب عطارد والزهرة

والمريخ والمشتري بالإضافة إلى بعض النجوم التي حُددت هويتها. ولكن المعلومة الأساسية التي نستخرجها من اكتشاف اللوح المسماري تخص موقع المسار الكلي للكسوف. فوفقًا للحسابات التي تستند إلى المعطيات الحالية كان من المفترض أن تمر بالمغرب، لكنها كانت بزاوية ٤٥ درجة أكثر إلى الشرق بما أن البابليِّين هم من حظُوا بمتابعة هذا المشهد. إنه الكسوف ذاته؛ تؤكد لنا ذلك الإشارة إلى الكواكب التي شاركت في هذا المشهد؛ حيث تثبت حساباتنا أنها كانت مرئية حقًّا.

يتعين علينا الآن استغلال المعلومة التي تعطيها لنا الملاحظة البابلية.

(٧) ومع ذلك، هي تدور ... بسرعة أقل!

كل يوم تشرق الشمس وتتحرك ببطء في اتجاه الغرب، أما القمر والكواكب والنجوم فتكون حركتها أيضًا من الشرق إلى الغرب، حتى وإن كانت ملاحظة هذه الظاهرة معقدة بسبب كونها لا تُرى عامةً إلا عندما يحل الليل. إن سبب الانحراف العام للأجرام السماوية عن مسارها استغرق وقتًا طويلًا حتى يفرض نفسه في التاريخ، ولكننا لم نعدْ نناقشه اليوم؛ فهو ليس إلا حركة ظاهرية ناتجة عن دوران الأرض الذي يحدث من الغرب إلى الشرق.

وفيما يتعلق بالكسوف الشهير الذي حدث يوم ١٥ أبريل ١٣٦ نسجل فارقًا بين اتجاه الأرض الذي نحسبه اليوم والاتجاه الذي ذكره من شهدوا الظاهرة. ولتحليل هذا الاختلاف، نبدأ بافتراض أنه بين ١٥ أبريل ١٣٦ قبل الميلاد وحتى يومنا هذا قام كلٌّ من القمر والشمس بعملهما في هدوء، دون أن يغيِّر أحدهما قط من سرعة حركته. وإذا كان يوجد اختلاف بين التقديرات الحسابية والملاحظات، فلا نُرجع المسئولية إلا إلى الأرض، وذلك مع احتمال العدول عن هذا الحكم لاحقًا. وهكذا دار كوكب الأرض منذ يوم الكسوف وحتى يومنا هذا بزاوية تخطت بصورة عامة ما توقعته حساباتنا بـ ٤٩°.

أتاح هذا التنقل الإضافي للبابليين أن يشهدوا كسوفًا كليًّا للشمس. ويفرض الاستنتاج نفسه: بما أنه في أكثر من ٢١٠٠ عام سارت الأرض مسافة بزاوية أكبر بـ ٤٩° عن تلك التي كان من المفترض أن نتخيلها عليها اليوم، فهذا يعني أنه في الماضي كانت سرعة دوران الأرض أكبر — بنسبة بسيطة — عما هي عليه اليوم. وبطَّأت الأرض تدريجيًّا من سرعة دورانها؛ مما أطال أيضًا مدة طول النهار بنسب صغيرة. وانطلاقًا من المعطيات التي يوفرها الكسوف الكلي في بابل، يتحول تقييم زيادة مدة طول النهار إلى مسألة في

علم الحساب دون أي صعوبات خاصة. وإذا أقررنا أن انخفاض سرعة دوران الأرض اتخذ نمطًا واحدًا طيلة الألفيات الأخيرة، وهو افتراض صحيح إلى حد ما، نستنتج أن مدة طول النهار في عام ٢٠٠٠ تفوق بـ ١,٥ ملِّي ثانية عن المدة التي يمكن أن نحسبها عام ١٩٠٠ (تُقدم هذه الحسابات في الملحق أ). فكلما رجعنا أكثر إلى الماضي تقل مدة طول النهار.

إن لوح بابل ليس مصدر معلوماتنا الوحيد. ويدعم هذا التشخيصَ حالاتُ كسوف أخرى في التاريخ، سواء أكانت قمرية أم شمسية. وفي النهاية نستنتج أنه «حاليًّا» تُقدر زيادة مدة طول النهار بـ ١,٧ ملِّي ثانية كل قرن. وتسمح هذه الملاحظات المتباينة بالتأكيد على أن تباطؤ الأرض اتخذ نمطًا واحدًا تقريبًا طيلة هذه الفترة التاريخية.

(٨) هل يمكن العودة أكثر إلى الماضي؟

لقد ذكرنا أن اليوم كان أقصر بنسبة صغيرة في العصور القديمة. فهل يستمر هذا الاتجاه عندما نرجع إلى العصر الحجري الحديث أو القديم أو إلى عصر أقدم في تاريخ كوكبنا؟ كانت الأرض بلا شك تدور بسرعة أكبر، ولكن بأي نسبة؟

إن أسلافنا الذين كانوا يعيشون منذ حوالي عشرين أو ثلاثين ألف عام قد تركوا العديد من الشواهد الملحوظة عن صناعتهم وثقافتهم. ولكن بسبب عدم معرفتهم للكتابة لا يمكننا أن نأمل في مساعدتهم لنا في إيجاد آثار كسوفٍ تم تحديده بوضوح. هل يعني هذا أننا لا نملك أي شهادة عن مدة طول النهار وحول تغيرها المحتمل في الأوقات السحيقة؟ بفضل عبقرية الباحثين نملك مؤشرات جادة تُبرز أنه كلما رجعنا أكثر إلى الوراء في تاريخ الأرض زادت سرعة دورانها. وبما أننا نريد الرجوع إلى بداية العصور الأولية ينبغي علينا أن نسأل جدود الجدود. فبدلًا من فك رموز كتابة، يتعلق الأمر بدراسة الأحافير، واضعين في اعتبارنا أن المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها ليست واضحة كتلك التي نحصل عليها من حالات الكسوف التاريخية. فبصورة عامة كلما رجعنا أكثر إلى الماضي زاد الشك وتغيرت الآفاق.

للحيوانات والنبات أنشطة تتعلق بالتعاقب اليومي للنهار والليل، لكن بعض الأحافير تحتفظ بآثار هذه الدورية الأساسية التي يترتب عليها تعاقب الفصول. يُعرف العام بأنه الفاصل الزمني الذي يفصل بين ربيعين أو صيفين أو خريفين أو شتاءين متتاليين. وتكون مدته محددة بالضبط لدى علماء الفلك. لا يكون الأمر بالضرورة مشابهًا لدى

الكائنات الحية التي عاشت في الماضي والتي تعيش في الحاضر على حد سواء؛ لأنها تشعر بتقلبات ظروف الطقس والمناخ التي يمكن أن تشهد تذبذبات كبيرة في أثناء الفصل الواحد. ومع ذلك يرى أغلبها أن العام هو حقيقة. فمن ألفية إلى أخرى تغرد الطيور في الوقت ذاته تقريبًا، وإذا كان طائر خطاف واحد لا يكفي لكي نجزم بحلول الربيع، فهو على الأقل يعلن مجيئه. يمكننا إذن أن نؤكد أن نشاط العديد من الكائنات الحية ينضبط على الدورة السنوية للفصول. وفي النهاية لا ينبغي التعجب من أن بعض أنواع الأحافير تحتفظ بآثار نشاطها النهاري والدورية السنوية في آن واحد، مثل بعض أنواع المرجان.

تُبنى الصخور المرجانية بفعل اللافقاريات التي تعيش في مجموعات مع بعضها البعض، وهي حيوانات المديخ البحرية التي تشبه شقاريات البحر. بمجرد ثبوت المديخ على دعامة صلبة تفرز قاعدتُه هيكلًا عظميًّا جيريًّا، وتتولد على جوانبه حيوانات مديخ جانبية، تموت جميعها في النهاية ولكن تحل محلها حيوانات مديخ سطحية تنمو على الهياكل العظمية لسلفها؛ فهي مجموعة في طور التكوين. ويتطلب تكوُّن الصخور حرارةً وَضَوءًا — ينبغي أن تتخطى درجة الحرارة ٢٠° وألَّا يزيد العمق عن ٥٠ مترًا. وفي أثناء نموها تلتزم بعض أنواع المرجان بالسرعة الطبيعية، لدرجة أنه يمكننا ملاحظة بعض الخطوط اليومية التي يتوقف سُمْكها على فصول السنة. في الطبقات المهمة نلاحظ تعاقبًا بين الخطوط الشتوية والصيفية، لدرجة أن طرح عدد الخطوط التي تُوافق عامًا كاملًا يوفر تقييمًا لعدد الأيام التي يتكون منها العام.

إذا كانت هذه الملاحظة ليست لها أهمية فيما يتعلق بالأنواع الحالية من المرجان فهي تكتسب أهمية بالغة عندما نعثر على مرجان أحفوري داخل طبقة جيولوجية قديمة. وإذا سلَّمنا بأن سرعة نمو هذه الأنواع القديمة من المرجان كانت توجد منذ بداية خلقها، وأن كلَّ خط يتفق مع الفاصل الذي يفرِّق بين شروقين متتاليين للشمس؛ نجد أنفسنا أمام تقويم جيولوجي يسمح بصورة مباشرة بتحديد عدد الأيام التي يتكون منها العام الذي ترسبت فيه الصخور الملحوظة (جدول ١-١) حيث كان تعريف العام كتعريفه الحالي؛ هو مدة دوران الأرض حول الشمس.

(٩) ما هي قيمة تلك الشواهد القادمة من الماضي؟

تضم السطور السابقة نوعين من المعلومات المتباينة التي ينبغي أن تُقنعنا بأن الساعات الفلكية تختلُّ مع مرور الوقت. وقبل التوصُّل إلى الاستنتاجات، يتعين علينا مع ذلك الحذرُ.

جدول ١-١: دراسة للمدة النسبية لطول اليوم خلال الـ ٤٤٠ مليون سنة الأخيرة. يتم هذا التحديد بمقارنة قيمته بقيمة العام. أُعد هذا التقرير بملاحظة صخور مرجانية أحفورية تنتمي إلى عصور مختلفة. ونطرح في كل مرة عدد الخطوط اليومية التي يحتوي عليها خط سنوي (باريزو جون بول وسواجر فرانسواز، تقويم وتأريخ، ماسون، ١٩٩٦).

العصور بملايين الأعوام	عدد الأيام في العام	مدة طول اليوم بالساعات
٠	٣٦٥,٢٥	٢٤
٧٠	٣٧٠,٣٣	٢٣,٧
٣٠٠	٣٨٧,٥٠	٢٢,٦
٤٤٠	٤٠٧,١٠	٢١,٥

في كل حالة على حدة، تكون هذه المعلومات مقيَّدة بشرط. وفقًا للألواح المسمارية قد تكون سرعة دوران الأرض تباطأت بنسبة صغيرة، لكن لن يكون لهذا الاكتشاف فائدةٌ إلا إذا كنا على يقين من أن الشمس والقمر لم يغيِّرا من سرعة حركتهما، وينطبق الأمر ذاته على شواهد المرجان، ولكنها لا تسمح إلا بمقارنةِ مدة طول اليوم مع مدة طول العام؛ حيث يتعلق الأمر فقط بالأرض والشمس.

نستطيع إذن أن نكشف النقاب عن جزء من الموضوع؛ فيقترح علم الفلك أنه عندما نرجع إلى الماضي تكون مدة طول العام أكثر استقرارًا من مدة طول اليوم. فَلْنُقِرَّ بذلك ولنتقبل مؤقتًا نتيجته؛ فإذا كان العام يتكون من أكثر من أربعمائة يوم في العصر الذي كانت تعيش فيه أقدم أنواع المرجان، فهذا ليس لأن العام كان أطول، بل لأن اليوم كان أقصر. وفيما يتعلق بالشواهد على كسوف بابل والمرجان الأحفوري فينبغي فحصها بدقة.

يجب أن نتقبل المعلومة التي وفرها البابليُّون، فهي تتوافق مع شواهد تاريخية أخرى تتعلق بملاحظة الكسوف. وبالطبع تعد الملاحظة التي تسجل الكسوف الشمسي في بابل هي الأكثر قيمة؛ لأنها بالضرورة الأكثر دقة، وتدعمها أيضًا عناصرُ أخرى. يشير اللوح الذي يسجل ملاحظة الكسوف إلى قائمة الكواكب التي ظهرت مدة قصيرة في أثناء الظلام وتتفق هذه القائمة بصورة كاملة مع تلك التي يمكن أن نعدها انطلاقًا من المعطيات الآنية. فيتعين إذن أن نسجل الزيادة العامة لمدة طول اليوم خلال الألفيتين الأخيرتين.

فيما يخص المعلومة التي تتعلق بالمرجان الأحفوري فهي موثوق بها؛ لأنها تستند إلى افتراض معقول؛ فلم تتغير الآلية العامة لنمو المرجان منذ العصور التي كانت تعيش فيها أقدم أسلافها. وإذا كانت طريقة النمو قد تغيرت في ٤٠٠ مليون عام، فلن يتعلق ذلك إلا ببعض التفاصيل الصغيرة؛ فإن تأثير تعاقب الليل والنهار وتعاقُب الفصول ليس نوعيًّا بالقدر الكافي الذي يجعل بقاء الآلية العامة للنمو معقولًا. يرتبط التحول الغذائي لأنواع المرجان الحالية بوجود طحلب مجهري متكافل مع حيوانات المديخ التي يوفر لها الأكسجين، والتي يتطلب نموها حرارة وضوءًا. لكن ظهرت طحالب مماثلة في وقت مبكر جدًّا من تاريخ الحياة.

إذا تقبلنا شاهد المرجان، يجدر الذكر بأنه أكثر دقة من شاهد الألواح ولو في نقطة واحدة على الأقل؛ فهو لا يتعلق إلا بالأرض والشمس، بما أنه يخبرنا بتعديل محتمل للعلاقة بين مدة طول اليوم ومدة الدوران الشمسي. لا علاقة للقمر بالجدال الحجاجي، ومع ذلك سنرى أنه مسئول بصورة مباشرة عن تباطؤ الأرض.

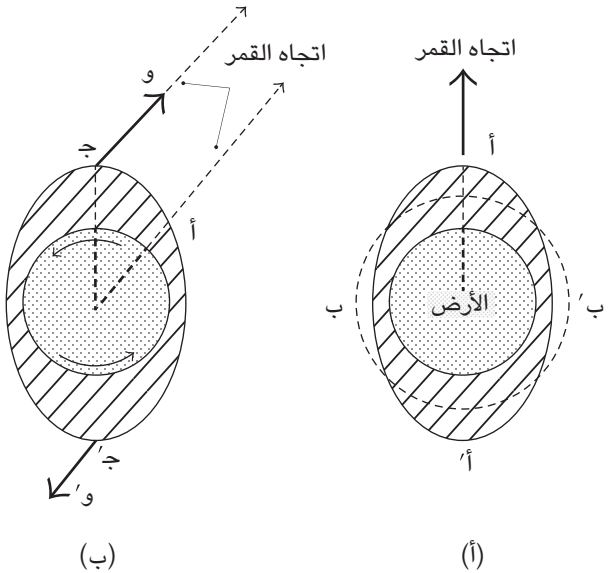
(١٠) تعقيد ظاهرة المد والجزر

وفقًا لما قاله ألفونس أليه، كتب الناقد والأستاذ الجامعي فرانسيسك سارسيه في نهاية القرن الماضي: «قد لا يمكننا أن نتخيل إلى أي درجة من الخرافات وصل الأمر بأهل البحر. لقد أكد لي صياد ماهر أن حركة المد والجزر سببها القمر.»[٩] هل يجب أن نصدق ما قاله ألفونس أليه؟ في القرن التاسع عشر كان الناس يعرفون منذ فترة طويلة أن القمر هو سبب المد والجزر، وأن الشمس هي شريكته.

من المتعارف عليه أن مدى حركة المد والجزر ضعيف على شواطئ البحر المتوسط، ولكن ذلك لم يمنع القدماء من تكوين فكرة صائبة عن هذه الظاهرة. يُرجِع الكاتب اللاتيني بليني الأكبر (حوالي عام ٢٣–٧٩) في كتابه «التاريخ الطبيعي» ظاهرة المد والجزر إلى القمر والشمس، حتى وإن كان يجهل الآلية بالتفصيل. فبما أن ١٢ ساعة تقريبًا تفصل بين حركتي مد وجزر متتاليتين، يسجل بليني أن القمر لا يتسبب فقط في إثارة البحر عندما يكون قريبًا من خط الزوال، ولكن عندما يمر أيضًا بمقابل خط الزوال. ويضيف أن هذا الأمر يثبت، بما لا يدع مجالًا للشك، أن النجوم يمكن أن تمر تحت الأرض. وتعد دراسة بليني ذات قيمة بسبب أن المد والجزر ينتج عن ظاهرة بسيطة تتجلى في سياق معقد.

مثلما نرى في الشكل ١-٢، فلنتخيل أرضًا ثابتة ومغطاة بمحيط سائل على نسق واحد ولننسَ الشمس، وفي أثناء ذلك أيضًا نثَبت القمر فوق نقطة ما من خط الاستواء دون أن نتيح له الدوران حول الأرض. في مثل تلك الظروف التي افترضها بليني وغيره، لن تبقى الأرض السائلة كروية بصورة كاملة. سوف تتمدد قليلًا في اتجاهين: اتجاه القمر والاتجاه المعاكس له مباشرةً (شكل ١-٢أ). فلنجعل الأرض إذن تقوم بدورانها اليومي حول محورها. أما فيما يتعلق بالمحيطات فتسير الأمور وكأن القمر هو من يتحرك. وفي هذه الظروف تتحرك الكتلتان كالتموج على سطح الماء. ومع الضعف النسبي لسرعة الأمواج تعجز الكتلتان عن البقاء متعامدتين مع القمر، ولا يمكنهما سوى متابعة حركته بتأخير ثابت (شكل ١-٢ب). عاد كل شيء أبسط مما كان عليه قبل أن تقوم الأرض بدورانها.

فلنعقد الأمور بأن نضع جزيرة صغيرة على خط الاستواء. في كل مرة تمر إحدى الكتلتين بالجزيرة الصغيرة يرتفع الماء على الشاطئ، وعندما تبتعد ينخفض منسوب المياه. فيكتشف أهل الجزيرة الخيالية ظاهرة المد والجزر! تستغرق فترة المد والجزر اثنتي عشرة ساعة بالضبط. ومع استمرار دوران الأرض نستكمل إثباتنا بأن نمنح القمر حركة ظاهرية من الغرب إلى الشرق. وتعبر مثل تلك الحركة عن دوران القمر حول الأرض، فيزيد الفاصل الزمني بين حركتي مد وجزر متتاليتين، فيبلغ ١٢ ساعة و٢٥ دقيقة في المتوسط. ولندخل أيضًا الشمس وحركتها. فيتشابه عمل نجم النهار مع عمل القمر، ولكنه أضعف، لدرجة أنه يمكننا إهماله إذا أردنا تكوين فكرة أولية عن ظاهرة المد والجزر.[١٠] تتعقَّد الأمور بصورة ملحوظة لدى سكان الجزر، لكنهم يستطيعون أن يربطوا بين ارتفاع مستوى المياه وانخفاضه من ناحية، وحركة الشمس والقمر من ناحية أخرى. وفي الختام، فلنُعِد القارات وسواحلها المقتطعة إلى مكانها الحالي دون أن نغفل أيًّا من الخلجان أو أشباه الجزر أو البرازخ أو المضايق التي تزخرف الطوبوغرافيا. ومع ذلك لم تختفِ حركات المد والجزر ولا تزال دوريتها محسوسة، ولكن أصبح نظامها شديد التعقيد. فغالبًا ما يحجب أثرُ تغيرات الضغط الجوي أثرَ المد والجزر. وفي المقابل تمثل بعض الشروم أنواعًا من الأجهزة الرنانة. ويتخطى فرق ارتفاع المياه ما نلاحظه في عرض المحيط بفارق كبير، وهو شأن بحر المانش على سبيل المثال. وفي النهاية لا تكون حركة المد والجزر إلا تعبيرًا عن مرور الأمواج الضخمة. ومن الطبيعي أن يكون للتنوع الكبير في الصخور الساحلية تأثير ملحوظ على انتشارها. وفيما يتعلق بالبحر المتوسط



شكل ١-٢: مبدأ المد والجزر في عالم خيالي لا يوجد فيه سوى الأرض يغطيها المحيط بصورة كاملة، ويوجد أيضًا القمر وبالإضافة إلى ذلك يكون النجمان ثابتين. وتتكون كتلة مائية مزدوجة عند النقطتين أ وأ′ في الاتجاه العمودي (نقطتي ب وب′). ودون أن نغير أي شيء آخر، إذا حركنا الأرض حول محور عمودي في محور الأرض-القمر، فسيتحرك محور الكتل جـ-جـ′ قليلًا بالنسبة لمحور الأرض-القمر. تتسبب القوتان اللتان يمارسهما القمر على (نقطتي جـ وجـ′) في إبطاء دوران الأرض بما أنها تتعارض مع حركة دورانها (شكل ب).

تعد الأمور نسبيًّا بسيطة؛ حيث يشكل مضيق جبل طارق سدًّا فعالًا في مواجهة تبادل المياه مع المحيط.

(١١) بينما تدور الأرض بسرعة أقل، يبتعد القمر

يوضح الشكل ١-٢ب الوضع الخاص لكتلتي جـ وجـ′ اللتين ترمزان للعمل الرئيس لقوة المد والجزر. وفي غيابهما قد تُمارس قوة جاذبية القمر في مركز الأرض. وقد لا يكون لها تأثير على دورانها. ولكن عندما تظهر الكتل تسير الأمور وكأن القمر يمارس عليهما قوتين إضافيتين ق وق′. يوجد اتجاه لدى هذه القوى للتصدي لدوران الأرض بواسطة

عمل العائق السائل. ويعد هذا العمل حقيقيًّا بالفعل، وقد حدث كسوف بابل ليقنعنا بذلك.

يمثل الشكل ١-٣ متزحلقة تقوم بأداء استدارة بسرعة كبيرة. عندما تمد ذراعيها تدور بسرعة أقل. وهو ما ينطبق أيضًا على الأرض والقمر. عندما تتباطأ الأرض فهي تمد ذراعها الوحيدة وهي القمر. بعبارة أخرى، لا يمكن للمسافة بين الأرض والقمر بموجب قوانين الحركة إلا أن تزيد كلما دارت الأرض بسرعة أقل حول محورها.[١١] بما أننا نعرف أن هذا التباطؤ حقيقي، فلا يتبقى لنا سوى أن نقنع أنفسنا بأن القمر يبتعد تدريجيًّا عن الأرض. وبتوجيه أشعة ليزر في اتجاه القمر نقيس بدقة مذهلة وقت ذهاب الحُزَم الضوئية وعودتها، وهو ما يخبرنا بالمسافة التي قطعتها الأشعة. ونستطيع اليوم أن نجزم بأن القمر يبتعد كل عام من ٣ إلى ٥ سنتيمترات، راسمًا نوعًا ما من الحلزون الذي ينفتح في الاتجاه الخارجي. بالإضافة إلى ذلك تتأثر مدة دوران القمر، فتزيد ٤ ملِّي ثانية كل عام؛[١٢] مما يوضح مدى صعوبة قراءة مؤشرات ماضٍ سحيق: لا تختل الساعة الأرضية وحدها، بل تختل أيضًا الساعة المرتبطة بسير القمر. وفي مثل هذه الظروف يستهوينا البحث في الماضي عن أثرٍ لتغير فترة الدوران القمري. ألا تستطيع أنواع أخرى من الأحافير أن تترك أثرًا لمدة طول الشهر في مطلع العصور الجيولوجية على غرار ما فعل المرجان؟

ليس هنالك ما هو غريب في الأمر. كان أرسطو يعلم بالفعل أن مبيض قنفذ البحر ينتفخ وقت ميلاد القمر الجديد أو المحاق. وتضبط أجناس حيوانات أخرى دورة تكاثرها على الدورة القمرية؛ سواء لأنها تعيش على عمق ليس بالكبير يكون فيه تأثير المد والجزر مهيمنًا، أو لأنها تخشى وضوح القمر، أو تبحث عنه. ويعد مثال طائر السُّبَد بليغًا. لدى هذا الطائر ذي النشاط الليلي، يتزامن التكاثر مع الدورة القمرية لدرجة أن القمر يكون بدرًا في الوقت الذي يكون فيه الصغار في العش ويطلبون الغذاء. وعلى الرغم من ضعف وضوح القمر فإنه يسهل الاصطياد الليلي للفرائس التي يتربص بها الكبار في مجموعاتها. ولا ينبغي إذن التعجب إذا تخيل باحثان أمريكيان، كان وبومبيا، في عام ١٩٧٨ أنهما عثرا على أحفور من شأنه أن يكشف لنا عن تاريخ الأرض والقمر.[١٣] إن هذا الأحفور هو قوقعة البَحَّار، وهي حيوان رخوي من رأسيات الأرجل مزود بصدفة.

نجد حيوان البَحَّار قرب بعض جزر المحيط الهادي أو في سواحل أستراليا، ويعيش على عمق ٤٠٠ متر لكنه يصعد إلى السطح كل ليلة للتغذي على العوالق. وتنقسم قوقعته الحلزونية إلى خانات يفصلها حاجز. ويشغل الحيوان الحجرة الأخيرة وهي الأكبر. وتنمو

شكل ١-٣: تقوم متزحلقة بأداء استدارة سريعة. إذا مدت ذراعيها تقل سرعة دورانها.

القوقعة بإفراز كربونات الكالسيوم بجانب فتحته مباشرةً، وتتميز كل حجرة بوجود ٢٨ إلى ٣٢ خطًّا، أو تسمى أيضًا خطوط النمو. وعندما يكتمل نمو الحجرة التي يشغلها حيوان البَحَّار يهجرها بعد غلقها بحاجز. ثم يقيم في حجرة أكثر ضخامة وتبدأ العملية من جديد. ويمكن أن تحتوي القوقعة حتى ثلاثين خانة.

قام كان وبومبيا بافتراضٍ أوَّلي يكمن في التأكيد على أنه يتكون يوميًّا خطان متتاليان للنمو. وبما أن البَحَّار يصعد كل ليلة قرب السطح فهو يشعر بالإيقاع الجيولوجي، لدرجة أن هذا الافتراض يعد مقبولًا. ويتضمن هذا الافتراض أن الحيوان يقضي في المتوسط ٣٠ يومًا في كل حجرة.

يعد الافتراض الثاني أكثر جرأة: أقام الباحثان علاقةَ سبب ونتيجة بين دورية المد والجزر — شهر قمري؛ أي ٢٩,٥٣ يومًا في المتوسط — والوقت الذي يقدرانه لبناء حجرة. وهنا أيضًا يستند كان وبومبيا في افتراضهما على وجود البَحَّار يوميًّا بالقرب من السطح؛ حيث لا يمكن بناءً على ما سبق استبعادُ أثر حركات المد والجزر على حياة هذا الحيوان.

إذا كان الباحثان الأمريكيان محقَّيْن فسينفتح أمامهما أفق مدهش. ظهرت حيوانات البَحَّار منذ أكثر من ٤٠٠ مليون عام، ويمكن لأحفورها أن يمثِّل جدولًا لتسجيل مدة الشهر القمري في الماضي. فقال كان وبومبيا لأنفسهما: فلنجمعْ أحفور البَحَّار، فهي تملأ تاريخ الأرض وتوجهه. ولنُحْصِ عدد خطوط النمو في كل حجرة لكلٍّ من الفترات الممثلة. ولنُقِرَّ أيضًا أن العلاقة المفترضة بين الشهر القمري ومدة بناء حجرة تظل صائبة كلما رجعنا أكثر إلى الماضي. فبفضل المرجان نعرف الطريقة التي تغيرت بها مدة طول اليوم خلال الفترات الجيولوجية. يمكننا إذن استنتاج مدة دوران القمر خلال الأربعمائة مليون عام الأخيرة من تاريخ الأرض! وهذا ما يقوم به الباحثان. فبدراسة أنواع عديدة من الأحفور، توصلوا إلى استنتاج أنه منذ ٤٠٠ مليون عام كانت مدة الشهر القمري من ٨ إلى ٩ أيام. وبما أن اليوم كان آنذاك أقصر مما هو عليه حاليًّا (جدول ١-١) فهذا يعني أن الدوران القمري كان أكثر سرعة، وأن القمر كان أكثر قربًا للأرض من قربه اليوم.

وقبل أن نتعمق في التفاصيل، يجدر الذكر أن افتراضات كان وبومبيا هشة. ولكي نثبت صحة الافتراض الثاني يجب أن يتحقق الافتراض الأول. ولكن من لا يقبل المخاطرة لن يحصل على شيء؛ فلا يمكننا بناء على ما سبق استبعادُ عملهما. وهنا يكون أفضل اختبار لقيمة هذا العمل هو إخضاع استنتاجات الباحثين للتجربة، وهو ما كان يبدو مستحيلًا.

إن ذلك لخطأ. يمكننا تجربة نظرية كان وبومبيا.

إذا أخذنا معطياتهما على محمل الجد يمكننا استنتاج تطور المسافة بين الأرض والقمر إبان العصور الجيولوجية، ويمكننا حتى أن نحسب بأي سرعة يبتعد القمر اليوم عن الأرض. تسمح لنا العلاقة المذكورة أعلاه بذلك. وهنا ينهار الصرح الذي بناه كان وبومبيا. فلكَي تتحقق استنتاجاتهما كان من المفترض حاليًّا أن تزيد المسافة بين الأرض والقمر مترًا أو مترين كل عام بدلًا من بعض السنتيمترات الملحوظة.

يتعين أن نتخلى عن اللجوء إلى حيوانات البَحَّار الأحفورية لدراسة تاريخ الأرض والقمر. تبدو رسالة المرجان وحدها الموثوق بها.

الفصل الثاني

التنين يقف بجوار عقدة

(١) كسوف الشمس الذي كان طاليس قد تنبأ به

وضع القدماء جنة الأرض في ليديا، وهي منطقة بالأناضول يحدها من الغرب بحر إيجه. وكان ازدهار الليديين في القرن السادس قبل الميلاد أسطوريًّا، ويرجع الفضل في ذلك إلى نهر باكتول الذي كان يجرف تبر الذهب. وتسبب هذا المجرى المائي أيضًا في ثراء إقليم فريجيا، وهي منطقة مجاورة كان ملكُها ميداس — على حد قول البعض — يحوِّل كل ما يلمسه إلى ذهب.

إذا كانت ليديا غير معروفة للجميع، فإن ملكَها الأخير يحظى بشهرة عالمية، وهو كرويسوس الذي تولى الحكم من ٥٦١ إلى ٥٤٦ قبل الميلاد. ويقص بلوتارك في كتابه «سير أبرز الرجال» الزيارة التي قام بها أحد الحكماء السبعة لليونان القديمة؛ سولون الأثيني (حوالي ٦٤٠–٥٥٨ قبل الميلاد) للملك كرويسوس. وكان مُضيفه يتفاخر بوقاحةٍ بثرائِه الفاحش، ويسأله إذا كان يعرف شخصًا أكثر منه سعادةً، فذكر سولون كليوبيس وبيتون اللذين يستحقان من وجهة نظره لقب السعداء الفانين أكثر منه. ففي يوم عيد كان يتعين على أمهما كاهنة هيرا أن تتوجه إلى المعبد الذي يبعد ثمانية كيلومترات. وفي آخر لحظة أُجبرت على العدول عن قرارها؛ لأن الثيران التي كان من المفترض أن تجر مركبتها لم تعد من الحقل. ولكي تتجنب أمهما أي مذلة، ربط كليوبيس وبيتون أنفسهما في المركبة وأقلوها إلى المعبد. ولفخرها بابنيها طلبت الكاهنة من هيرا أن تخلع عليهما أعظم النعم التي يمكن لفانٍ أن يحصل عليها. واستجابت هيرا لصلاتها، فبعد مرور العيد خلد كليوبيس وبيتون للنوم إلى الأبد كل في أحضان الآخر. لم ترَ هيرا لهذين التوءمين سعادة أجمل من الموت الفوري؛ مما يفسر التشاؤم الذي كان يوصف به العالم اليوناني الذي لم يكن يلائم كرويسوس إطلاقًا، فقد كان سولون يرى أن سعادة هذا

الملك لم تقارب حتى سعادة توءمين بائسين ماتا في ريعان شبابهما! أعطى الملك ضيفه أمرًا بشرح مقصده.

كانت الإجابة التي سمعها الملك إجابةَ حكيم حقًّا: «يا ملك الليديين، لقد أمرنا اللهُ بالتواضع في القسمة، لكنه أنعم علينا بصورة خاصة بحكمة بالغة [...] وعندما يجعلنا نرى أن الحياة البشرية مضطربة بالتقلبات المستمرة، فذلك يعني أن الحياة لا تسمح لنا لا بالتفاخر بممتلكاتنا ولا الإعجاب بما لدى الآخرين من سعادة يمكن للوقت أن يدمرها [...] فمن أنعمتْ عليه الآلهة برخاء دائم حتى نهاية الحياة فهو الوحيد الذي نحسبه سعيدًا.» تذكر كرويسوس تلك الإجابة عندما هزمه وأَسَرَه كورش الكبير في أثناء حربه مع الفرس. وعندما حُكم عليه بالموت على المحرقة نطق كرويسوس اسم سولون ثلاث مرات. فسأله كورش عن سبب مناداته لسولون. وعندما أخبره كرويسوس بالأمر، عفا عنه كورش وأصبحا صديقين.

في عام ٥٨٤ قبل الميلاد لم يكن شيء من ذلك قد حدث، ولم يكن كرويسوس ملكًا بعد، لكن الحرب كانت تحتدم بين الليديين والميديين، وهم شعب ينتمي إلى الفرس. وكانت كثرة الأسلحة ترجح كفة هذا الجانب تارة والجانب الآخر تارة أخرى، ولكن بسبب عدم تحقيق أي انتصار حاسم طال أمد العداء. وفي يوم ما كان الجيشان يتعاركان فأظلمت السماء. فقد حدث كسوف شمسي. اندهش الملكان من الحادث لدرجة أنهما أوقفا العراك. وبفضل جهود دبلوماسييهما، توصلا إلى هدنة ورسخا السلام بزواج للأمراء، إلا أن الفيلسوف اليوناني طاليس المليسي (٦٢٥–٥٤٦ قبل الميلاد) كان قد تنبأ بهذا الكسوف. وفي عام ٥٨٢، أصبح طاليس ضمن قائمة الحكماء بأمر من معبد دلفي؛ ربما نتيجةً لهذا العمل الجليل. تلك هي النادرة التي قصها المؤرخ والجغرافي والرحالة اليوناني هيرودوت (٤٨٤–٤٢٥ قبل الميلاد).

للأسف يشكك المؤرخون جديًّا في صحة العمل البطولي الذي قام به طاليس، ويذكرون أنه إذا كان التنبؤ بخسوف القمر قد وصل إلى درجة عالية من التعقيد لدى القدماء، فذلك ليس شأن كسوف الشمس. ولاحظوا أيضًا أنه في زمن طاليس كان علم الفلك اليوناني فصلًا في الفلسفة وليس علمًا قائمًا بذاته، وكان في مراحله الأولى. فقد شهد العصر الإغريقي ظهور علمٍ للفلك على نحو علمي مبني على إرث البابليِّين. وتفصل أربعمائة عام بين طاليس وهيبارخوس أول فلكي يوناني؛ أي أكثر من الثلاثة قرون والنصف التي تفصل عصرنا هذا عن العصر الذي شهد محاكمة جاليليو.

ومع ذلك، يجب ألا نقلل من شأن قصة الكسوف الذي تنبأ به طاليس؛ فهي تذكرنا بأن القدماء كانت لهم أعاجيبهم في علم الفلك. فلقد أعد البابليُّون[١] النموذج الذي يجب أن يُحتذى به، ثم نَقَلَه الإغريقيون إلى أوج ازدهاره، وحافظ العرب على الإرث عندما كانت أوروبا تتعافى ببطء من الجاهلية التي شهدتها في العصور الوسطى.

(٢) الساعات والتقويمات البابلية

لا تخضع الزلازل أو الثورات البركانية أو سقوط النيازك لأي قاعدة واضحة. فهي تظهر وتختفي بصورة غير منتظمة. وفي المقابل يتبع تعاقب الأطوار القمرية انتظامًا واضحًا. فإن فترة الإقمار، وهي الفاصل الزمني الذي يفصل بين محاقين متتاليين، تتغير بصورة بسيطة من شهر إلى آخر، ولكن متوسط قيمتها محدد تمامًا.[٢] وهذا أيضًا شأن تعاقب الفصول ومدة طول العام. ويعد تعاقب الأطوار القمرية والفصول ظواهر دورية.

يحتل تعاقب حالات الكسوف وضعًا وسيطًا، فهو لا يعد ظاهرة دورية، إلا أن دراسته تكشف عن بعض الانتظام، وهو ما يعد ظرفًا مثاليًّا لحضارة تبحث عن نذير في تعاقب الظواهر السماوية.

في بداية القرن الثامن قبل الميلاد استولى الآشوريون على السلطة في الشرق الأوسط وأصبحت عاصمتهم نينوى مركزًا مهمًّا، مع احتفاظ بابل بمكانتها كمركز ثقافي مثلما فعلت أثينا فيما بعد في عصر الإمبراطورية الرومانية. وبدلًا من علماء الفلك الذين لا وجود لهم بعد، عهد الآشوريون بمهمة رصد ما يدور في السماء إلى المنجمين. فعندما تحدث الظاهرة بصورة منتظمة، وفقًا للمعايير السائدة، يرون فيها ظرفًا ملائمًا للمملكة. وفي المقابل، إذا دخلت حبة رمل بين التروس فجعلتها تختل يفسر ذلك الكهنة المسئولون عن السماء بأنه نذير شؤم. فلكي يحدث كسوف، توجد بعض الشروط التي يجب أن تُستوفى، ويمكن ملاحظة بعضها بسهولة عندما نُعنى بمراقبة القمر والشمس بانتباه. ولكن حتى وإن كان منجمو القصر لا يراقبون السماء إلا للبحث عن إشارة تهدئة أو تهديد، فإنهم أصبحوا رويدًا رويدًا خبراء في علم الفلك، واكتسبوا مهارة في الرياضيات الأولية. هذا ما حدث في بابل؛ سواء أكان الحكام آشوريين، أم كانوا قادمين من بابل ذاتها مثل نبوخذنصر، أم كانوا من أصل فارسي مثل كورش، أم أخيرًا من أصل مقدوني مثل الإسكندر.

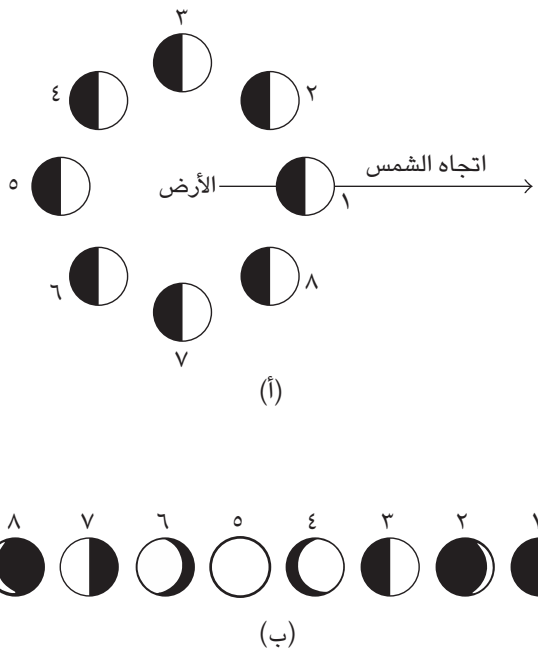
عندما يتحدث المؤرخون عن علم الفلك البابلي يصفونه بعلم الفلك الرياضي، ويقصدون بذلك أن البابليِّين لا يبحثون عن تحسين ملاحظاتهم أو بناء أدواتٍ أكثر فعالية، وهو ما قد يكون ممكنًا حتى في عصرٍ تكُون فيه الملاحظات بالعين المجردة. ولكن يحرص البابليُّون بالأحرى على إعداد جداول فلكية مضبوطة إلى أقصى درجة ممكنة، مما يتطلب قبل كل شيء وثائق منظمة، بالإضافة إلى هيمنة عمليات حسابية متنوعة كان قد تم إتقانها في عصر الإمبراطورية البابلية الأولى؛ أي في عصر حامورابي.

لكي يمكن التنبؤ بكسوف، يتعين وجود تقويمات، وقد وجد البابليُّون تقويمهم في السماء.

(٣) التقويم السماوي

فرض تعاقب الليل والنهار نفسه على أنه التقسيم الزمني الأساسي. ولكن في المجتمعات المنظَّمة كان يتعين وجود وحدة أخرى أطول من وحدة النهار. وبطبيعة الحال اتجه الناس ناحية القمر. فلا تزال كلمتا «مونات Monat» الألمانية و«مَنث Month» الإنجليزية شاهدتين على الوقت الذي لم يكن فيه أحد يميز بين الشهر، بصفته قسمًا من العام، والشهر القمري الذي يتبع حركة القمر (موند Mond بالألمانية، مون Moon بالإنجليزية).

على غرار الشمس، تشرق كل الأجرام السماوية في اتجاه الشرق — المشرق — وتغيب في الغرب — المغرب. وتظل بعض كوكبات النجوم مرئية فوق الأفق، ولكنها تشارك في حركة اللوحة الضوئية. تُعزى هذه الظاهرة المألوفة إلى ظاهرة أقل ألفة وهي دوران الأرض: تعرض جاليليو في القرن السابع عشر لعقوبات الكنيسة لنشره هذه الفكرة (الفصل السابع). ولكن تبدو بعض النجوم متحررة حيال حركة الكرة السماوية؛ وهي الشمس والقمر والكواكب. فعندما يضيء القمر يمكننا ملاحظة أنه يشارك في التحرك الجماعي، ولكن إذا دققنا النظر فسنجد أنه يبذل قصارى جهده للالتزام بالمضمار السماوي. ويصبح هذا البطء جليًّا عندما تستمر الملاحظة أكثر من ليلة؛ فيظهر القمر كل يوم متأخرًا خمسين دقيقة في المتوسط عن الليلة السابقة. ومن هذا المنطلق يمكننا إيجاد طريقة أخرى لمتابعة الأمور، تتمثل في التفكير في حركة القمر على أنها تحرُّك من الغرب يرتبط نسبيًّا بالنجوم الثابتة التي تحدد الكرة السماوية. وتقوم الشمس والكواكب بالحركة ذاتها ولكن القمر هو الذي يبتعد بسرعة أكبر.



شكل ٢-١: يفترض أن يكون اتجاه الشمس ثابتًا بينما يرسم القمر دائرة حول الأرض (أ). ويلاحظ المراقب الأرضي أن الأطوار المتعاقبة تتوالى في نظام لا يتغير: (١) محاق. (٢) أول هلال مرئي. (٣) تربيع أول. (٤) أحدب متزايد. (٥) بدر. (٦) أحدب متناقص. (٧) تربيع ثانٍ. (٨) هلال أخير. (ب).

يحتاج القمر قرابة الشهر لإتمام دورة كاملة حول الكرة السماوية وتشير أطوار القمر إلى حركته. فعندما يكون القمر قريبًا جدًّا من الشمس يكون محاقًا، ويصبح الوجه المعتم الذي يبرزه غيرَ مرئي باختفائه في ضوء الشمس. وفي الأيام التالية يظهر هلالًا صغيرًا ولكنه يتسع كلما ابتعد القمر عن الشمس ناحية الشرق. وبعد حوالي أسبوعين يكتمل القمر (بدرًا) ونقول حينئذٍ إنه متعارض مع الشمس. وليس لدينا متسع من الوقت للإعجاب به في بهائه؛ فهو يبدأ في التصاغر حتى يختفي مجددًا. ونعود إلى نقطة الصفر وتنتهي فترة الإقمار (شكل ٢-١).

لم يتخلَّ التقويم المعمول به عالميًّا في الوقت الحالي عن مفهوم الشهر، ولكنه يعطي الصدارة للعام، وهو ما لا يمنع القمر من ممارسة عمل مباشر في حياتنا اليومية أو في حياة الحيوانات (الفصل الأول). لا يكتفي القمر بخدمة المتنزهين ليلًا، لكن تأثيره على مستوى البحار والمحيطات، الذي طالما كان محل شك، أُثبت منذ فترة طويلة (الفصل الأول والسابع). ولا يزال القمر حتى يومنا هذا محلًّا لأساطير عديدة، وسببًا في أساطير مشكوك فيها. ويجزم العديد من محترفي استغلال الخشب بأنه يجب ألَّا يقطع الخشب إلا في أيام نقصان القمر (الرمز واضح). أما عن شهادة الحكيمات اللاتي يلاحظْنَ أنه عندما يكون القمر بدرًا، يتزايد عدد المواليد، في الوقت الذي تنتشر فيه الجريمة ويعود من يعانون من الأرق إلى مخادعهم على حد اعتقاد البعض؛ فلا يمكننا إثبات ذلك دون دراسة أكثر عمقًا، خاصةً إذا استبعدنا التفسيرات المألوفة التي تقول إن من يترك النافذة مفتوحة في أثناء نومه يمكن لضوء القمر أن يسبب له اضطرابًا في النوم. ربما لا تمثل كل هذه المزاعم إلا انعكاسًا لمخاوفنا وسرعة تصديقنا غير المحدودة لكل ما يتعلق بالسحر والشعوذة.

(٤) الشهر القمري

إن الشعب الذي يريد إعداد تقويم يبدأ بطبيعة الحال بالاعتماد على القمر. فتعد التحولات الظاهرية للقمر مرئية بصورة واضحة وتستغرق أقل من ٣٠ يومًا. فمن الطبيعي إذن أن يختار البابليُّون الشهر القمري على أنه أول وحدة زمنية، والمقصود به هنا هو فترة الإقمار؛ أي الفاصل الزمني الذي يفصل بين ظهور محاقين متتاليين، فهي تتميز بأنها أقصر من العام بصورة كبيرة وأسهل في القياس. وتعتمد النتائج التي سيحصل عليها علماء الفلك في بابل على رياضيات مُحكمة أُعدت لخدمة وسائل ملاحظة أولية.

هل يعد قياس فترة الإقمار سهلًا؟ ليس أكيدًا. لا يمكننا الاعتماد مباشرةً على المحاق على أنه العلامة المميزة للشهر؛ حيث يصبح القمر غير مرئي باختفائه في ضوء الشمس الشديد، وهو ما يحدث أيضًا للبدر وللتربيعين الأول والأخير، فيعد رصدها بدقة صعبًا للغاية. وهو بلا شك السبب الذي جعل علماء الفلك في بابل يختارون علامة أكثر تحديدًا. ولتحديد بداية شهر جديد يستخدم البابليُّون طريقة لا تزال سارية في الدول الإسلامية؛ حيث يبدأ الشهر عندما يُرى هلال قمري صغير عقب غروب الشمس مباشرةً. فمنذ اليوم التاسع والعشرين من الشهر يُراقب الأفق الغربي، وإذا لم يظهر القمر يتم الإجراء ذاته

في اليوم التالي. وفي اليوم الحادي والثلاثين أيًّا كانت ظروف المراقبة يُعلن بداية شهر جديد، وهذا يعني أن بداية الشهر القمري تتبع المحاق بصورة مباشرة.

يعد هذا التعريف للانتقال من شهر إلى آخر بسيطًا، لكنه خاضع لعدد من التقلبات التي تسبب تذبذبات مؤسفة في طول الشهر.[٣] إلا أنه على المدى الطويل تُعوض هذه الفجوات، فليس لها تأثير على متوسط مدة الشهر. وهنا تطرح مسألة جوهرية نفسها على الكهنة علماء الفلك المسئولين عن التقويم: إذا كان الشهر القمري يتميز بكونه أكثر وضوحًا وأكثر جلاءً خاصةً في المناطق التي تكون فيها السماء مكشوفة، فهو لا يتفق إطلاقًا مع الإيقاع الموسمي.

أمام تلك المعضلة يمكننا اختيار تجاهل الدورة الشمسية والالتزام بالتقويم القمري، وهو ما يقوم به المسلمون على الأقل فيما يتعلق بالأنشطة الدينية. وفي المقابل يمكننا أن نقرر الانتظام مع الشمس بالالتزام بتقويم شمسي تكون وحدته الزمنية هي العام، وهو ما يقوم به التقويم الميلادي المعمول به عالميًّا. فهو يحتفظ بالشهر لكنه يعدل مدته لعمل تقسيم جديد للعام يضم اثني عشر شهرًا. يمكننا في النهاية التوصل إلى حل وسط على غرار البابليِّين الذين انتهجوا تقويمًا قمريًّا–شمسيًّا.

يمتد الشهر القمري في المتوسط ٢٩ يومًا ونصف يوم، فكان لدى البابليِّين يتكون تارة من تسعة وعشرين يومًا وتارة من ثلاثين. ولا يستغرق العام المكون من اثني عشر شهرًا قمريًّا إلا ٣٥٤ يومًا؛ وهو ما يسبب خلال أربعة أعوام فارقًا يقدر بـ ٤٥ يومًا مقارنة بدورة الفصول. ولمواجهة هذا العيب كان البابليُّون يُدخلون شهرًا إضافيًّا في العام كلما اقتضى الأمر. ونقتبس باستمرار أمرًا للملك حامورابي مكتوبًا على لوح من الطمي: «يقول حامورابي لوزيره سينادينام: هذا العام غير معتاد. قم بتسجيل الشهر القادم تحت اسم أولولو الثاني. وسوف ينتهي دفع الضرائب في بابل في ٢٥ أولولو الثاني بدلًا من ٢٥ تساريتو.»[٤] لخزانة الدولة أسبابها التي لا تعرفها السماء. في عصر حامورابي كان إدخال شهر إضافي على حسب الحالة دون قاعدة صارمة، لكن التقدم المحرز في مجال علم الفلك البابلي سيسمح فيما بعد بتحديد هذا الأمر بدقة.

عند تولد كل هلال في نهاية كل شهر كان علماء الفلك البابليُّون يحددون موقع الشمس في القبة السماوية، فيرصدونها على فلك البروج الذي يقسمونه إلى اثني عشر جزءًا، يقدر عرض كل جزء منها بـ ٣٠°. وحتى يومنا هذا، يخضع قياس الوقت والزوايا لنظام ترقيم معتمد على الرقم ستين، وهو نظام موروث عن البابليِّين. وبتسجيل هذه

المعطيات بدقة شديدة، ابتكر علماء الفلك القدماء ما أسماه زملاؤهم المحدثون بالتقويم الفلكي، وهو ليس إلا موعد مرور الأجرام السماوية. وهكذا توضح الجداول أنه لدى البابليِّين يتباين المسار الشهري للشمس بين قيمتين كبيرتين ١٣′ ٢٨° و٥٦′ ٢٩°؛ مما يمثل فارقًا يقدر بـ ٦٪ تقريبًا. وبعيدًا عن فكرة أن مدة الشهر البابلي متغيرة، فمن الحقيقي أن الشمس تبدو أنها تتقدم أسرع في القبة السماوية في أشهر الشتاء عن أشهر الصيف، وهو ما ينعكس بوضوح على تقويمنا. ففي نصف الكرة الشمالي يوجد ١٨٤ يومًا في المتوسط بين اعتدالي الربيع والخريف مقابل ١٨١ أو ١٨٢ خلال بقية العام.

(٥) دورة ميتون

لا ترتبط مدة كلٍّ من الشهر والعام؛ فكلاهما مستقل عن الآخر. زادت مدة طول الشهر ببطء شديد طوال تاريخ الأرض، في هذا الصدد لا يمكن أن تدحض على الفور واقعة حيوانات المديخ المذكورة في الفصل الأول. أما مدة طول العام فقد ظلت ثابتة تقريبًا منذ تكوين النظام الشمسي. وتريد الأقدار أن تتلاقى الشمس مع القمر كل ١٩ عامًا في الشكل الخارجي ذاته الذي يلاحظه مراقب أرضي. ومن أجل اكتشاف تلك المصادفة، يجب أن يكون علم الفلك متطورًا بالقدر الكافي، وأن يمتلك العلماء القدماء تقويمات فلكية محددة بفضل البابليِّين. وتتيح هذه الدراسة تحديد الوقت اللازم لقيام الشمس بدورة كاملة بدقة شديدة — باستخدام تعبيرات علماء الفلك. لذلك يكفي أن تكون الملاحظات عديدة وتتوزع على عدد كبير من الأعوام. وتمتد فترة الدوران الشمسي السنوي لدى البابليِّين على مدار ١٢ شهرًا و٢٢ «دقيقة من الشهر» و٨ «ثوانٍ من الشهر».[٥] وبعبارة أخرى، وفقًا للنظام العشري:

يحتوي العام على ١٢,٣٦٨٩ شهرًا قمريًّا.

لا توجد أي أهمية لهذه المساواة في حد ذاتها إلا إذا ضوعفت في ١٩، فتصبح إذن كالتالي:

تحتوي الـ ١٩ عامًا على ٢٣٥,٠٠٩١ شهرًا قمريًّا.

إذا كان ١٩ عامًا يتساوى بالضبط مع ٢٣٥ شهرًا، فتتكرر أطوار القمر كل تسعة عشر عامًا في التاريخ ذاته والساعة ذاتها. لكن لا تتحقق المساواة إلا بنسبة ٠,٠٤٪

تقريبًا، لدرجة أن الأمر لا يتعلق إلا بدورية تقريبية. وفي خلال ثلاثة قرون سيتسبب التقويم القائم على هذه الدورة في فارق يوم مقارنة بتقويمنا. إلا أن ذلك يُعتبر مصادفة رقمية مثيرة للانتباه، وقد حاول عالم الفلك اليوناني ميتون نشرها في أثينا قبل بداية العصر الإغريقي بقرن. وأُعلن عن الاكتشاف بمناسبة الألعاب الأوليمبية. «قال البعض إن الأثينيين المنبهرين قاموا بحفر دورة ميتون بأحرف من ذهب على أعمدة معبد مينرف.»[٦]

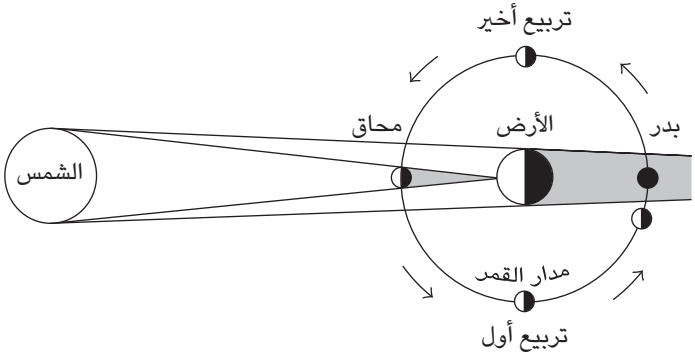
لم يكن لميتون أي أصدقاء. ففي كتاب «العصافير» رسمه الكاتب اليوناني الساخر أريستوفان (٤٥٠–٣٨٦ قبل الميلاد) على أنه عالم لا يمتلك من الشجاعة إلا القليل. فيُقال إنه في أثناء حملة صقلية الشهيرة ادَّعى الجنون للهروب من التجنيد في الجيش الأثيني. ومن الحقيقي أيضًا أن أريستوفان شن هجومًا على سقراط في كتاب «الأسراب» على الرغم من أنه يعتبر أحد أصدقائه.

يعد البابليُّون هم المكتشفين الحقيقيين لدورة ميتون.[٧] فلكَي يتفق تقويمهم القمري–الشمسي مع الفصول، فهموا أنه بداخل دورة مكونة من ١٩ عامًا ينبغي أن تحتوي ٧ أعوام منها على ثلاثة عشر شهرًا قمريًّا، بينما يحتوي الـ ١٢ عامًا الأُخَر على اثني عشر شهرًا فقط. ومنذ ذلك الوقت أصبح إدخال شهر إضافي يخضع لقاعدة محددة بالضبط.[٨]

استخدمت الكنيسة دورة ميتون عندما أعدَّت التقويم الطقسي، وخاصةً في تحديد تاريخ عيد الفصح: «يتزامن عيد الفصح مع يوم الأحد الذي يلي اليوم الرابع عشر للقمر الذي يبلغ هذا الطور في ٢١ مارس أو بعدها مباشرة»، وهو تعريف معقد لا يمكن أن نستنتج منه سوى نقطة واحدة: يعتمد هذا التاريخ على أطوار القمر. وبما أن أطوار القمر تتكرر في التاريخ ذاته — أو بالتقريب — كل ١٩ عامًا، فلا عجب أن تجد دورة ميتون مكانها في حساب الأعياد الكنسية، وهو لوغاريتم معقد يسمح بالتنبؤ بتاريخ عيد الفصح، وقد تم تعديله في أثناء إصلاح التقويم.[٩]

(٦) التنين يقف بجوار عقدة

لنتخيل حضارة تراقب السماء بانتظام. فأيًّا كانت الهيئة التي تتخيلها للأرض والأجرام السماوية فسوف تلاحظ، آجلًا أو عاجلًا، العلاقة الإلزامية التي تربط بين أطوار القمر وطبيعة الخسوف الملاحظ؛ لا يمكن أن يحدث الكسوف الشمسي إلا عندما يكون القمر في طور المحاق، بينما لا يمكن ملاحظة خسوف القمر إلا في طور البدر. يشرح الشكل ٢-٢

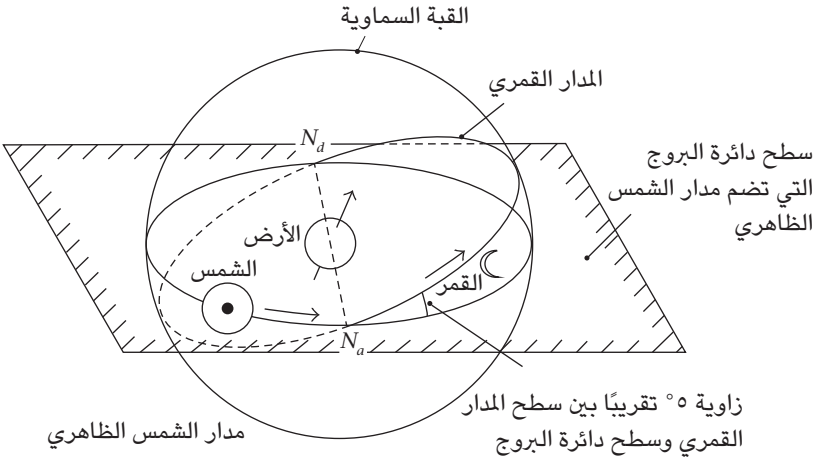


شكل ٢-٢: العلاقة بين أطوار القمر الممثلة في شكل ٢-١ وطبيعة الكسوف التي أصبحت قابلة للفهم بسبب طبيعة النجوم الثلاثة المشاركة. لا مجال لحدوث كسوف شمسي إلا إذا مر القمر بين الأرض والشمس؛ أي في طور المحاق. ولكي يحدث خسوف قمري يتعين على الأرض أن تكون بين القمر والشمس، وهو ما لا يمكن حدوثه إلا في طور البدر. وفي الحالتين لا يحدث الكسوف إلا إذا كانت الأجسام الثلاثة على خط واحد.

هذه العلاقة ببساطة. ومع ذلك لا يمكن أن يحدث العكس مثلما يلاحظ البعض؛ فلا نلاحظ بالضرورة كسوفًا كلما كان القمر في طور البدر أو المحاق. كيف يمكن تفسير تلك الظاهرة؟

تسمح المقارنة بين المدار الظاهري للقمر ومدار الشمس، «دائرة البروج»، بالإجابة عن هذا السؤال. يرسم مسار الجسمين على القبة السماوية التي تشبه الكرة دائرتين كبيرتين بينهما زاوية ٥° تقريبًا وتتقاطعان في نقطتين، وهما «العُقد» (شكل ٢-٣). تكون العقدة صاعدة إذا غادر القمر عند هذه النقطة نصف الكرة السماوي الجنوبي متجهًا إلى نصف الكرة الشمالي. وتكون نازلة في الحالة المضادة. ولكن تلعب العقد دورًا محوريًّا فيما يخص تعاقب حالات الكسوف.

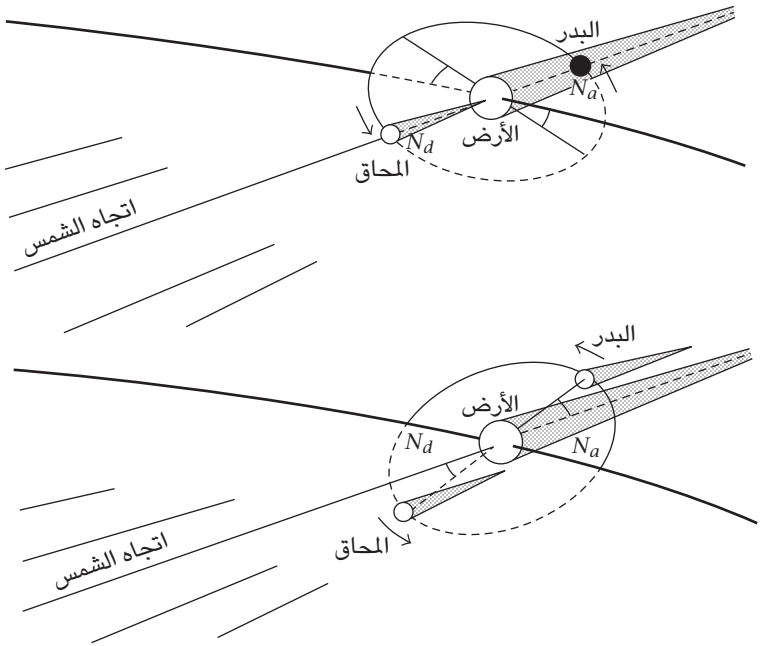
على الرغم من أن الحجم الظاهري للقمر والشمس — حوالي نصف درجة قوسية — يبدو لنا كبيرًا، فإنه صغير جدًّا بالمقارنة مع اتساع القبة السماوية. ولكي يلتحم القرصان أحدهما بالآخر، يجب أن يكونا على قرب شديد. لكن بما أن المدارين الشمسي والقمري مائلان كلٌّ على الآخر، لا يحدث الكسوف إلا عندما تكون الشمس والقمر بالقرب من عقدة. وفي حالة حدوث كسوف شمسي يمر النجمان في الوقت ذاته



شكل ٢-٣: يرى المراقب الأرضي أن المدارين الظاهريين للشمس والقمر يقعان على مدار الكرة السماوية. ويحتوي سطح دائرة البروج على مدار الشمس الذي يقطعه مدار القمر بزاوية ٥° تقريبًا. ويُطلق اسم عقدة صاعدة Na وعقدة نازلة Nd على نقطتي التقاطع، ويُطلق اسم خط العُقد على الخط المستقيم الذي يربطهما.

بالعقدة نفسها، بينما نجدهما في حالة الخسوف القمري على جهتي خط العقد (شكل ٢-٤).

سواء أفهم البابليُّون أم لم يفهموا آلية الكسوف — وهم لم يتطرقوا قط لهذه المشكلة — فقد سجلوا على الرغم من ذلك على الألواح التي كانوا يدوِّنون عليها ملاحظاتهم المسافةَ الظاهرية التي تفصل القمر عن دائرة البروج على القبة السماوية. يمكن لقرص القمر أن يتعدى على مساحة قرص الشمس فقط عندما تكون هذه المسافة صغيرة بالقدر الكافي، ويمكن أيضًا للقمر أن يدخل في ظل الأرض إذا كان الأمر يتعلق بخسوف قمري. كان التنبؤ بالكسوف إذن أمرًا سهلًا لدى البابليِّين. في الواقع لم يكن البابليُّون يستطيعون أن يؤكدوا حدوث كسوفٍ ما باليوم والساعة، لكنهم كانوا يستطيعون تحديد التاريخ الذي يمكن فيه وقوع مثل ذلك الحدث، بالإضافة إلى الفترات التي يستحيل فيها حدوثه بأي حال من الأحوال. ولهذا الغرض كانوا يستغلُّون المعلومات المرتبطة بتغيرات المسافة بين القمر ودائرة البروج.



شكل ٢-٤: لا مجال لحدوث خسوف قمري إلا إذا كان القمر والشمس قريبين من عقدتين مختلفتين إحداهما عن الأخرى (أ). فعندما لا يتوافر أيٌّ من هذه الشروط لا يمكن حدوث خسوف (ب).

ترك لنا البابليُّون وثيقة تكشف آليات التنبؤ بخسوف القمر، ولكي نتطرق بصورة أفضل إلى هذا الموضوع يستحسن تكوين فكرة عن الآلية التي تقود تعاقب حالات الخسوف.

ولتثبيت الأفكار، ننحي جانبًا بصورة مؤقتة كسوف الشمس.

لنتخيل أننا كنا نرى منذ قليل «خسوفًا كليًّا للقمر»، وفي وقت محدد كان مركز كل من الشمس والأرض والقمر على خط واحد بالضبط، فبعد كم من الوقت سنرى خسوفًا جديدًا؟ ويتعين أن يكون مماثلًا لسابقه، وهو ما لا يَستبعد مطلقًا أن تحدث حالات خسوف أخرى خلال هذا الفاصل الزمني.

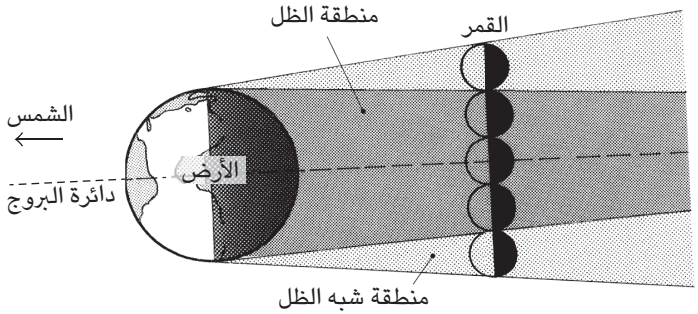
نلاحظ في البداية أنه في وقت حدوث الخسوف الأول كان القمر تمامًا في طور البدر، ويتصادف مركزه مع عقدة. ولكي يمكننا ملاحظة خسوف مماثل، يتعين بالضرورة توافر شرطين.

يجب أولًا أن يكون القمر تمامًا في طور البدر، مما يتطلب أن ننتظر عددًا صحيحًا من فترات الإقمار، وتستغرق كلٌّ منها ٢٩,٥٣٠٥٨٨٨٥٣ يومًا.[١٠] ثم يتعين أن يتصادف القمر من جديد مع عقدة، سواء أكانت مماثلة أم لا للعقدة التي كان يشغلها في أثناء الخسوف الأول. ويُطلق اسم «الشهر العقدي» على المدة التي تفصل بين مرورين متتاليين للقمر بالعقدة ذاتها. وتُشتق هذه الصفة اللافتة للانتباه من مفهوم أسطوري للخسوف. فيتخيل البعض تنِّينًا يراقب الشمس والقمر بالقرب من العقد ويستعد لابتلاعهما.

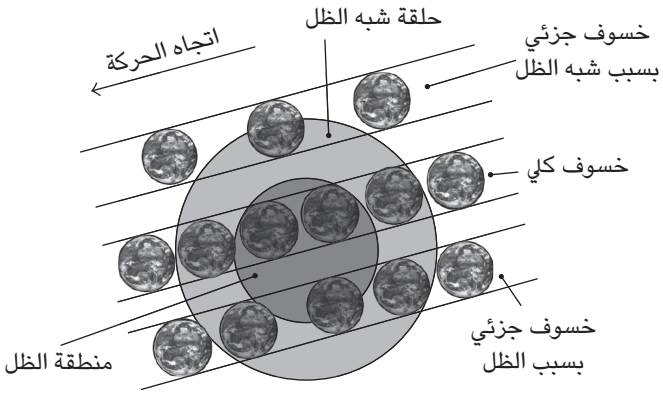
ومما قد يثير التعجب هو أن الشهر العقدي يعد أقصر من فترة الإقمار بصورة كبيرة، فهو لا يستغرق سوى ٢٧,٢١٢٢٢٠٨١٧ يومًا.[١١] وإذا كان يوجد فارق أكثر من يومين بين طول كلٍّ من الإقمار والشهر العقدي، فذلك لأن العُقَد ليست ثابتة في الفضاء. فهي تتحرك مثل أجرام سماوية عادية بطول المدار القمري وتصبح في مواجهة القمر (الفصل الثالث). وبما أنها ليست إلا نقاطًا هندسية، فلا يُخشى وقوع أي تصادم. وفي النهاية، إذا أردنا أن يتحقق الشرط الثاني يتعين أن ننتظر أن يساوي عدد صحيح من الفواصل الزمنية نصفَ الشهر العقدي؛ أي ٢٧,٢١٢٢٢٠٨١٧ : ٢ = ١٣,٦٠٦١١٠٤٠٨٥ يومًا.[١٢] يمكن تلخيص الموقف بالطريقة الآتية: سنلاحظ خسوفًا ثانيًا مماثلًا للأول شريطة أن يكون قد مر عدد أيام يكون في آن واحد مضاعفًا صحيحًا لـ ٢٩,٥٣٠٥٨٨٨٥٣ و١٣,٦٠٦١١٠٤٠٨٥.

يبدو الشرط غريبًا بتقديمه بهذه الطريقة، وإذا أخذناه على محمل الجد يتعين أن ننتظر أكثر من مليار عام لكي يتحقق. وبأي حال من الأحوال، قد لا يمكن حساب المدة التي تفصل بين حالتي خسوف بما أن متوسط فترة الإقمار ومتوسط الشهر العقدي معروفان بدقة شديدة ولكنها بالطبع ليست مطلقة. ومن ثم تتضمن الطريقة المستخدمة عيبًا كبيرًا ومن السهل معرفة سببه الأصلي؛ فهي تتطلب البحث عن فترة في حين أن تعاقُب حالات الخسوف ليس دوريًّا.

ليس ذلك كلَّ ما في الأمر، فلكَي يحدث خسوف قمري كلي أو جزئي، ليس من الضروري أن تكون مراكز القمر والأرض والشمس على خط واحد بالضبط، فيسمح حجم قرصي القمر والشمس وامتداد منطقة ظل الأرض بملاحظة خسوف في ظروف



(أ)



(ب)

شكل ٢-٥: عندما يمر القمر بمنطقتي الظل أو شبه الظل للأرض يحدث خسوف (أ). ويمكن أن يكون هذا الخسوف كليًّا أو جزئيًّا بسبب الظل، وكليًّا أو جزئيًّا بسبب شبه الظل. لا تُمثل حالة الخسوف الكلي بسبب شبه الظل (ب).

أقل تقييدًا (شكل ٢-٥). ومن ثم يتعين تخفيف الشروط الحسابية التي تم تفسيرها أعلاه. ففي توالي حالات الخسوف يجب أن يُستبدل بالبحث عن فترة بعينها سلسلةٌ من الفترات التقريبية.

(٧) الفترات التقريبية

إذا كان القمر اليوم في طور المحاق، فسيكون كذلك أيضًا في نهاية فترة الإقمار. وسيكون إذن محاقًا في كل مرة يمر فيها عدد صحيح من فترات الإقمار؛ حيث تتكرر أطوار القمر دوريًّا، والأمر ذاته فيما يتعلق بمرور القمر بعقدة، فهو أيضًا دوري، لكن مثلما رأينا سابقًا لا تتفق فترات الإقمار وفترة نصف الشهر العقدي،[١٣] لدرجة أن تعاقب حالات الخسوف يعد ظاهرة ليست دورية.[١٤]

لمواجهة هذه الصعوبة يلجأ علماء الرياضيات بدلًا من الإقمار ونصف الشهر العقدي إلى سلسلة من الفواصل الزمنية التي مر خلالها عدد شبه صحيح من فترات الإقمار ونصف الشهر العقدي (انظر الملحق ب). وهذه الفواصل الزمنية هي الفترات التقريبية التي تميز تعاقب حالات الخسوف. وبالتعبير عنها في شكل عدد فترات الإقمار تُكتب:

٥ ٦ ٤١ ٤٧ ٨٨ ١٣٥ ٢٢٣ ٣٥٨ ...

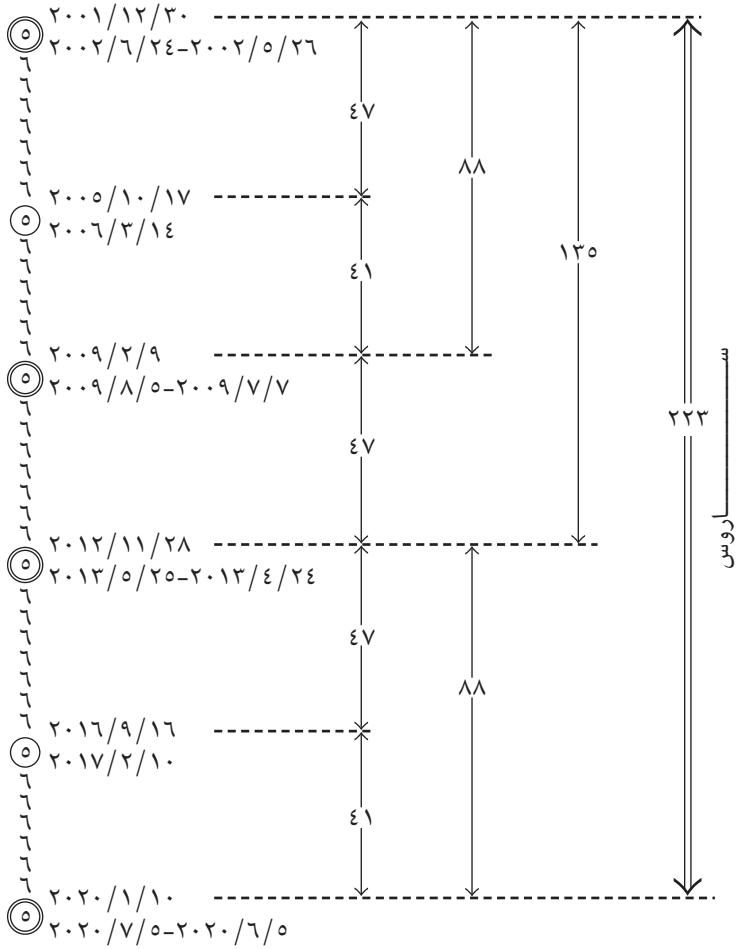
نجدها في شكل ٢-٦ الذي يعد قائمة لحالات الخسوف القمري التي حدثت (أو التي ستحدث) منذ ٣٠ ديسمبر ٢٠٠١. وفي هذه الحالة يتعلق الأمر بجدول حالات الخسوف.

نستنتج من رقم ٥ الماثل في القائمة أن خسوفين متتاليين يمكن (لكن لا يجب) أن تفصلهما ٥ فترات إقمار. وتنطبق الملاحظة ذاتها على الرقم ٦. أما الأرقام التالية فهي لا تخص حالات الخسوف المتتالية التي تفصلها دائمًا فترة إقمار أو خمس أو ست فترات. وإذا وُجد الرقم ٤١ في القائمة فذلك يعني فقط أنه بعد ٤١ فترة إقمار من خسوفٍ ما هناك فرصة كبيرة لملاحظة خسوف جديد. وينطبق الأمر ذاته على الأرقام التالية ٨٨، ١٣٥، ...، ٣٥٨، ... إلى آخر ذلك؛ لدرجة أن احتمال ملاحظة خسوف جديد يزداد كلما كان الفاصل الزمني طويلًا.

(٨) دورة ساروس

في شكل ٢-٦ لا يمكن التحقق بدقة إذا كان ٨٨، ١٣٥، ٢٢٣ و٣٥٨، ... تمثل فترات تقريبية. وللتوصل إلى ذلك يتعين وجود جدول أكثر طولًا.

يلعب فاصل ٢٢٣ فترة إقمار دورًا خاصًّا في تاريخ العلوم، وسُمي ساروس بواسطة هالي الذي كان معنيًّا بحالات الخسوف التاريخية، والذي اكتشف بهذه الطريقة



شكل ٢-٦: يتكون عمود اليسار من تسلسلٍ لرقمَي ٥ و٦. وتتلاءم هذه الأرقام مع فترات الإقمار التي تفصل بين خسوفين متتاليين للقمر (معطيات تتناسب مع الفترة ما بين ٢٠٠١/١٢/٣٠ و٢٠٢٠/٧/٥). وعندما يرِدُ تاريخان على السطر ذاته فهما يرتبطان بموقف خاص يتوالى فيه خسوفان غير مرئيين بوضوح بفاصل زمني يقدر بشهر. ويمثل كلٌّ من ٤١ و٤٧ و٨٨ و١٢٥ فترة إقمار وساروس (٢٢٣ إقمارًا) فترات تقريبية مميزة لتعاقب حالات الخسوف.

تباطؤ الدوران الأرضي المذكور في الفصل الأول.[١٥] ومنذ ذلك الوقت شهد هذا المصطلح رواجًا كبيرًا. وتشهد دورة ساروس المكونة من ٢٢٣ فترة إقمار — حوالي ١٨ عامًا و١٠ أيام — تكرُّر ظاهرة تعاقب حالات الخسوف بطريقة شبه مماثلة: فإن ٢٢٣ شهرًا قمريًّا يساوي ٢٤٢ شهرًا عقديًّا بفارق قدره ٥٢ دقيقة. وفي نهاية دورة ساروس تكون المواقع النسبية للأرض والشمس والقمر شبه متماثلة.

يوصف أي خسوفين تفصلهما دورة ساروس بأنهما متماثلان. ويسمح مثال حي بفهم ذلك بصورة أبسط. لوحظ أول خسوف في القرن الحادي والعشرين في ٩ يناير ٢٠٠١، وكان خسوفًا كليًّا. إذا تابعنا حدوثه بانتباه فسنلاحظ أنه جزء من سلسلة طويلة من حالات خسوف مماثلة، حدث أولها في ١ أبريل ١٥٥٠ وسيحدث آخرها في ٢٨ مايو ٢٨٣٠. وخلال هذه السلسلة تغيرت وسوف تتغير طبيعة الخسوف وإمكانية رؤيته بصورة مستمرة، وفي ذلك تحتل حالات الخسوف الكلي وسط القائمة.[١٦]

لم يكن البابليُّون يطلقون عليه هذا الاسم لكنهم كانوا يعرفون دورة ساروس بلا أدنى شك.

وبفضل ثلاثة يسوعيين ألمانيين فكُّوا رموز عدد من الألواح التي تتعلق بعلم الفلك، وهم: عالم الآشوريات جي إن ستراسماير، وعالِما الفلك جي إبينج وإف إكس كوجلر؛ نمتلك الدليل على أن البابليِّين وضعوا نظامًا معينًا في تعاقب حالات الخسوف القمري. وقد سمَّى اليسوعيون أحد هذه الألواح، التي لا نملك إلا جزءًا منها، باسم دورة ساروس. وهي تتضمن قائمة طويلة من الأشهر القمرية التي شهدت خسوفًا قمريًّا، أو التي كانت توجد فيها فرصة كبيرة للخسوف إذا كان الأمر يتعلق بتنبؤ. وتختص القائمة بالفترة من ٣٧٣ إلى ٢٧٧ قبل الميلاد الواقعة بين الهيمنة الفارسية والأسرة السلوقية (ملحق ج).

ويشهد هذا اللوح على الطابع القمري الشمسي للتقويم البابلي. وكان يُشار لاعتلاء أي حاكم لكرسي العرش خلال الفترة الأولى من حكمه. ولكن لا يظهر في هذا الجدول اسم أرتاكسركيس الثاني الذي تُوفي في ٣٥٨، مما قد يشير إلى أن جزءًا من اللوح لم يصل إلينا.

لم يكن البابليُّون فقط مراقبين منتبهين لحالات الخسوف لكنهم حللوا أيضًا تعقيدها. وهذا هو ما يقترحه في كل الأحوال هيكل دورة ساروس؛ فتتعامد فيها حالات الخسوف المتماثلة على خط واحد كلٌّ على الأخرى. فمن المرجح بشدة أنهم حتى وإن أطلقوا على دورة ساروس اسمًا آخر، فقد اكتشفوها وفهموا دورها في تعاقب حالات

الخسوف. وبعبارة أخرى، ربما لم يكتفِ البابليُّون قبل العصر الإغريقي بمراقبة حالات الخسوف، لكنهم أعدوا نظرية حقيقية لتعاقبها، من شأنها وحدها السماح بالتنبؤات. ويدعم صحة هذا الافتراض أنه لا توجد أي إشارة على اللوح إلى أنطيوكوس الأول الذي اعتلى العرش عام ٢٨٠، لدرجة أنه من الممكن أن يكون اللوح قد كُتب قبل توليه الحكم. وفي هذه الحالة قد تنتج تواريخ حالات الخسوف الأخيرة عن تنبؤات.

لا يشير اللوح إلى حالات الخسوف «المزدوجة»: هذه الحالات المتماثلة التي تتوالى بفاصل زمني يُقدَّر بشهر. ولا عجب في ذلك؛ فإن هذه الحالات من الخسوف تُعدُّ جزئية بسبب شبه الظل ويصعب إذن ملاحظتها. وهذا ما نلاحظه في شكل ٢-٦؛ حيث تمثل حالات الخسوف المزدوجة علامة مفيدة لتحديد الفترات التقريبية عامةً ودورة ساروس خاصةً. إذا كان مثل هذا العيب لم يمنع علم الفلك البابلي من اكتشاف دورة ساروس، فذلك يشهد بجودته.

تحمل الجداول الحالية تفاصيل إضافية: ساعة بدء الظاهرة وانتهائها بالضبط، ساعة المرور من منطقة شبه الظل إلى منطقة الظل، أو مناطق الأرض التي تشهد خسوفًا كليًّا أو جزئيًّا، أو التي يكون الخسوف فيها غيرَ مرئي، خاصة عندما يكون القمر فوق الأفق. كان البابليُّون يعرفون هذه المعلومات جزئيًّا، لكن يذكر بانكويك مثال خسوف كان، على حد قول منجم مجهول ينتمي إلى العصر الآشوري، «قد حدث لكنه لم يُلاحَظ لأن السماء كانت غائمة ...» وفي المقابل كان من الصعب على علماء بلاد الرافدَيْن أن يعرفوا مسبقًا هل سيكون القمر مرئيًّا في بابل وقت الخسوف أم لا.

(٩) هل يجب تصديق صحة الكسوف الذي تنبأ به طاليس؟

منذ زمن بعيد تقبَّلنا بكل سذاجة الأساطير الأكثر إثارة للدهشة التي تتعلق بالماضي. ربما كان من غير المناسب أن يشكك أحد فيها، خاصةً إذا كانت تتعلق بالمجال الديني. ثم جاء عصر الشك. فقد كف جوته عن نطق Mehr Licht![١٧] على فراش موته. وفي معركة رونسوفو ترك رولاند مكانه لمؤخرة جيش شارلمان التي هاجمها الفاسكون بدلًا من الشرقيين. أما جيوم تل، فبسبب انتحاله لشخصية بطل اسكندنافي أسطوري مثله، طُرد من بحيرة الكانتونات الأربعة. أما عن قصة جان «فتاة لورين الطيبة التي حرقها الإنجليز في روان»، فما الذي لم يفعله الناس لإفساد حبكة الرواية؟ بلا شك تمادى

البعض في نفي أساطير الماضي. وتبقى حالة الكسوف الشمسي الذي حدث إبان الحرب بين الليديين والفرس. فهل كان طاليس يستطيع التنبؤ بذلك؟

في حين أن دورة ساروس تعد قائمة بحالات خسوف القمر يتعلق تنبؤ طاليس بكسوف شمسي. هل يمكننا الحكم على صدقه بقراءة هذا الجدول؟

تعد دورة ساروس مفهومًا ملائمًا للتنبؤ بكسوف الشمس أكثر من خسوف القمر. من وجهة النظر الإحصائية، يمثل نوعَا الكسوف التكرارَ ذاته والفترات التقريبية ذاتها. ومن الممكن أن يكون طاليس قد تعلَّم بعض عناصر علم الفلك لدى البابليِّين، الذين كانوا يعرفون دورة ساروس وكانوا يستطيعون بلا شك التنبؤ بخسوف القمر. تلك هي حجج الدفاع.

مهما قال المدافعون عن أسطورة طاليس فإن تعداد حالات الكسوف ليس كافيًا. ومن الحقيقي أن الإحصائيات لا ترجح كفة الكسوف الشمسي على كفة الخسوف القمري، ولكن في مكان محدد وخلال فترة طويلة نشهد خسوفًا قمريًّا بصورة أكبر. ليس هذا التناقض إلا ظاهريًّا. فعندما تكون الظروف المناخية ملائمة يكون خسوف القمر مرئيًّا لدى كل سكان نصف الكرة الأرضية الذين يكون القمر بالنسبة إليهم فوق الأفق، في هذا الوقت تكون الشمس غائبة بالضرورة بما أنه خلال أي خسوف قمري تكون الأرض على الخط الذي يوصل القمر بالشمس (شكل ٢-٢). إن الظل الذي يحدد الخسوف هو ظل الأرض التي يعد قطرها كبيرًا للغاية مقارنة بقطر القمر الصغير. وفي المقابل لكي يكون كسوف شمسي كليًّا مرئيًّا لديكم تعد الشروط أكثر تقييدًا. فلا يكفي فقط أن يكون في أثناء النهار، بل يجب أيضًا أن يغطي الظل أو شبه الظل منطقتكم. فلا يتعلق الأمر بنصف كرة كامل يشهد هذا المنظر، وإنما يكون المستفيد من المشهد بأكمله سكان مسار ضيق من الأرض مثلكم، فمن يعيشون داخل مسار أوسع قليلًا هم الذين يُرجَّح أن يرصدوا الكسوف الجزئيَّ، بينما ترى بقيةُ نصف الكرة المُضاءة شمسًا مشرقةً وكأن الكسوف لم يحدث. وفي هذه الظروف ليس من المرجح على الإطلاق أن يكون البابليُّون قد استطاعوا تحديد المناطق التي سيكون فيها الكسوف كليًّا أو جزئيًّا؛ فلا توجد أي دورة مماثلة لدورة ساروس تسمح بالتنبؤ بدورية كسوف الشمس في نقطة محددة على سطح القشرة الأرضية.

قد تكون هذه الحجج قوية للغاية إن لم تكن عامة جدًّا. وللحكم على صحة الأسطورة التي ذكرها هيرودوت يجب ألا نتساءل حول التنبؤ بكسوف الشمس في

العصور القديمة بصورة عامة، بل يجب أن نتساءل إذا كان طاليس قد تنبأ بالفعل بالكسوف الشمسي الذي أنهى وحده الحرب بين الليديين والميديين. هل يمكن لظرف خاص أن يسهل التنبؤ؟

هذا هو الحال، فحتى عهد قريب كان تحديد الكسوف الذي تنبأ به طاليس مشكوكًا فيه. فبما أننا لا نملك أي معلومات عن المسار الكلي لا تكفي المقارنة بين كسوف قديم والألواح للرد على التساؤلات. أما اليوم فلدينا فكرة محددة عن تباطؤ الدوران الأرضي ولم يعد الشك مسموحًا به. ففي «كتيب الكسوف»، نجد خريطة مناطق المسار الكلي التي تخص سلسلة من حالات الكسوف المماثلة لكسوف طاليس. لكن يمر المسار الكلي لكسوف عام ٦٠٣ قبل الميلاد بأقصى الطرف الشمالي للخليج العربي، بينما مر كسوف عام ٥٨٥ — الذي أصبح فيما بعد ساروس — بالأناضول، وهي المنطقة ذاتها التي دارت فيها الحرب بين الليديين والميديين. فقد حدث إذن كسوف طاليس في عام ٥٨٥. يمكن تصديق المعلومات التاريخية المذكورة في بداية هذا الفصل. ولا يُستبعد أيضًا أنه بمساعدة الحظ استطاع عالم أيوني من القرن السادس التنبؤ بكسوف عام ٥٨٥، بأن طبق على حالات الكسوف الشمسي قاعدة ساروس التي تفرض على الأقل فيما يتعلق بخسوف القمر أن يتكرر الخسوف ذاته بعد ثمانية عشر عامًا. وبالإضافة إلى ذلك يبقى هيرودوت غامضًا، واكتفى بقول: «توقع طاليس المليسي أن يقل ضوء النهار. فقد أعلن ذلك للأيونيين فيما يتعلق بالعام الذي حدث فيه الكسوف بالفعل.»[١٨]

لا يهم أن تكون هذه النادرة صحيحة أم لا. فإذا كان الأمر يتعلق بخرافة رمزية فهي تحتوي على الأقل على مبدأ أخلاقي: لا نقلل من قيمة كفاءة القدماء. فإذا كانت تقنياتهم الآلية بدائية، فإن قدرتهم على الاستنتاج لم تكن أقل من قدرتنا.

الفصل الثالث

ارقص مع القمر

(١) علم الفلك الميغاليثي

لم يرِد بعدُ مصطلحا علم الفلك الأثري وعلم الفلك الحفري في القواميس المستخدمة، لكن لن يتأخر ذلك؛ فنجد الآن علم المغناطيسية الأثري وعلم النبات الحفري. وينتمي علم الفلك الميغاليثي تحديدًا إلى علم الفلك الأثري. وسواء أكان هذا العلم نتاجًا خالصًا لخيالنا أم لم يكن، فله هذا المذاق الغامض الذي يميز الألغاز، بالإضافة إلى أنه يقترح أن المعارف التي توصل إليها أقدم أجدادنا تخطت تلك التي تنسبها لهم العادات. وبمجرد ذكر هذا العلم نحلم بثراء الحضارة التي اكتشفته. وفي النهاية، تعدُّ صور لاسكوه أكثر قدمًا؛ فهي تعود إلى العصر الحجري القديم. ونظرًا لغياب النصوص الكتابية سيظل علم الفلك الميغاليثي للأسف بين الأسطورة والعلم، فهو مجال يكون فيه تفسير الوقائع محلًّا للجدال، وربما لن يكتسب هذا العلم أبدًا وضعًا أفضل.

كان لدى الإنسان القديم إحساس عميق وديني بالجمال، وتشهد بذلك الرسوم المتعددة للحيوانات التي ورثناها عنه. فهل يجب أن نشك في أنه شَعَر بإحساس مماثل تجاه الظواهر السماوية؟ فيمكن لشدة العواصف أو هبوط النيازك أن ترهبه، لكن لا يمكن لحركة الكواكب البطيئة وأطوار القمر إلا أن تبهره. وهو يعي أيضًا حدوث الكسوف المفاجئ والمهدد. فإن الظهور المتتالي لحالات الكسوف يخضع لقوانين أكثر تعقيدًا من تلك التي تتحكم في عودة الفصول أو في أطوار القمر (الفصل الثاني). لكن ما الذي يمكن أن يكون الإنسان القديم قد عرفه عن المسار السماوي للقمر والشمس؟

في عام ١٩٦٣ احتل نبأٌ ما الصدارة في أولويات وسائل الإعلام الأنجلوساكسونية: فك عالم الفلك جيرالد هوكينز رموز الأثر الميغاليثي العجيب ستونهنج، وهو إعلان لم يُثِرْ حماس علماء الآثار. وفيما بعد ذهب هوكينز إلى أبعد من ذلك، فاقترح أن المعماريين الذين صمموا أثر ستونهنج كانوا قادرين على التنبؤ بالكسوف. وقد استأنف الفيزيائي الفلكي هويل تأكيدات هوكينز فيما بعد.

يمكن الحكم على تنبؤ طاليس (الفصل الثاني) بناءً على النصوص التي وصلتنا. أما مصممو ستونهنج، فقد كانوا يعيشون في عصر تنتمي أقدم الوثائق التي نمتلكها عنه إلى مناطق بعيدة عن بريطانيا العظمى، مثل بلاد الرافدَيْن ومصر بصورة خاصةٍ.[١] ولإثبات افتراضات هوكينز وهويل لا نملك سوى شواهد أثرية جمعها محترفو هذا العلم الذين يختلف تأهيلهم عن تأهيل علماء الفلك، لدرجة أنهم لا يستطيعون سوى أن يغضبوا إذا رأوا هاويين يتسللان إلى اكتشافهم. لم يكن هناك مفر من الجدل: دافعت الصحافة أمام الرأي العام عن «قضية ستونهنج»، فقارنت حجج الدفاع المكون من ثلاثة علماء فلك بحجج مجموعة علماء الآثار التقليديين الذين تمثلهم الوزارة العامة.[٢] لكن لم يكن هناك أي أثر رقمي أو أي تحليل خطي من شأنه مساعدة المحكمة.

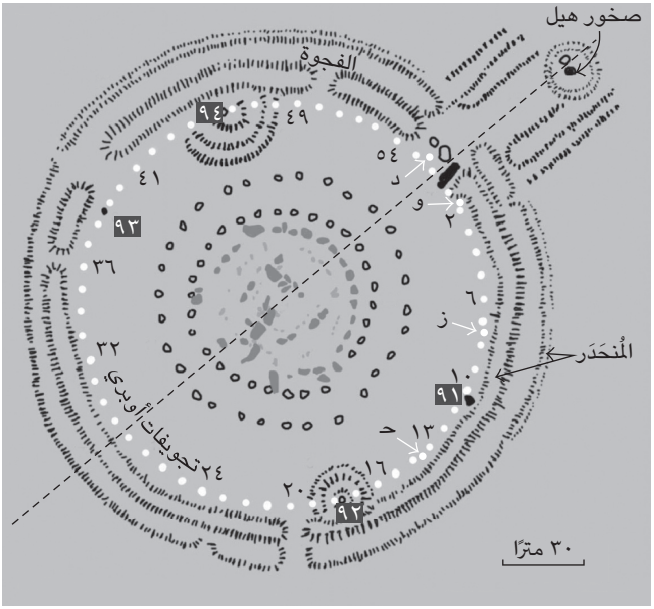
(٢) هل تعد ستونهنج مرصدًا فلكيًّا؟

ليس كهنة بلاد الغال السلتيون هم من شيدوا أثر ستونهنج الميغاليثي الشهير للغاية ببريطانيا العظمى.

يمتد العصر الحجري الحديث في أوروبا تقريبًا من عام ٦٠٠٠ إلى عام ٢٠٠٠ قبل الميلاد. ففي هذا العصر أصبحت بعض الشعوب تستقر في أماكنها؛ فترعى الماشية وخاصةً الخرفان، وتعيش في قرًى صغيرة فتقطع أدواتها من العظم أو الصوان وتصنع أوعيتها. ومنذ بداية الألفية الثالثة بدأت شعوب العصر الحجري الحديث في تشييد المباني الضخمة وأشهرها صرح ستونهنج.

تقع ستونهنج في جنوب غرب بريطانيا العظمى في سهل ساليسبري (شكل ٣-١أ)، وتصنفه هيئته الدائرية ضمن الآثار الميغاليثية، فهو أثر مركب شُيد على فترات متفرقة، وتهمنا فقط الفترة الأولى؛ حيث تعود إلى ٣٠٠٠ عام تقريبًا قبل الميلاد. وخلال هذه الفترة كانت ستونهنج مكونة من دائرتين مركزيتين تمثلان حاليًّا محيط الأثر. وتتكون الدائرة الخارجية من المُنحَدَر والفجوة. أما الدائرة الثانية — وهي بداخل الأولى

(أ)



(ب)

شكل ٣-١: ستونهنج، الأثر (أ) والخريطة (ب). إن تجويفات أوبري الـ ٥٦، التي سميت على اسم عالم الآثار الذي اكتشفها، ستلعب دورًا محوريًّا عندما يتم تفسير الأثر.

مباشرةً — فهي تتكون من ٥٦ تجويفًا، يبلغ قطر كل منها مترًا، وتُسمى تجويفات أوبري (شكل ٣-١ب). وشُيد مبنًى خشبي وسط الصرح، ومن المرجح أن تكون تجويفات أوبري قد صُممت لحمل الأعمدة الخشبية. وبعدها بقرون عديدة استُبدلت بالبناء الخشبي المركزي الأحجارُ الضخمة التي نعرفها، والتي تجعل من ستونهنج موقعًا مدرجًا في تراث البشرية على قوائم اليونسكو.

اهتم الإنجليزي ويليام ستوكلاي (١٦٨٧–١٧٦٥) منذ القرن الثامن عشر بأثر ستونهنج. فلاحظ هذا العلَّامة الذي شغف بالتاريخ المقدس والقبالة بصورة خاصة الاتجاهَ الخاص للمبنى الذي يمثله في الشكل ٣-١ب الخط المستقيم الخارج من وسط الأثر والمار بصخور هيل.[٣] وما يثير الدهشة هو أن هذا الاتجاه هو اتجاه شروق الشمس في وقت الانقلاب الصيفي يوم ٢١ أو ٢٢ يونيو. وتفتح ملاحظة ستوكلاي المجال أمام دراسات أخرى ترى في ستونهنج مرصدًا من العصر الحجري الحديث أو على الأقل صرحًا له مجد الأجرام السماوية. ويمكن لستوكلاي أن يتفاخر بأنه أول من أدخل علم الفلك ضمن الميغاليث.

ليست ستونهنج الأثر الميغاليثي الوحيد ذا النزعة الفلكية. ويبدو أن آثارًا وصفوفًا أخرى كانت قد وُجهت في اتجاهات ذات مغزًى لعلماء الفلك. وفي أغلب الأحوال تكون الشمس هي مركز الاهتمام في شروقها وغروبها في وقت الانقلاب. وفي حالة عدم تحقق ذلك يقوم القمر، أو أي كوكب أو أي نجم مضيء بصورة كبيرة، بهذا الأمر. إلا أنه ليس من السهل أن نعطي دليلًا على توجيه مبنًى ما عن عمد في اتجاه مميز. فنظرًا لغياب الوسائل التقنية لدى المعماريين في الماضي لم يكن اتجاه الميغاليث مضبوطًا. فالانحدار الحالي لصخور هيل هو الضريبة التي يجب أن يدفعها علم الآثار للوقت الذي يمر والإتلاف الذي يصاحبه. وهنا يطرح السؤال نفسه وهو كيفية التفرقة بين اصطفاف تقريبي لكن متعَمد، ومصادفة عادية. ويصعب الإجابة عن هذا السؤال؛ نظرًا لتعدد الاتجاهات الملحوظة. وتوجد صعوبة أخرى: فعلى مدار القرون، يتحرك اتجاه «القطب السماوي». واليوم حيث نعرف آليات التقلبات السماوية، يتعين علينا أن نعرف التاريخ المحدد لتشييد الصرح لكي نأخذه بعين الاعتبار. وأخيرًا يجب ألا نغفل أثر «الانكسار» الذي يعدل اتجاه الأشعة الضوئية خلال مرورها في الغلاف الجوي. وتضللنا هذه الظاهرة حول المكان السماوي للنجم الذي نراقبه.[٤]

(٣) ستونهنج ونبتون: مصير واحد

قام علماء آثار آخرون بعد ستوكلاي، سواء أكانوا هواة أم لا، بالبحث في الثغرة التي فتحها. ويسمى أحدهم سي إي نيوهام، وتذكرنا مغامراته بمغامرات عالم الرياضيات والفلك البريطاني جون آدامز.

ربما يتعين على الباحثين الشباب التفكير مليًّا في القصة المثالية لجون كوتش آدامز، الذي كان أول من أقنع نفسه بوجود جرم سماوي مجهول يدور فيما وراء كوكب أورانوس، فقد حدد إحداثياته ولكنه اصطدم في البداية بشك زملائه من علماء الفلك، لدرجة أن اكتشاف كوكب نبتون نُسب في البداية فقط لأوربان لوفرنييه. واليوم لم يعد أحد يشكك بصورة كبيرة في دور آدامز في تحديد كوكب نبتون. لكن قصة اكتشاف نبتون توضح سلسلة غير معقولة من العقبات الساخرة التي اعترضت طريق آدامز. فقد تحالف شبابه مع قلة خبرته والأفكار المسبقة لزملائه الأكبر منه سنًّا وسوء الحظ؛ كل ذلك لحرمانه من اعتراف نظرائه بدوره. وتتضمن قصة ستونهنج الأثرية حدثًا مماثلًا، وتنطبق الحكاية التالية على ما حدث أيضًا لبراون.

يعد سي إي نيوهام، الذي يلعب دور آدامز ولكن في قصة ستونهنج، بريطانيًّا مثله ومهندسًا لكنه أيضًا عالم فلك هاوٍ. وسيكون غياب الاحترافية سببًا في المتاعب التي تنتظره عندما يزور المبنى الشهير بصحبة زوجته عام ١٩٥٧. في هذا العصر كانت الدراسات بشأن النزعة الفلكية للأثر تنتشر سريعًا، ولكن لم تُتخذ أي خطوة حاسمة في هذا الاتجاه. أخذ نيوهام يتخيل زاوية من شأنها أن تقوده إلى اكتشاف مؤشرات جديدة. وسيقلب حدثانِ مجرى حياته ويدفعانه إلى تكريس حياته لستونهنج: وفاة زوجته، ورحيله إلى العزلة بعد ستة وأربعين عامًا مخصصة لصناعة الغاز الطبيعي. وإذا كان شباب آدامز قد قلل من قَدره لدى من هم أكبر منه سنًّا، فإن سن نيوهام الكبير سيسبب له متاعب مماثلة.

لا يشك المهندس نيوهام في شيء، فهو يعتقد أن بضعة أيام تكفي للتحقق من مجموعة صفوف ستونهنج، ولكن كان عليه أن يتخلى عن أوهامه سريعًا، فخرائط ستونهنج التي يمتلكها ليست واضحة، والأثر ذاته يعد أكثر تعقيدًا مما تخيله عليه. فبعد أسبوعين عاد إلى منزله متلعثمًا ولكنه لم ييأس. فعلى الرغم من إقامته في يوركشاير على مسافة بعيدة من الأثر الميغاليثي، كان يعود باستمرار إلى ستونهنج مزودًا دائمًا بمزواته. وفي يوم ما تساءل إذا ما كان الخط المستقيم، الذي يمر بنقطة ٩٢ ونقطة

(ز) في الشكل ٣-١ب، يمثل اتجاهًا ملحوظًا، وهو نقطة أفق ستونهنج التي يشرق فيها القمر في الشتاء إلى الشمال بصورة أكبر. إذا كانت فكرة نيوهام صحيحة فتقع هذه النقطة في الشمال الشرقي في اتجاهٍ بزاوية ٤٠° مع خط زوال ستونهنج (في هذه الحالة يتحدث علماء الفلك عن «زاوية السمت» بدلًا من اتجاه). ويتضح أن القمر خلال شروقه الشتائي لا يبلغ أقصى زاوية السمت إلا مرة كل ثمانية عشر عامًا. عندما تسمح الأرصاد الجوية البريطانية بأن نتحقق من ذلك …

لم يكن لدى نيوهام المتقاعدِ الوقتُ لانتظار تأكيد بصري. فلكونه عالمَ فلك هاويًا لم يكن يثق كثيرًا في حساباته، لدرجة أنه كتب رسالة إلى أحد أصدقائه، وهو عالم فلك محترف، وطلب منه تأكيدًا لزاوية السمت التي يبحث عنها. ولكن للأسف لم تترك له الإجابة أي بصيص من الأمل؛ تقدر القيمة الحقيقية لزاوية السمت ٤٥° ٠′. استسلم نيوهام حتى ذلك اليوم من عام ١٩٦٢ حين أرسل إليه صديق آخر، وهو عالم فلك هاوٍ هو الآخر، زاوية سمت العديد من نقاط الأفق التي قد تثير اهتمامه. وتأتي ضمن هذه القائمة زاوية السمت الملائمة لأقصى شروق القمر في الشتاء، وكانت قيمته بالفعل ٤٠° ٥′. فكان زميل نيوهام الأول قد أخطأ؛ فعند كتابته لنتائج حساباته بدَّل بين الـ ٠ والـ ٥!

أعلن نيوهام على الفور نتائجه لعالَمي فلك من شأنهما أن يأخذا فكرته على محمل الجد. وشجعه أحدهما، وهو آر جي سي آتكينسون وهو خبير مشهور في موقع ستونهنج، على نشر اقتراحه في عدد من مجلة أنتيكيتي. فبعث نيوهام برسالة صغيرة إلى ناشر هذه المجلة المتخصصة في علم الآثار، طالبًا منه السماح بنشر مقالة كاملة. وبعد شهرين من الانتظار تلقى نيوهام رفضًا. وفسر الناشر رفضه بأنه ليس قادرًا على فهم نص نيوهام لأنه ليس عالم فلك. وأضاف أن مجلة أنتيكيتي ليست على أي حال مكانًا لنشر هذا النوع من الأبحاث. ونجهل إذا كان الناشر قد بعث بالرسالة إلى خبير يستطيع الحكم عليها، وهو ما يعد في الأساس جزءًا من مهامِّ عمله. ومع ذلك يصعب في هذه الحالة أن نلقي باللوم عليه. فإلى جانب الأعمال التي تتباين درجة جودتها والتي تنتمي دون جدال إلى مجال اهتمام المجلة، يتلقى كل ناشر باستمرار مقالات غريبة كتبها هواة يفتقدون الإلهام. ولكن بصورة عامة يكفي إلقاء نظرة للتمييز بين هذين النوعين من المراسلات. وفي حالة الشك يتعين حقًّا على الناشر اللجوء لرأي خبير، وهو قد يخطئ أحيانًا في اختياره.

كان نيوهام يعتقد أن وضعه الأكاديمي كان سببًا في رفض مقالته. وفي المقابل رُفض عمل براون؛ لأنه نابع من عالم فلك. فقد عانى علماء الآثار بصورة كبيرة من

هذيان نورمان لوكير، وهو أحد علماء الفلك في القرن التاسع عشر، وقد لوث صورة علماء الفلك لدى علماء الآثار لفترة طويلة؛ لأنه كان يُقحم كهنة بلاد الغال كثيرًا في دراساته. ولم يكن السلتيون وكهنتهم مقيمين في بريطانيا العظمى قبل العصر الحديدي الثاني؛ أي في القرن الثالث قبل الميلاد، حيث تم الانتهاء من ستونهنج منذ أكثر من ألف عام.

في الوقت الذي رُفض فيه نشر مقالته اكتشف نيوهام اصطفافات أخرى في ستونهنج تخص الشمس والقمر. كان يناقش عادةً أفكاره مع أصدقائه من علماء الفلك، وكان أحدهم المراسل الثقافي ليوركشاير بوست، فأخذ أفكار نيوهام على محمل الجد وناقشها في مقال نُشر في ١٨ مارس ١٩٦٣ بعنوان لغز التجويف جي. ويجدر الذكر بأن سبب هذا التجويف لم يكن واضحًا لعلماء الآثار. فهل كان نقطة خاصة شيدها معماريو ستونهنج عن قصد، أم مجرد حادث أرضي؟ وإذا كان نيوهام محقًّا، يجب أن يكون تجويف جي علامة مهمة على المرصد الحجري الحديث، ويجب أيضًا أن يكون الأثر بأكمله شاهدًا على تقدم حضارة في عصرِ ما قبل التاريخ.

لم يكن لمقال يوركشاير أي صدًى. وبسبب خيبة الأمل الرهيبة التي شعر بها نيوهام، قرر طبع اكتشافاته على حسابه، وهذا ما يجب ألا يفعله المؤلف إذا أراد أن يقرأه المتخصصون، وإذا حرص أيضًا على أن يكتسب مصداقية. فكتب نشرة تحتوي على أهم نتائجه وعثر على ناشر أعلن صدور الكتاب في يوليو ١٩٦٣. وبعد ثلاثة أيام كانت القشة التي قصمت ظهر البعير؛ إذ احترقت المطبعة المسئولة عن طبع مخطوط نيوهام، وهُدمت بالكامل. وبعد ثلاثة أشهر عندما عثر الناشر على مقر جديد، تلقى نيوهام أول مسودة لمقاله. وبعد ثلاثة أيام تجاهَله مقال لهوكينز في دورية نيتشر.[٥]

(٤) هوكينز يفك رموز ستونهنج

لم يواجه عالم الفلك الأمريكي من أصل بريطاني جيرالد ستانلي هوكينز (١٩٢٨–٢٠٠٣) الصعوباتِ ذاتَها التي واجهها نيوهام، فهو ذو تأهيل جامعي ويقوم بتدريس علم الفلك في جامعة بوسطن. وعندما نشر في دورية نيتشر مقالًا بعنوان «فك رموز ستونهنج»، كان ذلك بمنزلة الانفجار الذي أحدث دويًّا هائلًا في وسائل الإعلام. ففي يوم صدوره لم تتحدث الصحافة والراديو والتلفاز البريطاني إلا عن هذا الاكتشاف. وكالعادة في مثل هذه الحالة لم يذكر أحد عمل نيوهام.

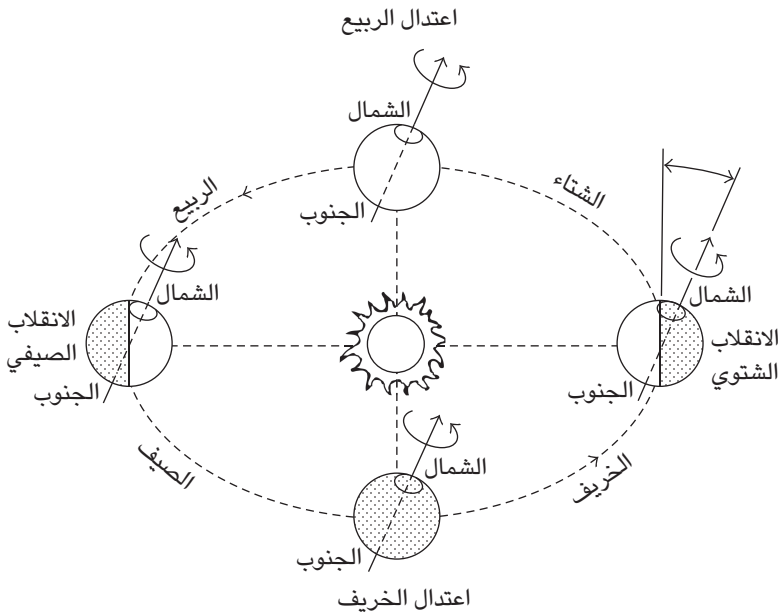
علامَ يحتوي إذن مقالٌ أثار مثل هذه الضجة الإعلامية؟ وفقًا لكل الاحتمالات يجهل هوكينز كل شيء عن عمل نيوهام، وتسير الأمور بالنسبة إليه وكأنه يتعين عليه البدء من نقطة الصفر، أو تحديدًا من النقطة التي توقَّف عندها ستوكلاي، الذي اكتفى بذكر أن المبنى يتجه ناحية النقطة التي تشرق عندها الشمس يوم الانقلاب الصيفي. وفي أثناء زيارة للأثر الميغاليثي قام بها بصحبة زوجته، قلَّد هوكينز نيوهام وتساءل السؤال ذاته: هل يمكن لكل نقطتين من بعض النقاط الملحوظة أن تحدد اتجاهات ثانوية ترتبط بشكل أو بآخر بحركة النجوم؟ ويبقى أن نتخيل أيٌّ من الاتجاهات قد يثير اهتمام مشيِّدي ستونهنج.

وفي سياق مختلف نوعًا ما، يقص براون حكاية صغيرة مشكوكًا في صحتها تبرز الحيرة التي كان فيها هوكينز. اكتشف مزارع أمريكي أن أحد أحصنته هرب من السياج، فأخذ يرعى ويمضغ قليلًا من العشب. وعندما تعجَّب أحد أصدقائه من رؤيته على هذه الهيئة، شرح له أنه يأمل بهذه الطريقة معرفة كيف سيتصرف وأين سيذهب لو كان حصانًا.

قرر هوكينز أن الاتجاهات المفضلة لمشيدي ستونهنج قد تكون مرتبطة بشروق الشمس والقمر والكواكب والنجوم الأكثر وضوحًا وغروبها أيضًا. وبما أن هذه الاتجاهات تتغير باستمرار طوال العام، يجب اختيار فترات محددة من العام. وفيما يتعلق بالشمس سيقوم بذلك الأمر الانقلابان الصيفي والشتوي (شكل ٣-٢). لكن يختلف الوضع فيما يخص القمر والأجرام السماوية الأخرى. وهنا يجب على هوكينز أن يتحلى بالتخيل، فالميزة التي تجعله مختلفًا عن نيوهام ليست هينة؛ فهو يمتلك وسائل تقنيَّة كان سلفه يجهلها. وعلى الرغم من أن تكنولوجيا المعلومات كانت في مهدها في عام ١٩٦٣، كان هوكينز يستخدم حاسبًا آليًّا. وبانتهاء هذا العمل التحضيري لم يتبقَّ له سوى البحث عن اتجاهات ثانوية محتملة من شأنها السماح بتأكيد النزعة الفلكية لستونهنج.

كان هوكينز يضع على حاسبه إحداثيات ١٢٠ زوجًا من نقاط المبنى الملحوظة. ويحدد كلُّ زوج من النقاط اتجاهين متناقضين على سطح أفقي. وتكون مهمة الحاسب الآلي تحديد زاوية السمت لكلٍّ منهما. وإذا كانت بعض الاتجاهات متوازية فيما بينها، فهي لديها فرص كبيرة أن تكون ذات مغزًى. وهنا يتعين مقارنتها بالقائمة غير الشاملة للاتجاهات المفضلة لعلم الفلك.

وهذا ما حدث بالفعل؛ فكانت العديد من الخطوط المستقيمة التي تمر بأزواج نقاط الموقع متوازية فيما بينها. وفي هذه الحالة هي تشير إلى زوايا سمت ذات مغزًى لعالِم

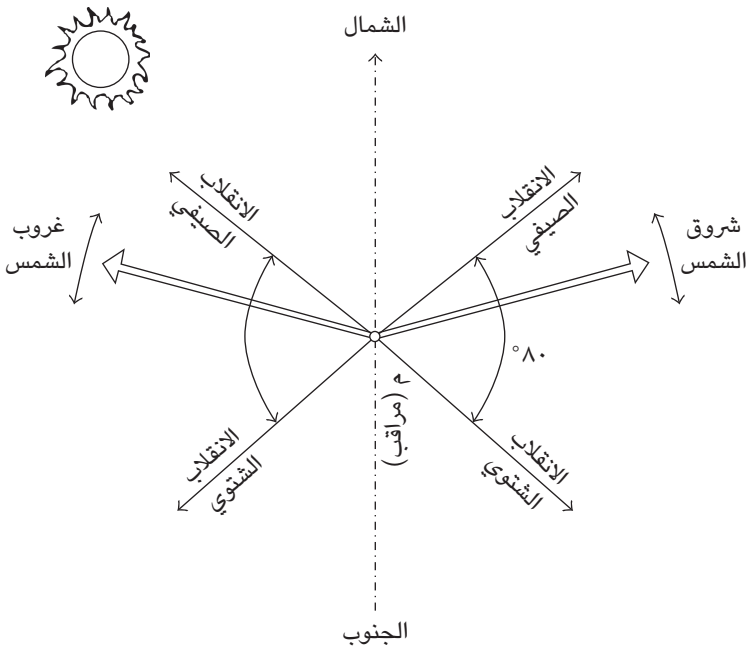


شكل ٣-٢: يميل محور دوران الأرض بدرجة ٢٣° ٢٧′ مقارنة بالخط العمودي على سطح دائرة البروج، السطح المشترك للشمس والأرض. ويفسر هذا الظرف ظاهرة الفصول. فبالنسبة لمراقب يعيش في نصف الكرة الشمالي تكُون الفترة بين اعتدال الربيع واعتدال الخريف هي فترة النهار الطويل والليل القصير.

الفلك. ويتفق أربعة منها مع شروق الشمس وغروبها في وقت الانقلابين، وهما اليومان اللذان يوفران للشمس الظروف الفلكية القصوى، بينما يرتبط الستة الأخرى بالمسار القمري. فكيف نفهم هذه الوفرة من الاتجاهات المخصصة للقمر؟

(٥) ارقص مع القمر

سواء كانت الشمس هي التي تدور حول الأرض أو كان العكس هو الصحيح، فذلك لا يهم فيما يلي. ولكن ما يهم هو أن تكون دائرة البروج، وهي المسار الظاهري للشمس، مائلةً مقارنة بخط الاستواء السماوي. ففي الصيف يكون المسار السماوي للشمس أكثر ارتفاعًا مما هو عليه في الشتاء (شكل ٣-٢). وفي هذه الظروف لا عجب أن يكون شروق



شكل ٣-٣: يلاحظ المراقب م أن زاوية سمت النقطة التي تشرق عندها الشمس في الانقلاب الصيفي تكون في الاتجاه المضاد لزاوية سمت النقطة التي تغرب عندها في الانقلاب الشتوي؛ ويمر الخط المستقيم الذي يربطهما بالنقطة م. وينطبق الأمر ذاته على الغروب الصيفي والشروق الشتوي للشمس في وقت الانقلابَين. ويحتل الخطان المستقيمان الملائمان مواقع متماثلة مقارنة مع اتجاه الشمال-الجنوب. ويتباين اتجاه الشروق عند خط عرض ستونهنج بدرجة ٨٠° بين المواقع الشمالية والجنوبية القصوى.

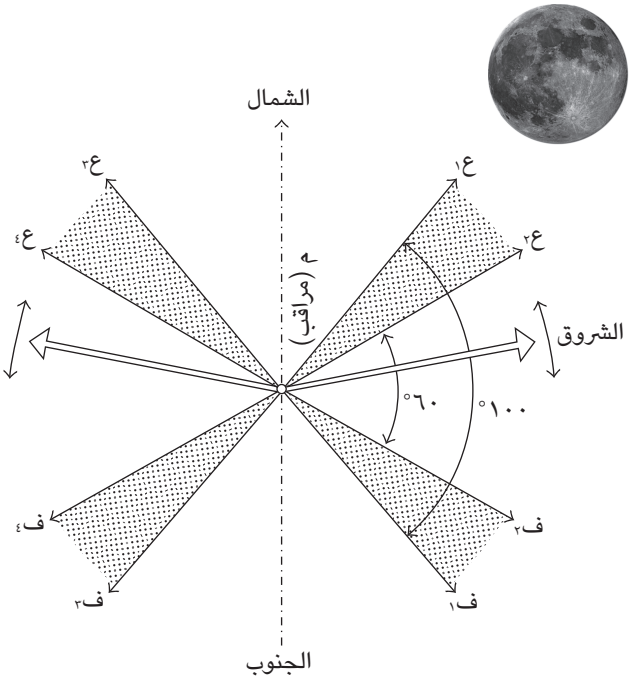
الشمس في الشمال الشرقي في الصيف، وفي الجنوب الشرقي في الشتاء، وأن يكون غروبها الصيفي والشتوي في الشمال الغربي والجنوب الغربي بالترتيب. وفي وقت الانقلابَين تأخذ زوايا السمت المطابقة قيمًا قصوى. وتكون النقاط الأربع المطابقة مرتبة بصورة خاصة، فتتصل كل نقطتين إحداهما بالأخرى عن طريق خطوط مستقيمة تمر بالمراقب ومتماثلة مع اتجاه الشمال-الجنوب. فعند خط عرض ستونهنج يوجد بين هذه الخطوط زاوية ٨٠° (شكل ٣-٣).

تكون الأمور مشابهة خلال دوران القمر حول الأرض، فيمكننا إيضاح خطين مستقيمين يربطان أربع نقاط مطابقة لزوايا السمت القصوى التي بلغها شروق القمر وغروبه؛ حيث يربطان كلَّ نقطتين إحداهما بالأخرى. لكن تعد الأمور أكثر تعقيدًا مما هي عليه مع الشمس؛ لأن هذه الخطوط المستقيمة تغير اتجاهها بدلًا من أن تكون ثابتة من دوران لآخر. ومع البقاء متماثلة مع اتجاه الشمال-الجنوب تتباين بانتظام بين أقصى اتجاهين؛ حيث تزيد الزاوية التي تفصلهما من ٦٠° إلى ١٠٠°. وإذا لاحظنا في يوم ما أن القمر يشرق عند أقصى نقطة في الشمال من مساره (نقطة ع١ من شكل ٣-٤) يتعين الانتظار ١٨,٦١ عامًا لكي يعود عند النقطة ذاتها. لماذا يكون القمر غريبًا هكذا؟

يذكر الشكل ٣-٢ أن تمايل المدار الشمسي — دائرة البروج — هو ما يفسر تباين ارتفاع الشمس من فصل إلى آخر. لكن عندما يشرق القمر في الاتجاه ع١، يرتفع مساره السماوي عن مسار الشمس بما أن القمر يغرب عند نقطة ف١. وفي هذا الوقت يتجاوز تمايل المدار القمري تمايل دائرة البروج بـ ٥° ٩′ مقارنة بسطح الأرض الاستوائي. ولكن خلافًا لدائرة البروج لا يظل المدار القمري ثابتًا فهو يقوم بحركة «البدارية». ولفهمها يجب أن نشير إلى لعبة تفتن الكبار والصغار: وهي النحلة (شكل ٣-٥أ). فبوضعها على مسند أفقي تبدو النحلة في وضع الدوران أنها تتحدى بديهتنا، فبدلًا من أن تنقلب يرسم مدارها شكلًا مخروطيًّا حول نقطة ملامستها للأرض. وهذا ما يفعله بالضبط المحور العمودي على المدار القمري. فيمثل القمر نوعًا من لعبة النحلة في أثناء دورانه حول الأرض. ولو لم تكن الشمس توجد في الأساس، لكان المسار القمري سيظل في المستوى نفسه. لكن الشمس موجودة وبقوة، فوجودها هو ما يدفع القمر إلى رقص متواصل. فيرسم المدار شكلًا مخروطيًّا في ١٨,٦١ عامًا. ويرى المراقب الأرضي أن سطح المسار القمري يكون أحيانًا أكثر تمايلًا وأحيانًا أخرى أقل تمايلًا من سطح المدار الشمسي (شكل ٣-٥ب).

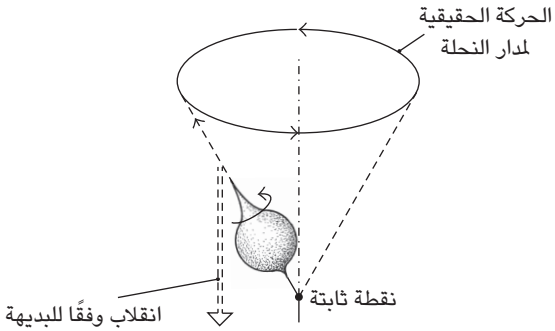
لدوران القمر حول نفسه أثر خاص على عُقَد المدار القمري؛ فهو يجرها في حركته، لدرجة أنها تتحرك في الاتجاه المعاكس للقمر والشمس (الفصل الثاني)؛ ولذلك يحدث ارتداد العُقَد. وبما أن هذه الحركة ترتبط بدوران القمر حول نفسه فتحتاج العقد أيضًا إلى ١٨,٦١ عامًا لكي تقوم بدورة كاملة بطول المدار القمري.[٦]

وينص افتراض هوكينز على أن «بعض الاتجاهات المميزة لصرح ستونهنج (شكل ٣-٦) تتماثل مع الاتجاهات الأربعة المرتبطة بشروق الشمس وغروبها في فترتي الانقلاب

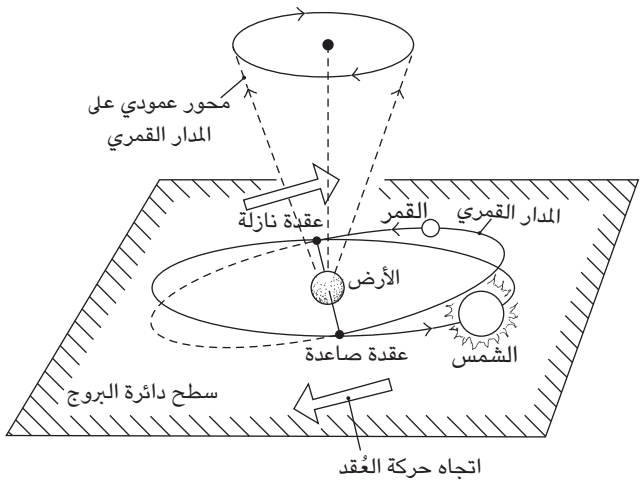


شكل ٣-٤: يقلد القمر الشمس خلال دورانه لكن الموقف يتعقد. ففي شهرٍ معين يمكن أن يمر اتجاه شروق القمر من نقطة (ع١) إلى نقطة (ف١) متمايلًا بذلك بدرجة ١٠٠° ثم يعود إلى نقطة قريبة من (ع١): تم دوران كامل. وفي الشهر التالي يحدث الشيء ذاته من جديد بالترتيب نفسه، إلا أن اتساع التمايل يقل. وبمجرد انخفاضه إلى ٦٠° يتمايل إذن اتجاه الشروق بين (ع٢) و(ف٢)، ثم يعاود اتساعُ التمايل تزايدَه من شهر إلى آخر حتى يعود في النهاية إلى ١٠٠°. ويخضع اتجاه غروب القمر للقواعد ذاتها. وتتطابق القيم الرقمية المختارة مع خط عرض ستونهنج (٥١°).

(شكل ٣-٣) والمرتبطة أيضًا بالاتجاهات الستة القصوى ع١، ع٢، ع٤، ف١، ف٢، ف٤، (شكل ٣-٤).» ولا يبقى سوى اتجاهي ع٣ وف٣، لكن لا يؤثر غيابهما كثيرًا كلما كان هذان الاتجاهان في الجهة المضادة مباشرةً لاتجاهي ع١ وف١

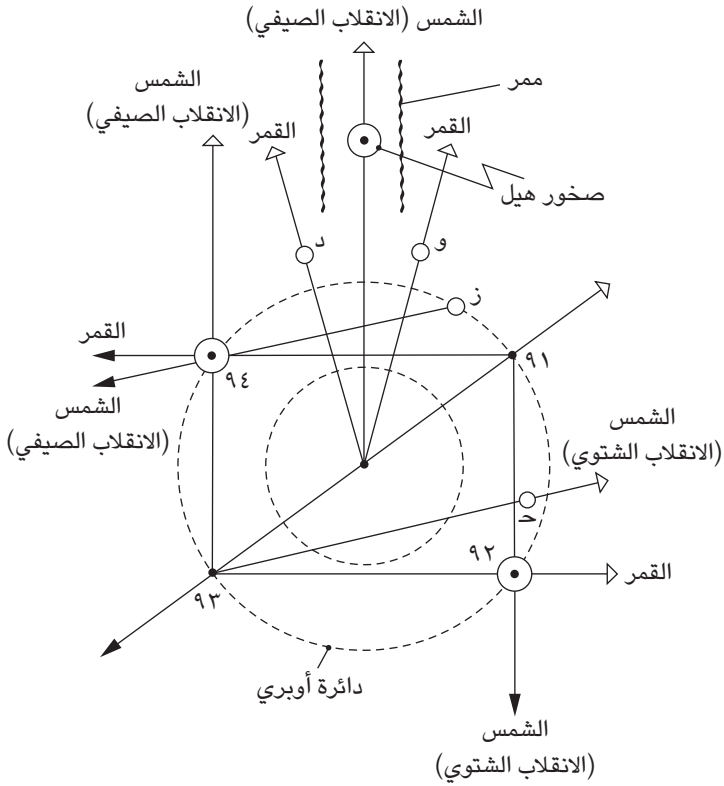


(أ)



(ب)

شكل ٣-٥: تخفي النحلة البسيطة العديد من المفاجآت. فهي لا تنقلب بشرط أن تدور بسرعة كبيرة حول نفسها لكنها ترسم استدارة حول محور رأسي (أ). يقوم مدار القمر بالشيء ذاته؛ فبفعل الشمس يتصرف كنحلة. ويرسم المحور العمودي شكلًا مخروطيًّا حول محور آخر وهو المحور العمودي على سطح دائرة البروج (ب).



△ الشروق

▲ الغروب

د، و، ز، حـ
٩١، ٩٢، ٩٣، ٩٤ } نقاط ملحوظة ذُكرت في الرسم ٣-١(ب)

شكل ٣-٦: الاتجاهات المميزة لموقع ستونهنج وفقًا لهوكينز. توضح أنصاف الخطوط المستقيمة المجردة من الأسهم في أطرافها اتجاهات مميزة على الأفق، وتخص أربعةٌ منها الشمس. ويشير أول اتجاهين، وهما في اتجاه معاكس أحدهما للآخر، إلى اتجاه شروق الشمس في الانقلاب الصيفي (٢١ أو ٢٢ يونيو) واتجاه غروبها في الانقلاب الشتوي (٢١ أو ٢٢ ديسمبر). ويشير الاتجاهان الآخران إلى غروب الشمس في الانقلاب الصيفي وشروقها في الانقلاب الشتوي. ولكن يعد المسار السماوي للقمر أكثر تعقيدًا. ففي ستونهنج نسجل ستة اتجاهات في المجمل مرتبطة بالقمر، وتشير أربعة منها إلى شروقه واثنان فقط إلى غروبه.

(٦) القمر لا يحب أن ننظر إليه

إن ارتداد العُقَد ليس هو الإبداعَ الوحيد الذي يقوم به القمر.

ظلت حركة القمر تحديًا لعلماء الفلك حتى القرن التاسع عشر على الأقل. فقد اعترف نيوتن في آخر حياته أنه: «لقي معاناة كبيرة في أثناء أبحاثه عن القمر.»[٧] أما تيخو براهي، أحد النبلاء الدنماركيين المولعين بعلم الفلك (الفصل السادس)، فسيتلقى مفاجأة سيئة عندما يريد مراقبة حركة القمر. ففي عصره كان تحديد حركة القمر وتاريخ الخسوف يشهد رواجًا كبيرًا، لكن حركة القمر معقدة للغاية، لدرجة أننا لا نجده قط في المكان الذي تنبأت به التقويمات الفلكية، لا سيما أن كل عالِم فلك منجم يتبع طريقته الخاصة في الحساب.

ففي جزيرة هفين في مقاطعة ساند، حيث أقام تيخو مرصده، يتسبب كل خسوف في حشد كل القوى البشرية. فعندما يحدث خسوف لا مجال للنوم أو العطلة، ومثال ذلك خسوف القمر في ٣٠ ديسمبر ١٥٩٠. وكلما زاد الحذر كان أفضل، فقبل حدوث الخسوف بيومين قام تيخو بتحديد أخير لموقع القمر، وحرص على تحديث التقويمات الفلكية التي يمتلكها، وتوصل في النهاية إلى أن الخسوف لن يبدأ قبل الساعة السادسة وأربع وعشرين دقيقة مساءً. وفي الواقع بدأ القمر يظلم عندما كان تيخو ورفاقه ما زالوا مجتمعين. وعندما أصبحوا قادرين على مراقبته كانت الظاهرة على وشك الانتهاء. وكف تيخو بعدها لفترة معينة عن مراقبة سير القمر.

سواء أكانت الحكاية مشكوكًا في صحتها أم لا، فهي تعكس تعقُّد سير القمر الذي عاد تيخو إلى مراقبته في النهاية، فلاحظ بصورة خاصة تغيرات في سرعة القمر على مداره.

في الواقع لا يكتفي نجم الليل بهذه الحماقات. فبما أنه خاضع لحركتي الأرض والشمس، فتمثل حركته كل الحالات المتخيلة من عدم الانتظام. فهو مثل أرلوكان خادم سيدين. يعد وضع القمر توضيحًا «لمشكلةٍ ذات ثلاثة أجسام» ستصبح شهيرة بدايةً من القرن السابع عشر. فيعد الثلاثي المكون من الشمس والأرض والقمر حالة خاصَّةً.[٨] فبالمقارنة مع شريكيه يأتي القمر صغيرًا في النهاية؛ فكتلته أضعف بكثير منهما. أما الشمس فلا تشعر بصورة كبيرة بحركتي الأرض وقمرها، فالحصى الدقيقة حتى وإن أُلقيت بسرعة كبيرة على شاحنة فهي لا تغير من مسارها. ومن ناحيتها، تخضع الأرض لأوامر الشمس بطريقة عمياء. ولا يزعجها كثيرًا وجود القمر بجانبها أكثر من إزعاج

دبور يتطاير حول راكب دراجة. يعد وضع القمر أدق من ذلك، فهو قريب جدًّا من الأرض التي تملي عليه معظم تصرفاته. ومن جانبها تعد الشمس أكثر بعدًا ولكن أضخم كثيرًا من الأرض، فالتأثير الذي تمارسه على القمر لا يكفي لانتزاعه من سيطرة الأرض عليه، ولكنه يحوِّل حركة بسيطة إلى مسار معقد. ويمكن لتيخو أن يشهد بذلك. ولن يمكننا التحكم في ذلك قبل أن تصبح تقنياتنا الرياضية منظمة بصورة كافية.

(٧) هل يجب تصديق فك الرموز؟

قبل أن يُعترف عالميًّا بفك رموز كتابة جديدة يجب أن يمر بتجارب عديدة، وهذا ما حدث مع الرموز المسمارية. فإذا كان هناك أي شك في هذا الصدد كان سيزول سريعًا كلما تقدمت قراءة ألواح الطمي والنقوش الأثرية. لم يحدث أي شيء من هذا القبيل عندما أعلن هوكينز عن نجاحه في فك رموز ستونهنج. فنظرًا لغياب أي وثائق كتابية لن نعرف أبدًا إذا كان الصرح مخصصًا كليًّا أو جزئيًّا لمراقبة الشمس والقمر. ويعترض الكثيرون على هذا التفسير ولا تفتقد حججهم إلى الصواب.

يتعلق الانتقاد الأول للمعارضين باختيار فترات الانقلاب بصفتها علامات موسمية. ففي وقت الانقلاب لا تتغير كثيرًا زوايا سمت شروق الشمس وغروبها. ومثلما يصعب معرفة الوقت المحدد الذي سيكون فيه البحر راكدًا، يعد تحديد اليوم الذي سينتهي فيه الربيع أو الخريف والذي سيبدأ فيه الصيف أو الشتاء دقيقًا للغاية. وإذا كان أحد أهداف ستونهنج يتمثل في إعداد تقويم، فمن الخطأ ضبطه على تاريخ الانقلاب. فربما كان الاعتدال أكثر ملاءمة؛ فهي أيام السنة التي تتغير فيها مدة طول اليوم بصورة أسرع، والتي يمكن تحديدها بسهولة؛ لأنها الأيام الوحيدة في العام التي يرسم فيها طرف ظِلِّ حربة مغروسة في الأرض خطًّا مستقيمًا.[٩]

قد نقتنع أو لا نقتنع بهذه الحجة، فلا يعتمد الاختيار دائمًا على المنطق، وبالطبع لم يكن كذلك في العصر الحجري الحديث. ولكن يمتلك المشككون أسلحة بديلة، فيصعب تصديق الاتجاهات التي اختارها هوكينز. ولن تكونَ أيضًا الاتجاهاتُ التي حددها موقع الحربة الافتراضية المغروسة في حفرٍ متآكلةٍ دقيقةً للغاية لدرجة تجعلنا نستبعد تفسيرات أخرى. ويشير هؤلاء المتشككون أيضًا إلى أن الاتجاه المشترك للصروح لا يعني بالضرورة أن له أهدافًا فلكية. فتتجه الكنائس كافة نحو القدس في حين أن حركة الشمس والقمر

أصغر اهتماماتها. وإذا كان المسلمون يراقبون كل شهر ظهور الهلال القمري، فليس من أجل هذا السبب تتجه المساجد ناحية مكة.

وخلافًا لما حدث مع الحروف الهيروغليفية أو الرموز المسمارية، لا يوجد أي اختبار لإثبات فك رموز ستونهنج. فقد يوافق البعض بصورة شخصية على تفسير هوكينز لكن دليل صحته ما زال يحتاج إلى إثباتات. فالكتابة شيء والميغاليث شيء آخر أيًّا كانت درجة تعقُّده. ومع ذلك لا تزال توجد تعزية لمن يعتقد في النزعة الفلكية لستونهنج، فلا يوجد أيضًا أي دليل على انعدام هذه النزعة. فصرح ستونهنج مرتبط بمجالَيِ العلم والروحانيات، وذلك ليس أقل مزاياه.[١٠]

الفصل الرابع

قبة فلكية من العصر الحجري الحديث

(١) فيزيائي فلكي ومثير

لو كان فريد هويل قد عاش في القرن السابع عشر لكان قد لعب دور جاليليو المذهل.

يحتل الفيزيائي الفلكي وعالم الكونيات البريطاني فريد هويل (١٩١٥–٢٠٠١) مكانة خاصة في قاعة مشاهير علم الفلك بصفته صاحب اكتشافات مهمة ونظرياتٍ محل جدل كبير، وهو ما يعد علامةً على الإبداع واستقلالية العقل، ولكن أيضًا دليلًا على احتياج للإثارة لا ينفصل عن شخصيته. ولذلك لا عجب من أن هويل قد كان باستمرارٍ ضحيةً لردود فعل رافضة من جانب بعض زملائه.

في عام ١٩٣٩ افترض هويل أنه يوجد بين النجوم كمية كبيرة من الهيدروجين، وهو العنصر الأكثر توافرًا في الكون، واقترح أنه يوجد في شكل جزيئات H_2 مكوَّنة من ذرتين. وناقش هذه الفكرة من جديد في عام ١٩٥٥ بالتعاون مع عالم كونيات آخر يدعى هرمان بوندي. ولم تلقَ هذه الفكرة قبولًا، لكن سيعترف الناس فيما بعدُ أنها صحيحة.

يؤكد علماء الكونيات بطبيعة الحال أن خصائص الكون واحدة على امتداد مسافات أكبر من حجم مجرة. فلا تتغير الكثافة خاصةً عندما تمر الأرض من نقطة إلى أخرى. ولكن من المعترف به أيضًا أن المجرات البعيدة تبتعد بعضها عن بعض. ويحل علماء الكونيات هذا التناقض بالتأكيد على أن الكون يتوسع، ويؤكدون أيضًا أنه بالرجوع إلى الماضي يجب أن نقترب بالضرورة من نظرية الانفجار العظيم الأولية، فنرى هكذا الكثافة ودرجة الحرارة تزدادان بلا حدود. وأعلنوا أيضًا أنه منذ ذلك الوقت يقل متوسط الكثافة باستمرار. لم يقرَّ هويل بهذه الرؤية للعالم؛ ففي عام ١٩٤٨ قام فريد هويل

بصحبة زميلين له، وهما هرمان بوندي أيضًا وتوماس جولد، باقتراح نظرية مبتدعة لتوسُّع الكون.

كان هويل يعارض فكرة أن الكون كان له بداية، فهو يرفض الانفجار العظيم، وهو تعبير مُزيَّن ابتدعه هو عن طريق السخرية. ويرى هويل أن الخصائص الزمنية للكون تنطبق ذاتها على خصائصه المكانية: يتعين أن تكون كثافة الكون ثابتة في الوقت. ولكي يحدث ذلك، كلما زادت المسافة المتوسطة بين المجرات يجب أن تُخلق المادة باستمرار. ما أصل هذه المادة؟ ما هو القانون الذي يحكم هذا «الخلق المستمر»؟ لا أحد يعلم. فلا عجب في رفض الغالبية العظمى من علماء الفلك مثل ذلك الافتراض النظري البحت — والشاذ في رأي آخرين — بقدر ما كثُرَت الحجج المؤيدة لنظرية الانفجار العظيم وازدادت إقناعًا وقت نشأة علم الفلك وعلم الفيزياء.

في عام ١٩٥٣ قام هويل باكتشاف سيظل بلا شك أكبر إنجازاته التي حققت له المجد؛ فقد فسر هويل سبب الطاقة الناتجة داخل النجوم، وهي طاقة تنتشر باستمرار في الفضاء وتحفظ درجة الحرارة السطحية للأرض بقيمة مناسبة لازدهار الحياة. واستند على افتراض مختص بنواة ذرة الكربون. ودون مساعدة أي وسيلة سوى خياله، أعطى لهذه النواة خاصية منفردة دونها لا يمكن أن تحدث بعض التفاعلات النووية المنتجة للطاقة داخل النجوم[١] على حد قوله. ويفيد التأمل الذي قام به هويل في شرح أسباب توافر الكربون بكثرة في الكون، وهي وفرة لولاها لم يكن للحياة وجود. وتم التحقق من وجود هذه الخاصية التأملية لنواة الكربون بمجرد أن تم التسليم بها. وللقيام بذلك، استخدم الفيزيائي الأمريكي ويليام فولر (١٩١١–١٩٩٥) مؤشرات أعطاها له هويل، وهي من الحالات النادرة التي يلقى فيها تأمل لهويل موافقة فورية من زملائه. وعلى الرغم من ذلك حصل فولر وحده على جائزة نوبل عام ١٩٨٣ بسبب هذا الاكتشاف، وهو قرار استاء منه العديد من علماء الفلك. واعتقد العديد من الفيزيائيين أن إبعاد هويل كان نوعًا من الاستنكار الذي تثيره تصرفاته.

وفي السبعينيات استأنف هويل سلوكه المثير، فقام برفقة زميله شاندرا وَيكراماسينج بمدح كونية الحياة، وهي نظرية تقول إن الحياة لم تنشأ على كوكبنا من العدم؛ فهي أتت من الفضاء عن طريق النيازك أو الأتربة. وأضاف هويل أن أحفور أركيوبتركس الموجود بالمتحف البريطاني مزوَّر. وبعبارة أخرى هو يشكك في قطعة ساحرة تعد أول حلقةِ وصلٍ اكتُشفت بين الزواحف والطيور! وهذه شهادة بأنه شخْص مُثبِّط للهمة، أو على الأقل دليل على أن حب التأمل لدى هويل ليس له حدود.

وفي غضون ذلك تجلت مرة أخرى الروح المذهلة لهويل في عام ١٩٦٦، فقد شارك في الجدل الدائر حول تفسير صرح ستونهنج. يمكننا مرة أخرى وصفُ تدخُّلِه بالمثير لكن فائدته واضحة. وفيما يلي سنعرض كلمة الدفاع[٢] ثم نترك الكلمة للخصوم.

ومثلما كان الحال حتى عصر النهضة كانت حالات الكسوف بالضرورة حوادث مهمة في العصر الحجري الحديث، وبالأحرى عندما كان مشيِّدو ستونهنج يلاحظونها، وخاصة إذا كانوا مولَعين بعلم الفلك القمري والشمسي. فكان يجب عليهم تأملها باحترام وربما بخوف. لكن هل كانوا قادرين على التنبؤ بها؟ هذا ما يؤكده هويل أستاذ الإثارة.

(٢) الكلمة الآن لهيئة الدفاع

كان علماء الفلك الذين ساهموا في بناء ستونهنج في العصر الحجري الحديث يراقبون مسارَي الشمس والقمر بلا انقطاع، فجعلوا من هذين المسارين ساعتهم وتقويمهم أيضًا. وكانوا يدركون بالضرورة مرور الشمس بالانقلابَين؛ مما يسمح لهم بتعريف العام بأنه الفاصل الزمني بين انقلابين صيفيين متتاليين. ومع ذلك هو افتراض صحيح، شريطة أنهم كانوا قادرين على العد حتى ٣٦٥. في مقاطعة فستونيس في جمهورية التشيك، عُثر على عظم ذئب يمكن رؤية بعض الشقوق عليه، وهو يوحي بأن من قام بهذه الشقوق كان قادرًا على العد على أصابعه. وحتى إذا كان لا يزال هناك بعض الشك، فإن البعض يعتقد أن هذه الشقوق على العظم يجتمع كل خمسة منها في مجموعة بعضها مع بعض. ولكن تعود هذه العلامات إلى عام ٣٠٠٠٠ قبل الميلاد؛ أي في وسط العصر الحجري القديم. وتم اكتشافُ آخَر أقل قدمًا — ٩٠٠٠ عام قبل الميلاد — في إيشانجو على الحدود بين زائير وأوغندا. وفي هذه الحالة يمكن بوضوح رؤية تقسيم الشقوق لمجموعات منفصلة، ويبدو أنها تكشف أن صانعها كان يتقن المبادئ الأساسية لعلم الحساب، على الرغم من أن التفسير هنا أيضًا يعد صعبًا.[٣] وبصورة أعم، يصعب تخيل أن مهندسين معماريين ماهرين بالقدر الكافي الذي يسمح لهم بتصميم صرح ستونهنج وبنائه؛ كانوا يجهلون تمامًا علم الحساب. وفي النهاية هم كانوا يعيشون بعد صانعي صور لاسكوه بـ ١٥٠٠٠ عام!

فلنقرَّ أن الفصل انتهى، وأن علماء فلك ستونهنج كانوا بالفعل قادرين على العد وتسجيل نتائج عملياتهم بدقة. ولتحقيق ذلك ربما استعانوا بعلامات محفورة على

العظام أو بوسائل أكثر تعقيدًا. ولنقرَّ أيضًا في النهاية أن العمليات الحسابية التي قاموا بها كانت تتكون من أرقام كبيرة نسبيًّا. فهل كانوا يستطيعون التنبؤ بالكسوف؟

(٣) هويل يستكمل مسيرة هوكينز

يعد الشكل ٣-١ب خريطة لصرح ستونهنج مثلما كان في أثناء المرحلة الأولى من تشييد الأثر. وكانت تجويفات أوبري بلا شك قاعدةً تحمل أعمدة من الخشب.

كان هوكينز أول من قام بالتقريب بين تجويفات أوبري والتنبؤ بالكسوف. وفي مقال بعنوان «ستونهنج آلة حسابية من العصر الحجري الحديث» ركز بصفة خاصة على هذه التجويفات ذات الهيئة الدائرية. ولاقتناعه بأن علماء الفلك في العصر الحجري الحديث كانوا قادرين على التنبؤ بالكسوف، يَلفت هوكينز الانتباه إلى عدد التجويفات. لماذا يوجد ٥٦ تجويفًا؟ للأسف لا تعد الإجابة التي يعطيها هوكينز مقنعة للغاية، خاصةً لأنها لا تسمح بالتنبؤ بكل حالات الكسوف. إلا أن عيبها الأساسي يتمثل في اختزال دائرة أوبري في مجرد آلة عد. فإذا كان علماء الفلك يحتاجون إلى ذلك، فهل كان يتعين عليهم بناؤه بهذا الحجم؟ وعند نشر مقال هوكينز أبدى علماء الآثار تشككًا واضحًا. فكان ريتشارد أتكينسون هو هذا المؤرخ الذي يحتل مكانة اجتماعية رفيعة، وهو من شجع نيوهام. وقد أكد أتكينسون فيما يتعلق بنظريات هوكينز أنها «مغرضة ومتعجرفة وغير متقنة وغير قادرة على إقناع أحد.»

فشل هوكينز في محاولته لتحويل كهنة العصر الحجري الحديث إلى متنبِّئي الكسوف. ولم يمنع ذلك هويل من استلام الشعلة. ففي عام ١٩٦٦ نشر مقالين يدافع فيهما عن النزعة الفلكية لستونهنج. وعلى غرار هوكينز كان مقاله الأول يحمل عنوانًا مسترعيًا للانتباه: «ستونهنج: نظام قادر على التنبؤ بالكسوف»، ونُشر في دورية نيتشر. ولم يكن الهدف منه الإعلان عن اكتشاف، بل بالأحرى عن تأمل حول النزعة الفلكية المحتملة لستونهنج. وعلى غرار المقال الثاني لهوكينز، يقترح هذا النص أن الصرح الذي يعود إلى العصر الحجري الحديث ربما كان يُستخدم في التنبؤ بحالات الكسوف، لكن الآلية التي اقترحها هويل كانت أكثر إقناعًا من آلية هوكينز.

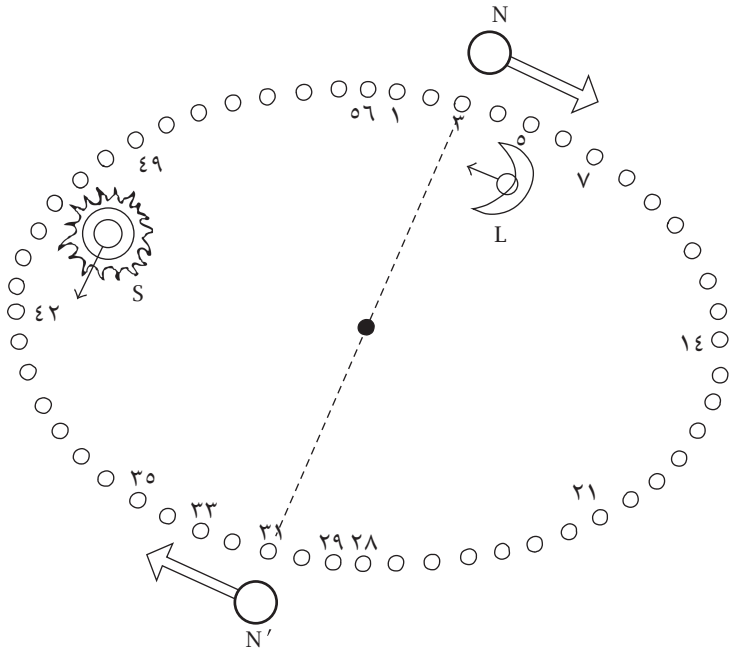
نُشر المقال الثاني لهويل في مجلة أنتيكيتي، بعنوان «تأملات حول ستونهنج»، ويمثل هذا المقال تعليقًا على مقال دورية نيتشر. ودافع هويل في البداية عن نيوهام وهوكينز. تعد حقًّا اتجاهات الصرح ناحية شروق القمر وغروبه ذات مغزًى. وكان

مشيِّدو ستونهنج يقصدونها حقًّا. لكن يثبت الوقت الذي يخصصه هويل لإقناع القارئ بذلك أن هذه البرهنة صعبة. ويتفهم هويل تمامًا من لا يقتنعون بهذا الأمر ولكن دون أن يقول ذلك صراحةً.

بما أن مقال «تأملات حول ستونهنج» نُشر في مجلة أنتيكيتي، فهو إذن مقال موجه إلى علماء الآثار. وبلا شك قليلون من فهموا هذا المقال الممتلئ بعلاقات مثلثية. إلا أن هذا النص يثبت أن هويل كان شخصية فريدة على الرغم من سمعته السيئة. فعندما يتحدث عن ستونهنج فهو أمين في الإشارة إلى الصعوبات التي يتسبب فيها تفسيره للنزعة الفلكية لهذا الصرح. ويعد تحليله واضحًا للغاية، فهو تخطَّى علم المثلثات حتى وصل إلى العالمية. ومثلما يلاحظ هويل، فإذا كانت ستونهنج مرصدًا فلكيًّا يسمح بالتنبؤ بحالات الكسوف، فقد كان مشيِّدوه ينتمون لشعب يتمتع بذكاء شديد أكبر مما نصِف به عامةً القبائل التي كانت تعيش آنذاك في جنوب إنجلترا. واليوم لا يحتوي هذا الافتراض على ما هو صادم. فبالطبع لم تختلف القدرات البشرية منذ العصر الحجري الحديث. ولكن السؤال الأهم الذي يطرح نفسه يتعلق بالتراث الثقافي. فهل يمكن لشعب لم يترك أي أثر عن إتقانه للكتابة أو استخدامه للأرقام أن يصل إلى درجة من التجرد تكفي للممارسة التي ينسبها له هويل؟

(٤) تقويم الحجر

في مقال «تأملات حول ستونهنج» يذكر هويل على الفور ما يفصل بين علماء الآثار وعلماء الفلك الأثريين. فالفريق الأول؛ أي علماء الآثار، يميلون للتساؤل كيف قاموا هم بذلك. و«هم» تعني مشيدي ستونهنج. أما الفريق الثاني — ويتشبه هويل بهم — فيطرحون سؤالًا مختلفًا تمامًا: كيف كنا سنتصرف إذا كنا واجهنا المشكلات ذاتها؟ إذا كنا مهجورين على كوكب مجهول ووسائلنا الوحيدة هي أحجار ضخمة وبعض قطع الأخشاب وأحبال بدائية، فكيف كنا سنتصرف عند رؤية شمس أو قمر يختلف بعض الشيء عما نعرفه؟ فبلا شك ستكون مشكلتنا الأولى هي اللجوء إلى هذين النجمين للتحكم في تعاقب الشهور والأعوام. ألا تصلح الاتجاهات التي أوضحها نيوهام وهوكينز في ستونهنج أن تكون علامات موسمية؟ فلا يمكن لشعب مكون من المزارعين والرعاة أن يتخلى عن ذلك.



شكل ٤-١: وفقًا لفريد هويل تمثل دائرة أوبري سطحًا دائريًّا ضخمًا مقسمًا إلى مربعات متناسقة. وهي ممثلة هنا بـ ٥٦ دائرة مرقمة، بينما ترمز القطع الأربع للَّعبة إلى أوتاد مغروسة في أحد تجويفات أوبري، وتمثل بالترتيب الشمس والقمر والعقدة الصاعدة N والعقدة النازلة N′. وعلى مدار العام تسلك كل قطعة على الرقعة مسارًا محددًا وفقًا لقواعد اللعبة الموضحة في النص. وبفضل اختيار عدد التجويفات — ستة وخمسين — يمثل هذا المسار تقريبًا ما يرسمه على القبة السماوية النجم أو العقدة التي يمثلها. ويمكن لمراقب يقف في وسط الدائرة أن يستهدف بنظرة واحدة موقع الوتد على دائرة البروج ومقارنته بموقع النجم أو العقدة التي يمثلها. فيمكنه إذن تصويب الأخطاء المحتملة لسير قطع اللعبة.

في المقالين اللذين خصصهما هويل لستونهنج، انطلق من فكرة أن مشيدي هذا الموقع كانوا يريدون بالفعل التنبؤ بحالات الكسوف. ولم يتساءل حول دوافعهم وصبَّ كل اهتمامه على تجويفات أوبري. فيرى هويل أنها ليست مجرد آلة عد. وإذا كانت كذلك فربما لن نفهم لماذا تكون هذه التجويفات متساويةَ البعد بطول دائرةٍ نصفُ قطرها

مائة متر. فكانت تكفي دائرة صغيرة. يقتنع هويل أنه سيحل اللغز عندما يفهم لماذا يبلغ عدد تجويفات أوبري ٥٦ تجويفًا.

تعد إجابة هويل بسيطة وأنيقة.

تمثل دائرة أوبري وتجويفاتها الستة والخمسون نوعًا من المربعات المتناسقة التي تتحرك عليها أربعة أحجار تمثل بالترتيب الشمس والقمر والعقدتين. وعلى مربعات لعبة الكسوف الحقيقية، ربما استُبدِل بالأحجار عصيٌّ مثبتة في أيٍّ من التجويفين. أما حركة الأربع قطع فهي محددة وفقًا لقواعد اللعبة، وهي نفسها مستوحاة من حركة نماذجها الفلكية (شكل ٤-١). وتمثل دائرة أوبري، بالإضافة للأحجار الأربعة الافتراضية، حلًّا وسطًا بين تقويم وقبة فلكية متحركة، وستخبرنا أيضًا بحركة الشمس والقمر، بالإضافة لقرب حدوث كسوف شمسي أو خسوف قمري.

(٥) قواعد لعبة الكسوف

من يقود اللعبة (كاهن كبير؟) هو المسئول عن تحريك القطع. ويجب عليه أن يحرص على أن يكون كل حجر يسيرُ بسرعته المعهودة. وتكون حركته منصوصًا عليها وفقًا لقواعد لعبة الكسوف التي وُضعت بطريقة تجعل القطع الأربع تُبرز سير الشمس والقمر بأفضل طريقة ممكنة.

تمثل قطعتا N وN′ على المربعات عُقَد المدار القمري، وتحتل باستمرار مربعات متقابلة. ويحرك الكاهن القطعتين في اتجاه عقارب الساعة بمعدل مربع كل أربعة أشهر. وتدور القطعتان N وN′ في ١٨,٦٧ عامًا، وهو إيضاح شبه مثالي لأداء العقد السماوية التي تقوم بدورانها حول دائرة البروج في ١٨,٦١ عامًا. فتتفق هاتان الفترتان باختلاف ٠,٣٥٪ تقريبًا. ويقوم قائد اللعبة أيضًا بتحريك قطعتي S وL اللتين ترمزان بالترتيب إلى الشمس والقمر.

تتحرك القطعة S التي ترمز إلى الشمس في عكس اتجاه عقارب الساعة، وتتقدم مربعين كل ١٣ يومًا، فتحتاج إذن إلى ٣٦٤ يومًا لكي تعود إلى مربع البداية، ويومٍ وست ساعات قبل أن تعود الشمس إلى نقطة البداية، وهو ما تقوم به في ٣٦٥,٢٦ يوم.[٤] والفرق هنا أيضًا بين الفترات يقدر بـ ٠,٣٥٪.

أما القطعة L التي ترمز إلى القمر فيحركها قائد اللعبة في الاتجاه ذاته للقطعة S. ويجعلها تتقدم مربعين كل يوم، مما يسمح لها بالعودة إلى نقطة بدايتها بعد ٢٨ يومًا،

وهو بتأخير بسيط مقارنة بالـ ٢٧,٣٢ يومًا التي يحتاجها القمر للقيام بدورة كاملة في الفضاء المرصع بالنجوم.[٥] وهنا يعد فارق السرعات أكثر أهمية؛ فهو يبلغ نحو ٢,٥٪.

عندما توجد قطعتا S وL في الوقت نفسه في المربع ذاته الذي توجد به N و′N، يحدث بالضرورة كسوف شمسي. وعندما تبلغ S وL مربعين متقابلين تشغل إحداهما القطعة N والأخرى ′N، يتعين علينا أن ننتظر خسوفًا قمريًّا. وفي الحالتين يحدث الكسوف في الاتجاه الذي يحدده الخط المستقيم الخارج من وسط دائرة أوبري، والذي يمر بالمربع الذي تشغله S وL.

وبهذه الصياغة تكون القواعد قاسية للغاية. فعندما تكون إحدى قطعتي S أو L في المربع ذاته الذي توجد به N أو ′N، ليس من الضروري أن تشغل الأخرى المربع ذاته لكي يحدث الكسوف الشمسي: فإذا كانت هذه القطعة على بعد مربعين، يمكن أيضًا أن تحدث الظاهرة. وفي حالة خسوف قمري يعد التسامح أقل: فإذا وجدت S أو L في المربع ذاته الذي توجد به ′N، يتعين أن تشغل القطعة الأخرى مربع N ذاته أو مربعًا مجاورًا لكي يحدث الخسوف.[٦] تعد هذه الشروط ضرورية لكنها ليست كافية؛ فحتى عندما يتم استيفاؤها لم يُعلن بعدُ أن الكسوف المذكور سيكون مرئيًّا في ستونهنج. فيمكن ألا يكون مرئيًّا إلا في مناطق أخرى من الكرة الأرضية.

وبالنسبة لمستخدمي لعبة الكسوف، تعد الفروق المختلفة بين الفترات الحقيقية وتقريباتها الكاملة بمنزلة عيوب كبيرة من شأنها أن تدمر على المدى الطويل كل احتمالات التنبؤ بالكسوف. فيتعين إذن في بعض الأحيان تصويب سير القطع. وفيما يتعلق بقطعتي S وL ليست الأمور خطيرة. فمن أجل وضعها في مسارها يكفي المقارنة بين موقع كلٍّ منهما مع موقع نماذجها الفلكية بطول دائرة البروج. وهكذا يعطي هويل الوصفة التي يجب تطبيقها إذا أردنا ضبط عقارب S وL. ولتصويب مسار N و′N، آخر عقربين، يوجه هويل إلى القدماء توصية بأثر رجعي، فهو يقترح عليهم أن يتابعوا بانتباه تباين الشروق الأقصى للقمر بين زوايا السمت القصوى الممثلة في الشكل ٣-٤. ويشرح لهم أنهم إذا كانوا منتبهين للغاية «فسيستطيعون» أن يحددوا بدقةٍ القيمةَ المضبوطة لفترة دوران عُقد المدار القمري. ولكنهم سيستطيعون أيضًا ضبط سير قطعتي N و′N على نماذجهما الفلكية، على الرغم من أن العقد ليست إلا نقاطًا ملحوظة على القبة السماوية فلا ترسل ضوءًا أو تعكسه.

(٦) عن أهمية الرقم ٥٦

تدور أهمية اقتراح هويل حول الرقم ٥٦ وهو عدد التجويفات التي تحتوي عليها دائرة أوبري. فهو محور مصادفة رقمية تناسب أمورًا عديدة لدى هويل. ولن يقوم بهذا الأمر سطح دائري مقسم إلى مربعات يختلف عددها عن ٥٦. ولكن قد يكون سطح مكون من ٢٨ مربعًا مناسبًا أكثر من ٥٦ فيما يتعلق بالشمس، فسنجعل S تتحرك مربعًا واحدًا بدلًا من اثنين كل ثلاثة عشر يومًا. وفيما يتعلق بالقمر، نجعل L تتحرك مربعًا واحدًا كل يوم. لكن قواعد اللعبة لا تعطي الأولوية لقطعتي N و′N اللتين يجب أن تتقدما مربعًا كل ثمانية أشهر، لدرجة أننا من عام إلى آخر لا نحرك هاتين القطعتين في تاريخ ثابت. فمن بين كل الأرقام التي توجد من ١ إلى ١٠٠ يعد اختيار ٥٦ هو الأفضل؛ فهو ينتج عن حلٍّ وسط موفق. فهو ليس صغيرًا جدًّا، فقد تكون الفروق الزاويَّة بين تجويفين متتاليين في هذه الحالة ضخمة؛ وليس كبيرًا جدًّا، فقد تختفي أيضًا بساطة اللعبة التي تعد سببًا في سحرها. هل يرجع هذا الاختيار إلى المصادفة أو إلى مشيدي ستونهنج؟

يكتسب اقتراح هويل مصداقية عندما نلاحظ أن تجويفات أوبري متساوية البعد بالفعل. وهكذا يمكن لقائد اللعبة القيام بتصويبات معقولة لسير القطع بمجرد ابتعادها كثيرًا عن قطع نماذجها السماوية.

(٧) والكلمة الآن لشهود النفي

لا يكفي عرض حجج الدفاع، بل يجب أيضًا أن نعطي الكلمة للوزارة العامة التي تمثل هنا علم الآثار التقليدي المستاء للغاية من التفسير الذي أعطاه بعض علماء الفلك لأحد أشهر الآثار الميغاليثية. وترى الغالبية أن علماء الآثار المحترفين قد استُفِزوا من الضجة الإعلامية التي حظي بها أناس لا يعرفون شيئًا عن علم الآثار التقليدي، وبالإضافة إلى ذلك يستخدمون الرياضيات للنهوض بأفكارهم، مما يعد إهانة بالغة. فتحرص روح الدقة على أن تؤكد من جديد تفوُّقَها على روح الهندسة، والثقافة التقليدية على الثقافة العلمية، ومناصري المذهب الإنساني على التكنوقراط. لم يهتم هويل بذلك. فعرض في مجلة أنتيكيتي المخصصة عادةً إلى نخبة علم الآثار التقليدي وحدهم، المبادئَ الأساسية لعلم الفلك الموقعي باستخدام علم المثلثات الكروية.

وجدير بالذكر أن النفي لا يخلو هو الآخر من الحجج. ليست الاصطفافات محددة مثلما ادعى هوكينز، ويُنتقد استخدامه للإحصاء، ويمكن لبعض الأحجار المخروطية

أن تكون حوادث مصطنعة، وأيضًا خط الأفق ليس أفقيًّا بالمعنى الذي يقصده أصل الكلمة، وبالإضافة إلى ذلك لعبتْ التعرية دورًا سلبيًّا، وأوجدت نقاطًا مستهدفة خاطئة. ويؤكد البعض أنه في أثناء استخدام ستونهنج كان المُنحَدَر الدائري الذي يحيط بدائرة أوبري أكثر ارتفاعًا مما هو عليه اليوم. فربما لم يكن هذا المُنحَدَر يسمح بمتابعة شروق الشمس أو القمر لمراقب يقف في وسط الأثر.

وكانت توجد ظروف نفسية أخرى من شأنها أن تستفز علماء الآثار التقليديين. فقد حظي التفسير الفلكي لستونهنج بمجرد معرفته بأصداء واسعة وسط ممثلي حركة «العصر الجديد»؛ حيث إن أكثرهم هذيانًا يعتقد أن الكائنات الفضائية توجد بيننا، وأنها زارت الأرض في الماضي. فمن يرون رجالًا خُضرًا صِغارًا في كل مكان لا يستوقفهم أي شذوذ. وفي عام ٢٠٠٤ في عدد من مجلة ساجنهافتن زيتن (ومعناها الحرفي زمن الأساطير) وهي مجلة تنشرها جمعية أسترنوتيك أوند سيتي،[٧] قدم هؤلاء الأشخاص «الدلائل» التي لا حصر لها على وجود الكائنات الفضائية حاليًّا، وهي مؤشرات يمكن رصدها أينما أرادوا، في منورقة أو في الصين، ولا سيما في أمريكا الجنوبية، فهي قارة طالما فضلها السائحون القادمون من أماكن أخرى، ويمكنكم البحث عن أسباب ذلك. فالأهرامات والآثار القديمة أو التي تعود إلى ما قبل التاريخ هي التي تنال حظوة مناصري حركة العصر الجديد. وبمجرد اختراع «فن العمارة الفلكي» تبنَّوا على الفور التفسير الفلكي لستونهنج، الذي من شأنه فقط — على حد قولهم — أن ينهض بأفكارهم.

وفي هذه الظروف لا عجب إذا استقبل علماء الآثار فكرة القبة الفلكية الحجرية لهويل ببرود، وهو رد فعل لا يمكن لسمعة هذا الفيزيائي عالم الفلك المثير الغريب إلا أن تقوِّيه. فذلك كافٍ، مثل حال تجويفات أوبري، فربما كانت تحتوي على بقايا حرق جثث الموتى. وكان دورها كدعامة لأعمدة قد يبدو محلًّا للجدل.

لا يستخدم علماء الآثار التقليديون الطرق الملتوية. ففي عام ١٩٨٦ عُقد في المكسيك المؤتمر الدولي الثاني عن علم الفلك الأثري. وبما أن هذا المؤتمر يختص أساسًا بعلم الفلك في مرحلة ما قبل التاريخ في الأمريكتين، لم يكن يستطيع أن يغفل ستونهنج تمامًا. ونقرأ في أحد تقارير المؤتمر: «لفتت [ستونهنج] انتباه علماء الفلك بطريقة مبالغ فيها لا سيما في الستينيات [...] ومن حسن الحظ أن موجة التأملات الجامحة بدأت تهدأ.»[٨] يعد هذا الموقف السلبي بلا شك ملمحًا للمواجهة بين ثقافتين، ولكن نظرًا لعدم حدوث وقائع جديدة وهو أمر غير محتمل لا يمكننا التنبؤ بكيفية اختفاء هذه المواجهة.

وماذا عن النزعة الفلكية لستونهنج؟

أيًّا كان تطور الآراء فربما لن نستطيع أبدًا أن نختار بين علم الفلك وعلم الآثار التقليدي ونرجح كفة على أخرى. وينتمي راجلز للجناح المتعصب لوجهة النظر المتشددة عندما يقول: «إن التأكيد الوحيد الذي لا جدال عليه بشأن ستونهنج هو أن الاتجاه العام لمحور الأثر [...] يشير إلى شروق الشمس في الانقلاب الصيفي وغروبها في الانقلاب الشتوي.»[٩] إذا كان هذا هو نصيب علماء الفلك فهو ملائم جدًّا. ففي الانقلاب الشتوي تغرب الشمس في نقطة تقع بالضبط في مقابل المكان الذي تشرق فيه في الانقلاب الصيفي! ويُضاف إلى ذلك أن راجلز الذي يلعب هنا دور شاهد النفي هو عالم إحصاء، ولشهادته أهمية بالغة فيما يتعلق بحقيقة الاصطفافات. وبذلك لا يكون الخبير إلا خبيرًا. ومن لا يعرف سير قضية دريفوس يلقي الاتهام الأول على المدَّعى عليهم.

(٨) المحكمة تنسحب للمداولة

في الوقت الذي تبدأ فيه هيئة المحلفين المكونة من القراء في مداولاتها يوجِّه إليها رئيس المحكمة بعض الكلمات التي قد تؤثر في حكمها. لا يعد ذلك من دور الرئيس بل هو تخطاه، فهو ليس مقتنعًا أن التحقيق قد سلط الضوء على كل ملامح هذه القضية الغريبة.

«أنتم تمثلون هنا محكمة التاريخ غير المؤهلة لإصدار عقوبات. وعلى كل حال تُوفي غالبية ممثلي هذه المسرحية الدرامية؛ فلا ننتظر منكم سوى حكم مؤقت بما أنه في أي وقت قد تطرأ وقائع جديدة ويمكن لأي من الطرفين حينئذٍ أن يقدم طعنًا. لكن لا تعتقدوا أن المحكمة التي تمثلونها بلا جدوى. ففي المقابل هي تسهم في بناء التاريخ وهو أقل شيء عندما يتعلق الأمر بعلم الآثار. تنتمي ستونهنج إلى فترة ما قبل التاريخ، هذه الفترة التي يجب أن نكتفي فيها بمؤشرات ضئيلة نظرًا لغياب الوثائق الكتابية. وأود أن أضيف كلمة أخرى: بصفتي رئيسًا لهيئة المحلفين قد يتعين عليَّ أن أطْمَئِن أن المداولات تسير بصورة سليمة، وأن أكتفي بتلقي آرائكم دون أن أظهر رأيي. ولكن ليس هذا ما أنويه. لا أحرص على التحلي بالموضوعية، بل في المقابل أود أن أكمل الدعوى التي تجاهلتْ بعض النقاط. فهل تُقبل الموضوعية عندما يتعلق الأمر بتفسير منعطف في تاريخ البشرية؟

فلنترك الأمور العامة. ما الذي يمكن أن نقر به من حجج علماء الفلك الثلاثة؟ فهم يبدءون بذكر بعض الاصطفافات التي يرونها ذات مغزًى من وجهة نظر علم الفلك. وشكك النفي في هذه الاصطفافات ولا يعتبرها ذات مغزًى. وهذا نزاع بين خبراء. وجدير بالذكر أن الوزارة العامة لا تنكر وجودها على الإطلاق، فهي ترفض فقط أن يكون لاتجاهها أيُّ علاقة مع اتجاه مفضل للكرة السماوية. وتتسامح الوزارة فقط في فكرة أن المحور العام للمبنى يشير إلى شروق الشمس في الانقلاب الصيفي. وفي ظل هذا التعنت الرافض لأي تفسير فلكي، هل يمكن أن نرى في ذلك موقفًا مشبوهًا من جانب علم الآثار الذي لا يتغير؟ أعتقد ذلك. لماذا تصطف أحجار ميغاليثية إذا لم يكن يوجد أي اتجاه مفضل؟ فتشير الكنائس إلى القدس والمساجد إلى مكة، فهل كان قدماؤنا أقل تدينًا منا؟ أَوَلَا يمكننا أن نؤلف بين الأهداف الفلكية — بمعنيَيِ الكلمة — وموقف ديني لدى شعوب العصر الحجري الحديث في بريطانيا؟ كان الكهنة المنجمون في بلاد الرافدَيْن يهتمون أولًا بالآلهة بالمعنى الواسع للكلمة، ولكن ذلك لم يمنعهم من أن يتحولوا قسرًا إلى علماء فلك أكْفاءٍ وقادرين على التنبؤ بحالات الكسوف.

ومن الخطير حقًّا أن نتمادى في التشبيه بين المراقبين البابليِّين وكهنة الميغاليث، فلنطلقْ عليهم هذا الاسم بما أنه من المحتمل أن يكون لبناء ستونهنج طابعٌ دينيٌّ ما. لا نعرف إلا القليل عن الشعوب التي بَنَتْ ستونهنج، ونجهل كل شيء عن معارفهم المحتملة في الحساب؛ فقد كانت الكتابة لا تزال حكرًا على مصر والشرق الأوسط. ويُعقِّد غياب الكتابة من نقل المكتسبات الفكرية المحتملة من جيل إلى آخر. يعد ذلك صعبًا بلا شك ولكنه ليس مستحيلًا. فقد انتقلت الإلياذة في البداية بطريقة شفهية: «نعاني قليلًا من أن نمثِّل لأنفسنا قوة العادات الشفهية؛ لأنها تتطلب قدرةً ربما افتقدها الإنسان المعاصر بصورة كاملة؛ وهي القدرة على حفظ قصائد طويلة. كان البعض يمتلك هذه القدرة بدرجة لا يمكن تخيلها، ولن نستطيع أن نصدقه إذا لم يكن لدينا العديد من الشواهد على ذلك.»[١٠]

وتجبرني الأمانة على الإشارة إلى نقطةٍ تدعم موقف النفي: فمثلما تشير كل الكنائس تقريبًا إلى القدس وكل المساجد إلى مكة، لا تعبر الآثار الميغاليثية إلا عن مَيل واضح بالطبع في الاتجاه الشمسي. وهنا أيضًا يختلف الخبراء. أما الاتجاه القمري فهو أكثر ندرة ... ويُحزنني أن أعترف بذلك؛ فهذا يعني مع ذلك أنه حتى إذا تخلَّينا عن ذكر الكسوف يصعب الدفاع عن موقف علماء الفلك الأثريين.

وفيما يتعلق بالتنبؤ بحالات الكسوف واستخدام دائرة أوبري كتقويم للكسوف، يعد تحفظي أكثر وضوحًا. فخلافًا لما يمكن أن تتخيلوه ليست ستونهنج هي الأثر الميغاليثي الوحيد في بريطانيا العظمى. فتكشف مبانٍ دائريةٌ أخرى عن وجود دوائر تجويفات لحمل أعمدة مشابهة لتجويفات أوبري في ستونهنج. فيحتوي أثر سارن إي برين كالد في بلاد الغال على ٢٠ تجويفًا. وتكشف إعادة بناء موقع وودهنج القريب للغاية من ستونهنج أنه مكون من العديد من الدوائر المركزية. تضم الدائرة الخارجية ٦٠ تجويفًا ولا يحتوي أيٌّ منها على ٥٦.[١١] فبدلًا من أن تكون دائرة أوبري خاصية مميزة لستونهنج تهدف إلى مراقبة الكسوف، ربما لا تكُون سوى بناء مألوف نسبيًّا ويكون هذا الرقم ٥٦ لعبة أرادت المصادفة أن تجعل هويل يلعبها …

هذا هو ما أريد أن أقوله لكم قبل أن تنطقوا بحكمكم. لكن اسمحوا لي أيضًا أن أذكر ملاحظة أساسية. فإذا كنتم تمتلكون حديقة كبيرة في سهل، أو تمتلكون بستانًا تمتد فيه الرؤية في كل الاتجاهات، يمكنكم أن تعدوا سطحًا مكونًا من مربعات متناسقة يشبه دائرة أوبري واستخدامه؛ للتنبؤ بحالات الكسوف؛ فتحرزون بذلك نجاحًا محقَّقًا مع جيرانكم. وإذا كانت الأمور على ما يرام يمكنكم تحويل بستانكم إلى موقع سياحي. فتعد هذه النقطة على الأقل مكسبًا نهائيًّا للدفاع الذي أميل إليه قليلًا مثلما تشعرون، حتى وإن كنت أُبرِز نقاط ضعفه. وفي المستقبل لا يُستبعَد أن يقضي اكتشاف ما نهائيًّا على التفسير الفلكي لستونهنج. وإذا حدث ذلك فلن تختفي فكرة التقويم الحجري فهي سهلة وبسيطة.

السيدات والسادة، أدعوكم مؤقتًا إلى التوجه إلى قاعة المداولات.»

الفصل الخامس

عالم دانتي

(١) عالم دانتي

في «الكوميديا الإلهية» التي تعود إلى بداية القرن الرابع عشر، تكون جهنم بمنزلة قمع ضخم يقع تحت مدينة القدس. وتتكون إقامة الملعونين من تسع دوائر موحدة المركز تضيق كلما اقتربنا من لوسيفر في وسط الأرض. وكلما كانت الدائرة عميقة كانت الذنوب التي ارتكبها الملعونون الموجودون بها أكبر، فإن دانتي يصنف الذنوب وفقًا للتعاليم المسيحية وفلسفة أرسطو الأخلاقية. أما المطهر فهو جبل يقع على الجهة المقابلة للقدس، في نصف الكرة الذي لا تغطيه سوى المحيطات وفقًا للمعتقدات في القرون الوسطى. أما الجنة فهي مكونة من تسع كرات متتالية تغطي الأرض.

تعد هذه الصورة للكون قاسية للغاية للملعونين وهم المدانون بلا رجعة. فلا تستطيع أي محكمة استئناف إنقاذهم بمجرد تخطيهم مدخل الطريق المؤدي إلى إحدى دوائر جهنم:

> يا من تتخطون هذا الباب، تخلوا عن كل أمل.

لكن من يخضع للقانون الإلهي مطمئنٌّ إلى أنه سيسلك الطريق إلى الجنة، فالمرور المحتمل بالمطهر لا يمثل إلا مرحلة قصيرة جدًّا مقارنة بالسعادة الأبدية. إن عالم دانتي مخصص بالكامل للمؤمن الذي لا يعرف أي تهديد ما عدا الذنوب، فيتخلى عن حريته واستقلاله لكي يحظى بمكان مؤكد في الجنة. كم هو مُطَمِئن هذا العالم المحدود الذي يتمحور حول الإنسان، والذي يرعاه إلهٌ عالِم بكل شيء وقادر على كل شيء! والويل لمن يعكر صفو هذه الطمأنينة الإلهية!

يعطينا دانتي أليجييري (١٢٦٥–١٣٢١) عبر «الكوميديا الإلهية» لمحة عن الكون وفقًا لما كانت تتخيله العصور الوسطى في نهايتها. فقد تكوَّن هذا البناء تدريجيًّا نتيجة للقوالب الموروثة من القدماء، ونُظمت جهنم والمطهر والنار وفقًا لتعاليم الكنيسة، وزُودت بالملائكة والشياطين من أجل استقبال أرواح المتوفَّيْن. وتكون الأرض في هذا الكون مدورة، وتحتل المكانة التي نسبها إليها القدماء اليونانيون قبل أن يختفوا في وسط اضطرابات التاريخ.

لكن لماذا تتكون الجنة من تسع كرات؟

(٢) الأرض مدورة

في القدم كان علم الفلك المصري في الواقع لا وجود له.[١] ومثلما رأينا في الفصل الثاني كان علم الفلك البابلي متطورًا بالقدر الكافي لإعداد تقويم للكسوف. وكان البابليُّون قادرين على مراقبة بعض الظواهر السماوية والتنبؤ بها، وهو ما يمثل مرحلة حتمية لمن يريد أن يفهمها، ولكنهم لم يتعمقوا في هذا الأمر. وبما أن السماء كانت مجال الآلهة، كانت الظواهر السماوية تحمل رسائل إلهية سعى الكهنة إلى ترجمتها. ولكنهم لم يحاولوا أن يتساءلوا حول طبيعة الأجرام السماوية؛ سواء الشمس أو القمر أو الكواكب أو النجوم أو طبيعة الظواهر مثل الكسوف. ربما تساءل بعض البابليِّين أحيانًا لماذا يأخذ القمر شكلًا هلاليًّا لكن لم يظهر أي شيء من ذلك على الألواح التي تركوها لنا.

كان يونانيو المهجر هم أول من وضعوا الأسئلة التي لم يتساءلها البابليُّون. فكان بعضهم يسكن في منطقة أيونيا على الساحل الغربي للأناضول، والبعض الآخر في اليونان الكبرى جنوب شرق شبه الجزيرة الإيطالية. تعلم الفلاسفة اليونانيون الكثير من البابليِّين، لكنهم لم يكتفوا بقراءة الساعة السماوية بانتباه. فقد أرادوا فهْم هيكلها وتخيُّل «آليةٍ» من شأنها أن تجعلها تُواصل سيرها. فهكذا سلكوا طريق العقلانية وفتحوا الكتاب الكبير الذي لا نكفُّ عن تصفحه منذ ذلك الوقت.

يعتقد طاليس المليسي (الفصل الثاني)، الذي نعتبره أول ممثل للمدرسة الأيونية ورائد العقلانية اليونانية، أن عالمنا يشبه فقاعة هواء داخل كمية ضخمة من الماء، وتكون الأرض مثل فطيرة مسطحة تعوم في قاع الفقاعة. فمن وجهة النظر التي تهمنا، لا تختلف الصورة التي يتخيلها طاليس عن الكون كثيرًا عن تلك التي تخيلتْها الحضارة

البابلية أو المصرية. فيوجد فصل كامل بين الأرض والسماء. ويعد تصور طاليس طبيعيًّا لدرجة أننا نظل في حيرة من أنه تم مهاجمته سريعًا، ومن أحد تلاميذه!

كان هذا التلميذ يُدعى أناكسيمندر (٦١٠–٥٤٦ قبل الميلاد). وتجرأ أن يكتب أن الأرض معلقة في الفضاء، وكان يعطيها شكل الطبل؛ فبالطبع يتعين أن يكون الوجه الذي نعيش عليه مسطحًا. وفي هذا الظرف تستحق الحجج المستخدمة أن نتأملها. فإذا كان أناكسيمندر يعتقد أن الأرض لا تستند إلى شيء، فهذا يعني أنه كان يضعها في وسط السماء التي تصبح هكذا كرة مجوفة. وبسبب هذا الوضع المماثل، لن تنجذب الأرض في اتجاه معين وتشبه في ذلك حمار بوريدان. فتكون كل الاتجاهات متساوية!

ومن الملحوظ أن تاريخ العلوم شهد حالات عديدة لجأت في حلها لمشكلة جوهرية إلى حجج التماثل. فربما لم يكن يمكن صياغة قوانين علم الكهرومغناطيسية إذا لم يكن واضعها قد استخدم هذه الاعتبارات. ويقوم أيضًا علم البلورات وفيزياء الجسيمات على فكرة التماثل. لكن كيف نفهم أن أناكسيمندر قد استخدم هذه الفكرة في مطلع تاريخ العلوم؟

تعمق الفيلسوف الأيوني في هذا الأمر، فيقول إنه إذا كانت الأرض على شكل طبل فيتعين أن يكون لها وجه مقابل للوجه الذي نسكنه. وإذا كان هذا الوجه مسكونًا — لا يتطرق أناكسيمندر إلى هذه النقطة — فسكانه لا يديرون لنا ظهرهم، بل أسفل قدمهم. فما هو أعلى بالنسبة إليهم هو ما يعد أسفل بالنسبة إلينا، والعكس صحيح.

وكانت الخطوة الأخيرة لكي يكون الكون متماثلًا بصورة كاملة هي أن تصبح الأرض مدورة. ويرجع الفضل في ذلك إلى فيثاغورس أو تلاميذه.

لا نعرف الكثير عن حياة فيثاغورس (حوالي ٥٦٠–٤٨٠ قبل الميلاد). فقد ولد في ساموس وهي جزيرة أيونية على بعد أمتار من مليس. وربما سافر في شبابه إلى مصر أو إلى بابل. وفي عام ٥٣٠ أو ٥٢٠ قبل الميلاد استقر بكروتون جنوب إيطاليا؛ حيث أسس جماعة بمنزلة طائفة دينية أو جمعية سرية: فعندما نتحدث عن فيثاغورس يجب أن نفهم غالبًا «مدرسة فيثاغورس». ويعطي أتباع فيثاغورس للأرقام طابع الكمال، وكانوا يقومون بالأمر ذاته مع بعض الأشكال الهندسية ولا سيما المتماثلة منها، لدرجة أن الكرة كانت رمز الكمال. وكانت الشمس والقمر، وهما كاملان أيضًا باعتبارهما جرمين سماويين، يشاركان في كمال الكرة. فصرح أتباع فيثاغورس أنه في مثل هذه الظروف إذا كانت الأرض معلقة في الفضاء فلا بد أن تكون كروية الشكل.

وبما أن الأرض معلقة في الفضاء فلماذا لا تكون كوكبًا مثل الأُخَر؟ لم يتجرأ اليونانيون أن يتبعوا أرسطرخس الساموسي (حوالي ٣١٠–٢٣٠ قبل الميلاد) الذي تجاوز هذه الخطوة. فنعرف أفكاره بواسطة نص لأرشميدس عالم الرياضيات الكبير والمهندس الصقلي (حوالي ٢٨٧–٢١٢ قبل الميلاد). ففي حديثه إلى الملك جيلون الثاني ملك سرقوسة قال أرشميدس: «أنتم لا تجهلون أن الكون هو الاسم الذي يطلقه غالبية علماء الفلك على الكرة المتمركزة بوسط الأرض والممتدة حتى الشمس [...] ولكن أرسطرخس الساموسي قد أظهر عملًا [...] يتبين منه أن الكون أكبر بكثير. فهو يفترض أن النجوم الثابتة والشمس لا تتحرك، وأن الأرض ترسم مسارًا دائريًّا حول الشمس.»[٢] ليس أرسطرخس إلا مخترع نظرية مركزية الشمس للكون.

(٣) منهج أفلاطون

لا يمكن اختزال الفلسفة اليونانية في مسيرة تهدف إلى معرفة الطبيعة. ففي أثينا لم يهتم سقراط كثيرًا بذلك، وإذا ترك أفلاطون (٤٢٨–٣٤٨ قبل الميلاد) أثرًا في تاريخ علم الفلك فكان موقفه موقف عالم رياضيات وفيلسوف وشاعر كبير، لكنه بعيد عن المشاركة في ازدهار ما نسميه اليوم العلم. فكان أفلاطون يفضل التأمل على المراقبة ويزدري التجربة. فذكر في كتاب «الجمهورية» أنه «لا يمكن فهم الحركات إلا بواسطة الفكر وليس المراقبة.» وبالإضافة إلى ذلك، «كان يُدين كل مراقبة دقيقة لحركة الأجرام السماوية التي يراها نشاطًا مهينًا أكثر من كونها مثيرة للحماس.»[٣] وفي محاورة «جورجياس» يقارن أفلاطون بين الفنون الآلية الخاصة بالعبيد والفنون المتحررة الخاصة بالرجال الأحرار، وهو موقف لا عجب منه لدى قوم يمارسون الاسترقاق.

يرى أفلاطون، وشأنه في ذلك شأن فيثاغورس، أن الكمال في الهندسة يتمثل في الدائرة والكرة. أما في علم الفلك فيتجسد في النجوم التي ترسم دائرة حول المحور الأرضي في أربع وعشرين ساعة. فالحركة الدائرية المنتظمة مخصصة للأجرام السماوية. ولكن للأسف تضيف «رحالة السماء» ما يتنافر مع لوحة الكمال. فمن يعكر صفو هذه اللوحة هي الشمس والقمر، بالإضافة إلى عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل؛ وهي الكواكب الخمسة[٤] التي عرفها القدماء.

ومقارنةً بالنجوم المسماة بالنجوم الثابتة، تتحرك الأجرام السماوية السبعة من الغرب إلى الشرق. ولا تكتفي بالتحرر من الوصاية النجمية فتقوم بعدد من العجائب،

والأمر ذاته للشمس والقمر اللذين لا يمكن أن يلومهما القدماء إلا على سرعتهما المتغيرة. لكن الكواكب تحصل على حريات محيرة جدًّا، فقد تبطئ من حركتها أو تتوقف ثم تتحرك من جديد في اتجاه معاكس خلال بضعة أيام أو بضعة أسابيع. فتكون حركتها إذن تراجعية (شكل ٥-١). هذا ليس كل ما في الأمر. فيبدو أن الكوكبين السفليين عطارد والزهرة يدوران حول الشمس، فأحيانًا يسبقان نجم النهار وأحيانًا أخرى يتأخران عنه، ولكنهما يتبعانه ككلب صغير يقفز حول سيدِه. ويجب في الأساس ألا يكون هذا التناغم صعب الإيضاح. لكن قرب الشمس يذهل المراقب الذي لا يرى الكوكب السفلي إلا في الفجر قبيل شروق الشمس أو في الغسق بعد غروبها مباشرةً، شريطة أن يكون بعيدًا بالقدر الكافي عن نجم النهار. ربما كان فيثاغورس أول من اكتشف أن فوسفوروس «حامل الضوء» وهسبيروس «نجم المساء» هما تحوُّلان للنجم ذاته: الزهرة.

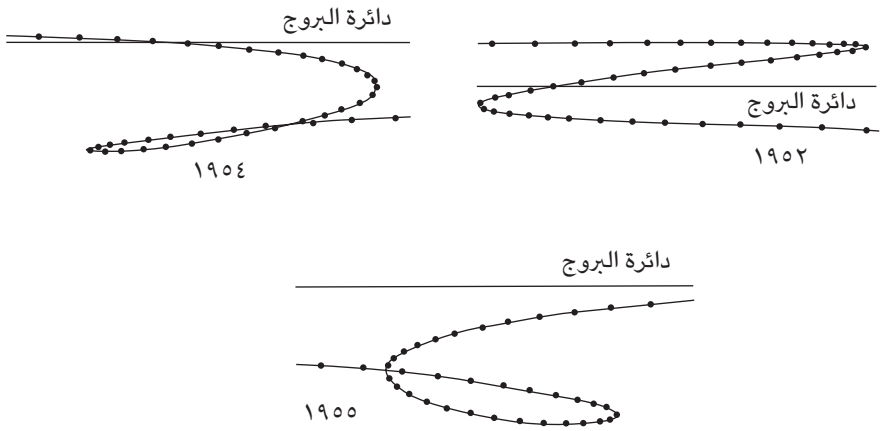
قد يكون تصرف رحالة الفضاء فضيحة من وجهة نظر أفلاطون إذا لم تكن قناعاته الفلسفية مرسخة بصورة عميقة. فهو يؤكد أنه من طبيعة الأجرام السماوية أن ترسم حركة دائرية بسرعة منتظمة. وإذا امتنعت الكواكب عن القيام بهذه الحركة، فذلك ليس لأن قناعات أفلاطون خطأ، بل لأن علماء الفلك لم يستطيعوا ملاحظة ما يتعين عليهم رؤيته. فرجل العلم يسعى إلى وصف العالم بحالته وفهمه، أما أفلاطون الفيلسوف فيسعى إلى إثبات أن العالم يتصرف مثلما قرر هو الفيلسوف.

في كتاب «القوانين» يعلن أفلاطون أن «[...] كل كوكب يتحرك بطول المسار ذاته، فتنوع الكواكب ليس إلا ظاهريًّا ...» وهكذا يُعَرِّف أفلاطون «منهج بحث» لتلاميذه ولمن يأتي بعده، فيأمرهم بإثبات أن حركات الكواكب هي في الحقيقة مزج بين حركات دائرية منتظمة مما يؤكد طابعها الكمالي. وفي النهاية يحدد أفلاطون، انطلاقًا من سلطته، الهيكلَ العام للساعة السماوية. ويترك لخلفائه تفاصيل التحقيق. ستستمر المهمة ...

استمرت حتى القرن السادس عشر.

(٤) التلاميذ الأوائل لأفلاطون يطبقون منهجه

حتى إذا كانت القناعات الفلسفية لأفلاطون هي التي وضعت هذا المنهج، يجب الاعتراف بأن قناعات خلفائه الذين طبقوه كانت لها مكانتها. وأول تلاميذه يُدعى أودكس ويُعرف خاصة أنه صاحب نظرية الكرات موحدة المركز،[٥] التي تمثل «المحاولة الأولى لإعادة إنتاج الظواهر السماوية بطريقة الرياضيات.»[٦]



شكل ٥-١: مسار المريخ تم رصده على القبة السماوية خلال ثلاث حركات تراجعية مختلفة. تتطابق نقطتان متتاليتان مع ملاحظات منفصلة على مدار أربعة أيام.

يعد أودكس الكنيدوسي (حوالي ٤٠٨–٣٥٥ قبل الميلاد) تلميذًا لأفلاطون. فقد تخيل قبة فلكية افتراضية تتكون من ٢٧ كرة تتمركز كلها حول الأرض، ومن شأنها إعادة إنتاج حركة الأجرام السماوية. ولا يهتم أودكس بالطبيعة المادية الافتراضية لهذه الكرات السماوية. ولم يكن يمكن أن تعمل الآلية بالطريقة التي وُضعت بها؛ لأن الكرات كانت ستتداخل. فكل شيء لم يكن إلا خدعة رياضية تهدف إلى إعادة إنتاج حركة الكواكب، أو إلى إنقاذ الظواهر مثلما كان يقال في ذلك الحين. ونظرًا لعدم دقة الملاحظات الفلكية التي كان يمتلكها أودكس، يَعتبر المؤرخون نظامه رائعة من روائعه. فإن لجوء أودكس إلى سبع وعشرين كرة لضبط نظامه على حركة الأجرام السماوية يكشف صعوبة الإجراء الرياضي، لا سيما أن تلميذ أودكس وخليفته كاليب أضافا سبع كرات لكي يكون الاتفاق بين النظرية والمراقبة أفضل.[٧]

يقوم علماء الفلك اليوم بصورة مستمرة بنشاط مماثل لنشاط أودكس وكاليب، باختلاف أنهم يستبدلون بالكرات موحدة المراكز أنظمة مبرمجة.

بعد سقراط وأفلاطون جاء أرسطو (حوالي ٣٨٤–٣٢٢ قبل الميلاد) أحد الفلاسفة الثلاثة الكبار في اليونان القديمة. قضى أرسطو طفولته في بيلا عاصمة مقدونيا، حيث كان والده طبيبًا وصديق الملك أمينتاس والد فيليب الثاني، الذي فرض وصاية مقدونيا

على اليونان مدة قرنين بعد انتصاره في معركة خيرونيا عام ٣٣٨، ثم فرضت روما سيطرتها. وفي سن السابعة عشرة غادر أرسطو إلى أثينا ودخل الأكاديمية وهي مدرسة أفلاطون الذي سبقه بثلاثة وأربعين عامًا. يُعرف عن أرسطو أنه رجل محترم وودود في الحياة الخاصة والعامة على حد سواء. ولكن بسبب طفولته المقدونية كان مشتبهًا به في أعين اليونانيين. ثم كلفه فيليب بأن يكون معلم الإسكندر. فأشرف أعظم علماء القدم على تربية حاكم الكون في المستقبل ... وبعد عامين من انتصاره في خيرونيا قُتل فيليب، فعاد أرسطو إلى أثينا حيث أسس مدرسته الخاصة التي تركها بعد موت الإسكندر.

يعد أرسطو فيلسوفًا ولكنه أيضًا عالم كوني. وعلى غرار علوم أخرى عديدة تناول علم الفلك، ولكنه ليس المجال الذي كان فيه أكثر براعة.[٨] فقد استأنف أفكار أفلاطون واضعًا عليها توابله الخاصة: «أُحب أفلاطون لكن أحب الحقيقة أكثر.» وفصل بين «العالم السماوي» الذي تنتمي إليه الأجرام السماوية و«عالم ما تحت القمر» الذي ننتمي إليه للأسف. كل شيء يفرق بين هذين العالمين حتى المادة التي يتكونان منها وحركة الأجسام التي يحتويان عليها. ففي العالم السماوي تكون الحركة الوحيدة التي يمكن إدراكها هي الحركة الدائرية المنتظمة (الفصل العاشر). لا يمكن للتفرقة بين الأرض والشمس إلا أن تُعجب كبار علماء العصور الوسطى؛ فهي ستكون مصدر نجاح أرسطو لدى علماء الدين والفلاسفة، وستجعله أيضًا يستبدل بكرات أودكس الافتراضية كرات شفافة لكن حقيقية — وتكون غالبًا كرات بلورية — تدفع الأجرام السماوية في حركتها. ونتيجة لذلك اضطر أرسطو إلى تعقيد نظام كاليب، فوجد أمامه ٥٥ كرة غير مرئية ولكن ذات طابع مادي. كان يمكن أن يعمل ما هو أفضل من ذلك.

(٥) بطليموس آخر كبار علماء الفلك القدماء

ترك بطليموس آخر كبار علماء الفلك القدماء كرات أودكس واستخدم بدلًا منها دوائر مشتركة. وفي هذا الشأن ظل متمسكًا بعادات أفلاطون. ومن يتحدث عن أفلاطون يتحدث أيضًا عن هيبارخوس. يعد عالما الفلك الكبيران في الأزمنة القديمة عالمي رياضيات كبيرين أيضًا. واسمهما هيبارخوس النيقي (القرن الثاني قبل الميلاد) وكلاوديوس بطليموس (القرن الثاني بعد الميلاد). وعلى الرغم من أن ثلاثة قرون تفصل بينهما، فإنهما يمثلان ثنائيًّا؛ لأننا لا نعرف عملهما المشترك إلا عن طريق كتاب «المجسطي» لبطليموس الذي ألفه حوالي عام ١٥٠ بعد الميلاد، والذي ظل الكتاب المقدس لعلماء الفلك حتى القرن

السادس عشر. ويرى نجباور أنه «[...] لا يمكننا قراءة فصل واحد من كوبرنيكوس أو كبلر دون فهم كتاب المجسطي بإتقان.»

يكشف الاسم المهجن لكلاوديوس بطليموس أنه ولد في مصر عندما كانت مقاطعة تابعة للإمبراطورية الرومانية، فكلاوديوس هو الاسم اللاتيني لخليفة كاليجولا على رأس روما، وبطليموس هو الاسم اليوناني لمؤسس أسرة البطالمة التي حكمت مصر منذ وفاة الإسكندر. أما بطليموس عالم الفلك فلا نعرف عنه المكان أو الزمن المحدد لولادته أو وفاته. فقد عاش تحت حكم تراجان وهادريان وأنطونيوس بيوس وربما أيضًا مارك أوريل؛ أي في أكثر فترات الإمبراطورية ازدهارًا، وهي فترة «السلام الروماني». ويكتب المؤرخ جيبون عن أنطونيوس ومارك أوريل: «يمثل حكمُهما الفترةَ الوحيدة في التاريخ التي كانت فيها سعادة جموع الشعب هي الهدف الوحيد للحكومة.»[٩] هل يمكن تصديق جيبون؟ غالبًا ما يُعرض مثل هذا البرنامج ولكن نادرًا ما يتم تطبيقه. ففي الوصف القصير الذي يذكره سارتون عن بطليموس، يضيف هذه الأبيات المنسوبة إلى عالم الفلك: «أعلم أني فانٍ وزائل لكن عندما أنظر إلى السماء المرصعة بالنجوم ترتفع قدمايَ من على الأرض. فبجانب زيوس أبتلع رشفة من رحيق مشروب الآلهة.» يمكن أن نجد هذه الكلمات على واجهة المراصد الفلكية.

ولأن بطليموس كان يعيش في القرن الثاني، يمثل كتاب المجسطي النتيجة التي توصل إليها علم الفلك الإغريقي والفلسفة اليونانية[١٠] ويمثل أيضًا إرثًا لا يقدر بثمن للأجيال القادمة. وفي أثناء كتابته لم يكن مؤلِّفه يتخيل أنه سيظل فترة طويلةً المرجعَ لعلماء الفلك. وكان عنوانه باليونانية يعني «الخلاصة الرياضية»، ففي هذا العصر كان علم الفلك فصلًا من الرياضيات. وكان خلفاء بطليموس اليونانيون يطلقون عليه «ميجالي» ثم «مجسطي سينتاكيس»؛ أي «الخلاصة الكبيرة»، ثم «الخلاصة الكبيرة جدًّا». ثم أخذ العرب صفة «مجسطي» وزينوها بحرف «أل» واضعين بذلك بصمتهم الخاصة، فيذكروننا هكذا بأهمية عاداتهم. ويمثل كتاب المجسطي للقدم معادلًا لكتاب «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» لنيوتن. ويمثل هذا العمل أيضًا ملخصًا للمعارف الفلكية في زمن بطليموس، ويقدم عرضًا لما نسميه «النظام البطلمي»؛ وهو بناء للعالم تحتل الأرض في وسطه المكانة المهيمنة، وهو ما يمثل بدقةٍ ما يلاحظه مراقب أرضي عندما يرفع أعينه؛ أي دوران القبة السماوية وحركة الرحالة السماوية السبعة.

(٦) دفاع عن فكرة ثبات الأرض في مركز الكون

لا يمكن إدراك دوران الأرض دون حجج قوية. فيقول بطليموس في كتاب المجسطي: «إذا سلمنا [أن الأرض تدور] فيجب أن نعترف بأن دوران الأرض قد يكون أكثر قوة من كل الحركات التي قد نلاحظها على سطحها، وقد يكون له أيضًا أثر مميز خلال فترة وجيزة، لدرجة أن كل الأجسام غير الثابتة قد تتحرك كلها الحركة ذاتها، في الاتجاه المعاكس. ولن نلاحظ أبدًا سحابة واحدة أو كل ما يطير [...] يتجه إلى الشرق؛ لأن الأرض ستتخطاه في حركتها ناحية الشرق، لدرجة أن كل هذه الأجسام قد تبدو أنها تتجه إلى الغرب.»[١١] تكررت هذه المعارضة بلا انقطاع حتى عصر جاليليو.

كان لدى القدماء سبب آخر لرفض حركة الأرض. فكانوا يتخيلون أنه لا بد من وجود قوة هائلة لتحريك مثل هذه الكتلة. ويُضاف إلى ذلك «حجة الشاقول»: فأينما كانت هذه الآلة البدائية، فهي تشير دائمًا إلى مركز الأرض، الذي كان من الطبيعي إذن تشبيهه بمركز الكون. فكان ذلك بمنزلة حجة قوية.

كان العالم الذي يعرفه اليونانيون واسعًا للغاية، لدرجة أنهم لم يكونوا يستطيعون أن يجهلوا أن خط الإسكندرية العمودي غير موازٍ لخط أسوان العمودي. وقد استفاد من ذلك عالم الرياضيات والجغرافي أراتوستينس القوريني (٢٧٦–١٩٤ قبل الميلاد) وهو أيضًا مدير مكتبة الإسكندرية، في قياس المحيط الدائري للأرض. فكان يعلم أن يوم الانقلاب الصيفي تمر الشمس بنقطة سمت أسوان التي تقع على مدار السرطان. وفي اليوم ذاته والساعة ذاتها وعلى خط الزوال نفسه ولكن في مدينة الإسكندرية التي تقع في الشمال بصورة أكبر؛ تكون الشمس أكثر انخفاضًا في الأفق. وعندما قاس أراتوستينس في الإسكندرية ظِلَّ عصًا مغروسةٍ في الأرض بطريقة رأسية، حدَّدَ ما نسميه اليوم باختلاف خط العرض بين أسوان والإسكندرية. وبمعرفة المسافة بين هاتين المدينتين استطاع عالم الرياضيات أراتوستينس أن يحسب طول المحيط الدائري للأرض بتقريب جيد.

حتى وإن لم يكن لأراتوستينس وجود، فقد كانت حجج بطليموس قوية بالقدر الكافي لإثارة التخيل. ففي القدم لم يكن دوران الأرض ونظرية أرسطرخس عن مركزية الشمس للكون إلا تأملات مماثلة للنظرية الذرية لليوكيبوس وديموقريطوس، التي لم يتم إقرارها إلا بعد أبحاث مشتركة بين الكيميائيين في القرن التاسع عشر والفيزيائيين في بداية القرن العشرين.

يجب أن ندرك إلى أي مدًى يعد الموقف الذي يتمثل في وضع الأرض في مركز العالم طبيعيًّا. فإن كل طفل يجعل الكون يدور حول شخصه المفضل أو حديقته الصغيرة،

فتمتلئ الأرض بمراكز للكون، بعضها واسع مثل إمبراطورية الوسط (الصين)، والبعض الآخر صغير مثل وسط العالم الذي يتجسد لدى سكان بلاد الفود في حوض صغير مزود بمَصبَّين صغيرين ويتفرع من كلٍّ منهما نُهير. يصب النهير الأول في البحر المتوسط، بينما يمر الآخر بروافد ومصبات وينتهي بالضياع في بحر الشمال. ولكن كيف استطاع علماء الفلك القدماء أن يقروا بأن الأرض ليست إلا أحد أعضاء الكتيبة الكوكبية؟

(٧) النظام البطلمي

يرى بطليموس أن تكوين ما سيسمى فيما بعد بالنظام البطلمي هو بمنزلة تكوين رؤية خاصة للكون، وبالتحديد هو إيضاح القواعد التي تحكم حركة القبة السماوية؛ أي كرة الثوابت بالإضافة إلى الشمس والقمر والكواكب الخمسة التي كانت معروفة آنذاك.

تعد المهمة التي قام بها بطليموس كبيرة، فحركة الرحالة السبعة معقدة، ويعد أيضًا عدم انتظام ظواهر القمر مزمنًا، بالإضافة إلى كون الحركة التراجعية للكواكب تحديًا للخيال. وحتى الشمس حركتها غير منضبطة بما أن الفترة الشتوية التي تبدأ باعتدال الخريف وتنتهي باعتدال الربيع هي أقصر بثلاثة أيام عن الفترة الصيفية المكملة. ولكن يرى علماء الفلك أن الكواكب هي التي تمثل الأهمية الكبرى، فإن كانوا يراكمون بلا حدود كراتِ الأجرام السماوية، فذلك له أسبابه؛ وهي زيادة دقة النماذج الكوكبية.

كان لنظرية الكرات عيب آخر؛ فقد كانت غير قادرة على إعادة إنتاج التغيرات المتقطعة لضياء الكواكب، وهو ما كان يُفسَّر سابقًا بأنه نتيجة لتغير مسافتها. وللتغلب على هذا العيب كان يجب أن تُستبدَل بالكرات خدعةٌ مختلفة وقادرة على إعادة إنتاج الملاحظات الماضية والحاضرة والمستقبلية بأفضل صورة ممكنة. إن تواضع بطليموس تجاه الملاحظات هو سلوك رجلِ علم حقيقي، حتى وإن كان هذا التعبير لا مرادف له في عصره.[١٢]

يعد مبدأ نظام بطليموس بسيطًا. فإن كل كوكب بدلًا من أن يقوم بحركة دائرية حول الأرض، يدور بسرعة منتظمة على «فلك التدوير»،[١٣] وهو دائرة يتحرك مركزها حول دائرة أخرى وهي الدائرة الناقلة (شكل ٥-٢). وتهدف هذه الآلية إلى إعادة إنتاج الحركة التراجعية للكواكب. وبينما يتقدم مركز فلك التدوير بطريقة منتظمة بطول الدائرة الناقلة، يبدو الكوكب ذاته للمراقب الأرضي أنه يتقدم أو يتراجع. إنه تأثير

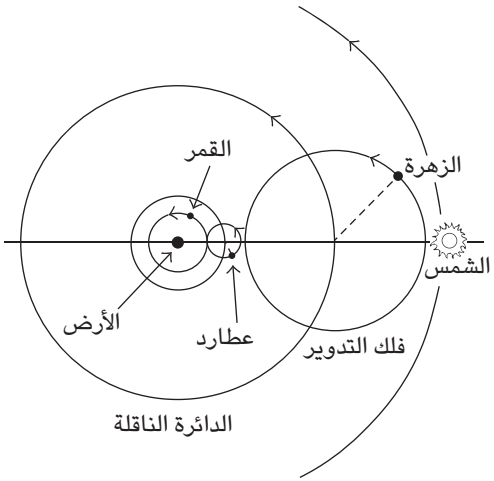
الأفق. تُمثل الأداة التي اخترعها بطليموس مكسبًا إضافيًّا. فبما أن الكواكب تتحرك على أفلاك تدوير، فلا يمكن أن تظل المسافة بينها وبين الأرض ثابتة؛ مما يفسر أيضًا تغير ضيائها.[١٤]

نميز في نظام بطليموس مجموعتين من الكواكب؛ فلا تلعب الكواكب السفلية، عطارد والزهرة التي تبدو أنها تدور حول الشمس، الدور ذاته الذي تقوم به الكواكب العلوية، وهي المريخ والمشتري وزحل. يؤكد الشكل ٥-٢ هذا الاختلاف في التصرف.

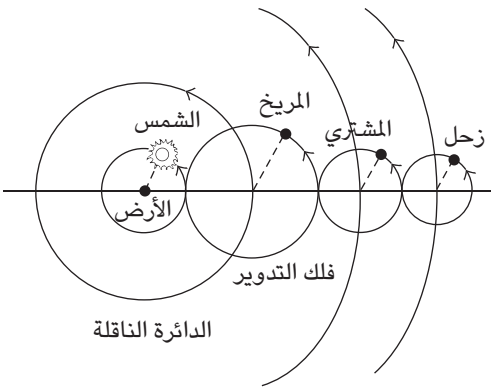
يتفق نموذج بطليموس عن الكون مع كرات أودكس في أنه يمثل قبة فلكية لا تُحرَّك عن طريق ذراع تدوير[١٥] أو بتزويد كهربائي، ولكن بواسطة مجموعة من الإرشادات الرياضية التي تسجل بدقة حركات الساعة السماوية، إلا أنه في أثناء تكوين نظامه حظي عالم الفلك السكندري بِحرِّية الاختيار؛ فمن أجل تحديد موقع كوكب ما، اختار بطليموس عشوائيًّا حجم فلك التدوير، فقد حُدد حجم الدائرة الناقلة فقط عندما تم هذا الاختيار. وتكشف حرية بطليموس في الاختيار عن جهله بالمسافة التي تفصل بين الشمس وكل كوكب.[١٦] فقد استفاد من هذا الأمر للقيام باختيار عشوائي: لا يغطي مداران لجرمين سماويين متجاورين أحدهما على الآخر،[١٧] وهو ما نراه جيدًا في الشكل ٥-٢. وأضفى بطليموس أيضًا الصبغة الرسمية على الرأي العام الذي يعتقد أنه عندما نبتعد عن الأرض نقابل على التوالي القمر وعطارد والزهرة والشمس والمريخ والمشتري.

(٨) مصادفات ذات مغزًى

في المقابل تعد الملاحظة هي التي تقرر أن مراكز أفلاك التدوير لعطارد والزهرة تقوم بحركتها على الدائرة الناقلة في عام بالضبط،[١٨] والملاحظة هي التي تتطلب أيضًا أن تكون فترة دوران كل كوكب علوي بطول فلك تدويره مساوية لعام. فبطليموس ليس مسئولًا عن أي شيء. لكنه يتعين عليه أن يكون منتبهًا للغاية لهذه المصادفة التي لا تتوقعها على الإطلاق الافتراضات التي وُضعت في أثناء تكوين النظام البطلمي. وقد أثبت لنا ذلك تاريخ العلوم مرات عديدة، فنادرًا ما تكون المصادفات بريئة. فمثل كاهنة معبد دلفي، عندما تبعث إلينا الطبيعة رسالة مشفرة فهي تستخدم لغة المصادفات التي قد تفسر العديد من الأشياء في علم الفلك والعديد من المجالات الأخرى. ويعطينا القمر ثلاثة أمثلة.



(أ)



(ب)

شكل ٥-٢: شكل تمثيلي للنظام البطلمي. بدلًا من أن يدور كل كوكب بصورة مباشرة حول الشمس، يتحرك على فلك تدوير يدور مركزه بطول الدائرة الناقلة، وهي دائرة متمركزة حول الأرض مثل المدار الشمسي. يكون الكوكب داخليًّا (أ) أو خارجيًّا (ب) وفقًا لنصف قطر دائرته الناقلة إذا كان أصغر أو أكبر من نصف قطر المدار الشمسي. واختار بطليموس حجم أفلاك التدوير بطريقة لا تجعل مدارات القمر والكواكب المتتالية يغطي بعضها على بعض. وفي الرسمين تتمركز أفلاك التدوير حول خط أفقي واحد لكي يظهر حجم كلٍّ منها بصورة أفضل. ولا يعد القياس متساويًا بين الرسمين (أ) و(ب).

يكون اتساع حركة المد والجزر أهم عندما يكون القمر بدرًا أو محاقًا مقارنة بالتربيع الأول والثاني. ويمكننا التحقق من ذلك بسهولة بالرجوع إلى جداول المد والجزر. وتتعلق المصادفة الثانية بالوجه الذي يتعنت القمر في أن يخفيه عنا بتقديمه لنا أفضل صورة له منذ بداية التاريخ. لهذه الميول الغريبة سبب بسيط: يدور القمر حول الأرض وحول مداره في الوقت ذاته. وتخص المصادفة الأخيرة تَساوي القطر الظاهري لكلٍّ من القمر والشمس، وهو ما يترتب عليه أنه في أثناء الكسوف الكلي للشمس يكون القرص الشمسي تارة محجوبًا وتارة أخرى مرئيًّا في شكل حلقة رفيعة، وهو ما يسمى بالكسوف الحلقي.

وفيما يتعلق بالمصادفة الأولى تعد الرسالة التي تنقلها إلينا الطبيعة جلية: إن الربط بين المد والجزر وثنائي القمر–الشمس هو ملمح من ملامح علاقة معقدة؛ وهي علاقة سبب ونتيجة. ولا يمكن أن نرد المصادفة الثانية إلى الصدفة البحتة. وإذا كان ذلك هو الحال، فإن فترة الدوران القمري حول نفسه وفترة دورانه حول الأرض لن تتطابق إلا باختلاف ١٪ أو ٠,١٪ أو حتى ٠,٠٠٠٠١٪، لكن لن تستطيع الفترتان أبدًا أن تكونا متساويتين بالضبط. إلا أن هذا ما يحدث! وفي مثل هذه الحالة لا يمكن قبول كلمة مصادفة. فبلا أدنى شك توجد آلية فيزيائية. ويعتقد البعض أنه في بداية تاريخِ ثنائي الأرض–القمر كانت هاتان الفترتان مختلفتين. وإذا كانتا متساويتين اليوم، فذلك نتيجة لتأثير العمل المعقد للنجمين كلٍّ على الآخر، وخاصةً بواسطة المد والجزر. وفي المقابل، فيما يتعلق بتَساوي القطر الظاهري لكلٍّ من القمر والشمس، فنحن هنا بصدد مصادفة حقيقية. فبسبب ابتعاد القمر عن الأرض باستمرار (الفصل الأول)، من المرجح أن نسبة الكسوف الحلقي ستزيد ببطء في المستقبل، لكن بلا شك لن يوجد أحد لملاحظته.

وفيما يخص النظام البطلمي يمكننا أن نرد إلى الصدفة البحتة فكرةَ أن الدوائر الناقلة لعطارد والزهرة وأفلاك تدوير الكواكب العلوية تُرسم كلها في عام. وبعد ثلاثة عشر قرنًا استطاع كوبرنيكوس أن يستفيد من هذا الأمر.

(٩) حكم التاريخ

«لا يمكننا أن نتجنب الشعور بالاشمئزاز العميق حيال نظام بطليموس، فمَن أعده هو مدعٍ للمعرفة، يملك صبرًا واسعًا ولكن يفتقر إلى الابتكار، وهو أيضًا يكدس بتعنت كئيب كرةً فوق كرة.» تلك كانت كلمات آرثر كوستلر في مقال «السائرون نيامًا». يعد هذا

الحكم صاعقًا ووقحًا؛ فهو يُدين في ثلاثة أسطر ساخرة عالِمَ رياضيات ظلت الإنسانية جمعاء على مدار قرون عديدة تجعل باحترام من كتابه المجسطي الكتاب المقدس لعلم الفلك.[١٩]

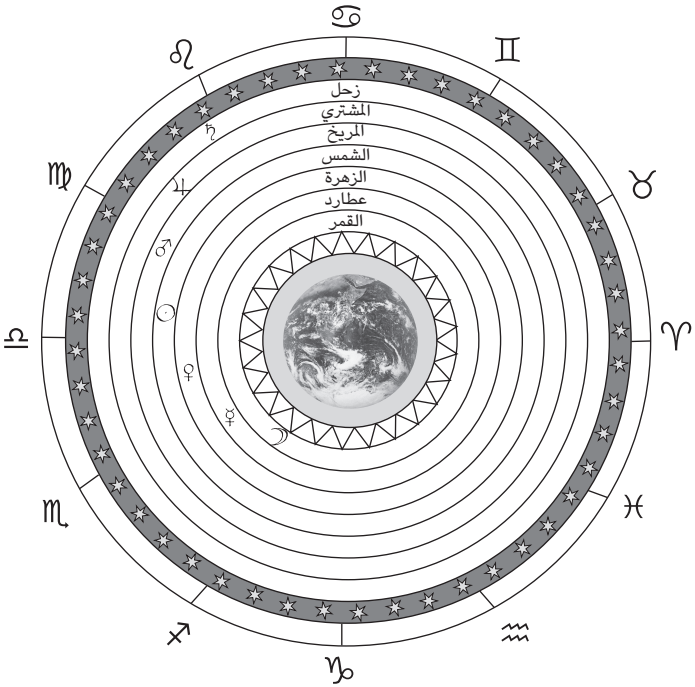
يعد الشكل التمثيلي للنظام البطلمي المبين أعلاه غير مكتمل حقًّا. فمن أجل إعادة إنتاج الحركة الظاهرية والمعقدة للغاية للقمر والشمس والكواكب جمع بطليموس الحيل: «دوائر مختلفة المركز» و«نقاط إيكوانت»، بالإضافة إلى العديد من أفلاك التدوير الإضافية. ويشوه هذا الانتشار للركائز الهندسية النظام البطلمي، ويوحي بأن بطليموس سار في اتجاه خطأ. ففي العلوم الدقيقة تكون أي فكرة خصبة بسيطة بصورة عامة، فهي تُدخِل النظام على فوضى الملاحظات. أما التنقيحات التي أُجبر بطليموس على إدخالها في نظامه فهي ليست في مصلحته. وفي المقابل، كان بطليموس بفضل جدارته قادرًا على التنبؤ بحركة كل الأجرام السماوية لفترات طويلة في المستقبل. فالفرق بين المواقع المحسوبة والملاحظة لا يتعدى مطلقًا درجتين قوسيتين؛ أي أربعة أقطار شمسية ظاهرة، وهو ما يعد تحسنًا كبيرًا مقارنة بالأنظمة الأقدم منه، ولا سيما نظام أودكس.

وفي المقابل يوجد عيب أساسي في نظام بطليموس لن يُدرك إلا بعدها بقرون عديدة. فإن كل كوكب يدور على فلك تدويره حول نقطة هندسية متحركة بالطبع، ولكن دون ركيزة مادية: فلا يحتلُّ أيُّ جسمٍ مركزَ فلكِ التدويرِ. فلماذا يختارها الكوكب مركزًا لمساره؟ إلا أن ذلك يعد معارضةً حديثة لم تؤثر على بطليموس. ففي العصر الذي كان يعيش فيه لم يكن نظام الدوائر الناقلة وأفلاك التدوير إلا حيلة مخصصة لإعادة إنتاج حركة الأجرام السماوية بصعوبة. ولا يبحث القدماء بالضرورة عن سبب للظواهر الطبيعية بالمعنى الذي نقصده اليوم.

إذا كان نظام بطليموس قد ظل قائمًا فترة طويلة، فذلك لأنه كان قويًّا. ويجب أن نشهد بامتناننا لدور العلماء العرب الذين حافظوا عليه ثم نقلوه بدقة للأجيال التالية (شكل ٥-٣).

(١٠) أرسطو والدكتور الملائكي

نُسيت أعمال اليونان القديمة تقريبًا في العصور الوسطى. وفي أثناء غزو إسبانيا من جديد اكتَشفت أوروبا الغربية تدريجيًّا العديدَ من الترجمات التي قام بها العلماء العرب للمخطوطات القديمة، وهو إرث أنتج منه الغرب ثمارًا منذ القرن الثالث عشر



شكل ٥-٣: نظام هندسي مثلما كان يتم تمثيله في نهاية القرون الوسطى. يمكننا اعتباره تبسيطًا لمفهوم أرسطو. فإذا أخذنا بعين الاعتبار كرة الثوابت المخصصة للنجوم و«الحركة الأولى» المحرك السماوي للكرات الكوكبية، يكون عدد الكرات تسعًا. وسيتناول دانتي من جديد الكرات ليشكِّل منها الجنة التي سيجعل أرواح النخبة تسكنها.

بفضل «الدكتور الملائكي»، عالم اللاهوت والفيلسوف الإيطالي القديس توما الأكويني (١٢٢٨–١٢٧٤)، الذي قام بالتوليف بين الفلسفة الأرسطية والعقيدة المسيحية.

كان دانتي أليجييري عمره تسع سنوات عند وفاة توما الأكويني. وتعد «الكوميديا الإلهية» التعبير الشعري عن التوليف الذي قام به. فتتكون الجنة من تسع سماوات أو كرات متحركة، تتطابق بالتوالي مع القمر وعطارد والزهرة والشمس والمريخ والمشتري وزحل والنجوم الثابتة و«الحركة الأولى». وتكون الملائكة هي التي تتولى القيادة.

تذكِّر السماوات التسع للجنة بكرات أرسطو، باختلاف أن كرات أرسطو كانت أكبر عددًا. كان يتعين إذن تبسيط الأمور.

تمثل جنة دانتي النسخة المخففة لعالم الكرات السماوية (شكل ١٠-٤). وتلائم هذه الرؤية للكون بالضبط كبار العلماء. وكان المولعون بعلم الفلك وحدهم هم من لم يستفيدوا من هذه الرؤية، لكن كان يمكنهم دائمًا اللجوء إلى بطليموس الذي تندرج أعماله بالكامل في التوليف الغريب، الذي قامت به العصور الوسطى بين العقيدة المسيحية والتعاليم الأرسطية. فيَعتبر النظام البطلمي أن «الأرض مركز الكون»؛ ولهذا السبب فهو ملائم للغاية للفصل بين العالم السماوي وعالم ما تحت القمر. أما الكنيسة التي عارضت بشدة نظرية مركزية الشمس للكون، فقد تغاضت عن أفلاك التدوير والدوائر الناقلة، فهي كانت قد وجدت بصعوبة نصًّا في الإنجيل (الإصحاح السادس) يُدين نظرية مركزية الشمس للكون، لكنها كان يصعب عليها ذكر آية واحدة من الكتاب المقدس تُدين حيل بطليموس الهندسية. وفي أثناء محاكمة جاليليو، لم يكن ضروريًّا التفرقة بين تلاميذ أرسطو وعلماء الفلك الذين يستشهدون ببطليموس.

النهضة

الفصل السادس

زوجتي وحماتي

علمت [...] أنك أسست مذهبًا جديدًا عن العالم وهو يتمثل في أن الأرض تتحرك بينما تحتل الشمس المكان الأكثر انخفاضًا، ومن ثم هو المكان الأكثر مركزية للكون [...] لذا أطالبك أيها العلامة أن تخبر العلماء على الفور باكتشافك هذا [...].

رسالة إلى كوبرنيكوس من نيكولاس سكونبرج
كاردينال مقاطعة كابوا، ١٥٣٦

(١) زوجتي وحماتي

هل هي شابة أنيقة تشيح بوجهها ابتعادًا عنا، أم ساحرة عجوز تضحك وهي تنظر إلينا؟ تعد المرأة التي رسمها دابليو إي هيل في عام ١٩١٥ المثال التقليدي لصورة غامضة (شكل ٦-١).

نطلق أحيانًا اسم انعكاس بصري على العملية العقلية التي عن طريقها يتحول إدراكنا فجأة من تفسير إلى آخر. فلا نملك الحرية الكاملة في اختيار ما إذا كانت المرأة المرسومة بهذه الطريقة تثير بداخلنا بهاء الربيع بدلًا من العجز المقلق للشتاء. عندما نثبت الرسم سنجد دائمًا الصورة ذاتها، ولكن تفسيرنا يتبدل كل حين من الجمال إلى القبح ومن الشراسة إلى اللطف. وتُستبدل بالشابة عجوزٌ فظة، ثم تترك العجوز مكانها من جديد لريعان الشباب.

شكل ٦-١: لوحة زوجتي وحماتي، دابليو إي هيل (١٩١٥). يَرِد هذا الشكل باستمرار في الأعمال المخصصة للصور الغامضة. فإذا نظرنا إليها فسنرى تارة شابة أنيقة وتارة أخرى ساحرة عجوزًا. يتم الانتقال من الرؤية إلى الأخرى فجأة.

قام راسم هذه اللوحة الغامضة بتسميتها بمكر «زوجتي وحماتي»؛ لكي يذكرنا أن الوقت يلعب بالشيء ذاته كما يحلو له، وأوشح اللوحة بالسواد عندما جعل من الحماة عجوزًا فظَّة تخلت حتى عن:

> [...] هذا البريق المصطنع الذي كانت تعتني برسمه وتزين وجهها به لإصلاح الإهانة التي تسببت فيها السنوات، والتي لا يمكن إصلاحها.
>
> «أنطالي»، جون راسين

تتباين المدة التي تفصل بين انعكاسين بصريين. وقد تجتمع لدى من يتأمل الصورة كل الظروف الملائمة لحدوث انعكاس. فعلى سبيل المثال قد ينظر إلى اللوحة من نقطة حساسة يكتشفها بمفرده، ولكنه لا يستطيع التحكم دائمًا في حدوث انعكاس للصورة. ويجدر الذكر بأنه لا يوجد أي وضع وسيط بين الرؤيتين، فلا يمكن أن يجتمع ريعان الشباب مع عجز الشيخوخة. فعقلنا لا يمارس تراكب التفسيرات بعضها على بعض، ففي أثناء تحليله للمعلومة التي توفرها له العين، يظل متماسكًا بصورة تامة.[١]

تنطبق استعارة الصورة الغامضة على بعض الثورات العلمية، ولكن لا توجد حالة أفضل من ثورة كوبرنيكوس يمكن تطبيقها عليها. فقد جعلت من الأرض، التي كانت وفقًا للمفهوم القديم تعتلي العرش في وسط الكون، مجردَ تابع يدور حول الشمس الملكة.

(٢) عالم رياضيات كبير جاء من بولندا

في وقت اكتشاف أمريكا كان عالم الرياضيات والفلك البولندي (١٤٧٣–١٥٤٣) نيكولاس كوبرنيكوس لا يزال طالبًا.[٢]

لم يكن آرثر كوستلر في مقال «السائرون نيامًا» ينتقم فقط من بطليموس، بل كان يوزع عشوائيًّا المجاملات والنقد على صانعي تاريخ العلوم، ولكن كان عدوه اللدود الذي انهال عليه بالنقد هو بلا جدال كوبرنيكوس. ففي عنوان الفصل الذي يخصصه له يعامله على أنه كاهن جبان، وذلك لا شيء مقارنة بالعيوب العديدة التي أبرزها فيه. وعندما صار كوبرنيكوس عضوًا في كاتدرائية مقاطعة فارمينسكي[٣] بشمال بولندا كان يعيش في حجرة كئيبة، وأصبح محيرًا عندما ادعى أن فارمينسكي تقع على حافة نهر فيستولا، في حين أن المدينة ليست قريبة إلا من أحد أصغر سواعده. وعلى الرغم من دخله المادي الكبير، تخلَّى عن شراء أدوات مراقبة ملائمة، ففي شبابه خشي أن يغامر خارج أسوار توران التي ولد بها. وأخيرًا وفي مواجهة الشخصية القوية التي يتسم بها عمه لوكاس أسقف أرملاند،[٤] المقاطعة التي تسمى أسقفيتها فراونبرج؛ أصبح كوبرنيكوس منعزلًا وبطيئًا ومتثاقلًا وخاضعًا. وكأن اللوحة لم تكن قاتمة بالقدر الكافي، وصفه كوستلر أيضًا بالمنافق؛ فقد أخطأ عندما تردد في نشر أهم أعماله «عن دوران الأجرام السماوية» بحجة واهية، تتمثل في أنه قد يصدم الكيان الكاثوليكي بالإعلان عن نظام تكُون فيه الشمس هي مركز الكون. وإجمالًا «فإن نصف قرن من التجارب المريرة

التي كانت تارة مأساوية وتارة كريهة، قد جعل منه عجوزًا مُنهكًا وكئيبًا ومعتادًا على الحذر والنفاق [...]» لن يمثل كل ذلك أي شيء إن لم يكن كوستلر قد وضع النقاط على الحروف: «ربما يكون كوبرنيكوس الأتفه من بين كل الشخصيات التي شكلت مصير البشرية بفضل جدارتهم أو بسبب الظروف.» وأضاف: «لا توجد شخصية تاريخية تركت عددًا أقل من الوثائق والرسائل والنوادر.»

إن انحيازك يا أستاذ كوستلر قد جعلك تنحرف عن المسار. فلا تحكم على كوبرنيكوس الإنسان، ولكن اكتفِ بالإعجاب بعمله، وهو عمل عالم رياضيات كبير يضعه إلى الأبد في مصافٍّ «مَن شكلوا مصير البشرية»، وهذا ما تعترف به أنت. وسواء أَشِئْتَ أم أبيت، كوبرنيكوس هو مَن غير رؤيتنا عن الكون. فكان القدماء يجهلون أن الصورة التي شكلوها عن الكون غامضة وأن رؤية الأرض ثابتة تتطابق مع رؤية العجوز في لوحة هيل.

لم يكن كوبرنيكوس مجردًا من المميزات مثلما يريد كوستلر أن يصور لنا، لكن تفتقد حياته حقًّا للأضواء. فإن عمه الذي يقوم بلا حياء بمحاباة الأقارب قد وفر له دخلًا بتعيينه كاهنًا لفارمينسكي، مع أنه لم يُبدِ قط رغبته في أن يسلك هذا الطريق. وقضى سنوات عديدة من شبابه في إيطاليا التي كانت المنارة الثقافية في عصره. واكتسب هناك معارف واسعة لا تقتصر على الرياضيات أو علم الفلك؛ فهو رجل قانون ودبلوماسي وطبيب ويُعترف أيضًا بموهبته في الإدارة. وإذا رفض المساهمة في إصلاح التقويم اليولياني، الذي لم يتم الانتهاء منه إلا في عهد البابا جريجوار الثالث عشر في عام ١٥٨٢، فذلك لأنه مقتنع بأن إصلاح الجداول الفلكية يجب أن يسبق إصلاح التقويم. ولكن الصورة الوحيدة المثيرة للاهتمام التي تبقى من حياة كوبرنيكوس ربما يكون مشكوكًا في صحتها، وهي صورة عالم الفلك العجوز ممددًا على فراش موته ويتلقى النسخة الأولى من كتابه «عن دوران الأجرام السماوية»، وهو مشروع حياة بأكملها.

كان العلامة كوبرنيكوس يسعى إلى الإتقان ويواظب على مراجعة كتابة عمله. فقد دفعته إرادته في التقدم الدائم إلى الحذر والحكمة. وربما كان ذلك هو سبب تردده طويلًا قبل نشر معتقداته عن مركزية الشمس للكون. وبالإضافة إلى ذلك قام كوبرنيكوس بالمراوغة عندما طالبه البابا كليمنت السابع رسميًّا بنشر نظريته، فقد كان البابا على دراية بأعماله. وقد رضخ في النهاية عندما اقترح عليه تلميذُه وصديقه رتيكوس — جورج يواقيم فون لوخن (١٥١٤–١٥٧٦) — مساعدتَه في نشر عمله. ففي

عام ١٥٤٠ قدم رتيكوس المخطوط إلى صاحب مطبعة لوثري من نورنبيرج. فكان من المستحيل الفصل بين الدين وثورة كوبرنيكوس.

فما هو إذن المحتوى الجوهري لهذا الكتاب؟ يؤكد كوبرنيكوس أن الأرض ليست مركز الكون، فهي تدور حول نفسها، وهي أيضًا على مدارٍ حول الشمس التي تحتل المكانة المميزة التي كانت مخصصة للأرض سابقًا. وبعبارة أخرى استبدل بنظرية مركزية الأرض للكون نظريةَ مركزية الشمس للكون.

(٣) المصادفة هي رسالة مشفرة ترسلها لنا الطبيعة

لم يكن كوبرنيكوس هو أول من تخيل حركة الأرض، وهو يعترف بذلك بكل سرور. ويؤكد على ذلك صراحةً في مقدمة كتاب «عن دوران الأجرام السماوية» بذكر ستة علماء فلك أو فلاسفة قدماء ذكروا هذا الافتراض، ولكنه تجنب الإشارة إلى أرسطرخس. وربما يرجع ذلك إلى أن عالم الفلك الساموسي لم يكن موثوقًا فيه بصورة كبيرة. فعندما يتعلق الأمر بعرض نظرية جديدة للغاية لا يُحبَّذ توجيه القارئ. فتتبقى فقط الغرابة الظاهرية لحركة الأرض والحجج التي تتعارض معها. فكيف نوفق بين خبرتنا اليومية ودوران مزعوم للأرض والسرعة الهائلة التي تنقلها إلى كل نقطة على سطحها؟ لا يبدو كوبرنيكوس معنيًّا بهذا الملمح من الأمور. فبدلًا من كونه فيزيائيًّا، وهو وضع لم يكن له وجود بعد، كان عالِمَ فلك بصورة بحتة، من النوع الذي يحسب أكثر من أن يراقب، والذي يفضل التأمل على التحقق، وهو ما لم يمنعه من الاعتماد على حجة قريبة من الحجة التي تناولها جاليليو باستفاضة وبطريقة أكثر وضوحًا ودقة بعد تسعين عامًا.

منذ أن بدأ كوبرنيكوس عمله اضطلع بمهمة استئناف عمل بطليموس. ومع احترام الحسابات التي قام بها عالم الفلك السكندري، فإنه قد مضت قرون عديدة، فتحتاج جداول العالم القديم إلى تعديل جذري. ولكن طموح كوبرنيكوس كان محدودًا، فقد أراد صقل واجهة المبنى الذي شيده سلفه ولم يفكر في هدمه لتشييد بناء جديد. واعتمد على أدوات بطليموس الرياضية، وعمل بالروح ذاتها، لكنه كان حذرًا من الإجراءات التي اتبعها، وفي حالة الضرورة أضاف إليها بعض الملاحظات الفلكية من بنات أفكاره.

وفي أثناء عمله سجل كوبرنيكوس نقطة دقيقة ذُكرت سابقًا. ففي نظام بطليموس، بعد مسح كل تفاصيله والإبقاء فقط على ما هو أساسي (شكل ٥-٢)، يدور كل كوكب على فلك تدوير يكون مركزه هو الآخر على مدارٍ حول دائرة ناقلة تتمركز حول الأرض.

ويُضاف إلى ذلك أيضًا حركة القمر والشمس اللذين يقعان على مسار دائري. إلا أن في مثل هذا النظام المبسط، والمكون من أربع عشرة دائرة، تُرسم ست منها في عام: الدوائر الناقلة لعطارد والزهرة وأفلاك تدوير الكواكب العلوية الثلاثة، ويجب أن نضيف إلى ذلك الدائرة التي ترمز إلى المسار الشمسي. وأي مصادفة من شأنها إثارة انتباه رجل العلم، فماذا عن مصادفة مُضاعَفة ست مرات؟ لا يوجد في نظام بطليموس ما يتطلب أن يُرسم مساران في الفاصل الزمني ذاته: فيمكن لمدة الدوران أن تكون غير محددة. إن فكرة امتلاك ست دوائر للقيمة ذاتها تبرهن بلا أدني شك أن البناء البطلمي به عيب. وربما تجلت هذه النقطة الدقيقة من افتراض ضمني؛ مما قد يفسر لماذا لم يفطن إليها علماء الفلك حتى هذه الفترة.

يسرد عالم الرياضيات الفرنسي جوزيف برتران قصة ملهًى كان قد اشترى طاولة قمار جديدة، لم يكن فيها ما يميزها ظاهريًّا، إلا أنه عندما نرمي الكرة الصغيرة عشرة آلاف مرة يظهر اللون الأحمر ٥٣٠٠ مرة والأسود ٤٧٠٠ مرة. وكان اللاعبون قد لاحظوا هذا الفرق واستفادوا من ذلك. فقرر الملهى تقديم شكوى ضد صانعها زاعمًا أن المصادفة ليست مسئولة عن تفضيل ظهور الكرة في اللون الأحمر. وكان ذلك بالفعل رأي المحكمة التي ردت هذا الانحراف الإحصائي إلى عيب صناعي.[٥]

إلا أن المصادفة المركَّبة المشار إليها في نظام بطليموس تثير الاهتمام بصورة أكبر. فهي تكشف عن ميزة هذا النظام. ألا تكون فترة العام التي يكتشف كوبرنيكوس أثرها في حركة الكواكب انعكاسًا لحركة معروفة جيدًا تستغرق بالتحديد ٣٦٥ يومًا؛ وهي الحركة الظاهرية للشمس حول الأرض؟ تفرض النتيجة نفسها على كوبرنيكوس. ليست الشمس هي التي تدور حول الأرض، بل كوكبنا هو الذي يدور حول نجمه دورانًا يستغرق عامًا بالتحديد! «أما الكواكب فنراها من الكرة الأرضية، لدرجة أن حركة الأرض تؤثر على الحركة التي نسبها إليها بطليموس.» ويتعين إثبات ذلك أيضًا.

قد يكون من الساذج أن نتخيل أن النظام الشمسي الذي تكون فيه الشمس مركز الكون مثلما نعرفه اليوم قد ألغَى كل المصادفات الرقمية. فقد ذُكرت أكثرها إثارة للاهتمام: إن فترة الدوران القمري حول الأرض مساوية لفترة دورانه حول محوره؛ لذا يُظهِر القمر دائمًا الوجه ذاته لسكان الأرض.

في النظام الشمسي ليست المصادفة الرقمية الخاطئة التي تؤثر على القمر فريدة من نوعها. فيتبع عطارد نموذج القمر باختلاف أن النسبة بين فترتي دورانه حول نفسه ودورانه حول الشمس هي ٢ / ٣، وهو رقم كسري بسيط. وتُلاحظ المصادفات أيضًا عندما نقارن ما بين كوكبين: فالنسبة بين فترتي دوران نبتون وبلوتو هي ٢ / ٣. تستحق هذه المصادفات أن تُفحص كلما كان أصلها محتملًا، وذلك خلافًا لما يحدث داخل الذرة.[٦]

(٤) الكنيسة في مواجهة علماء الفلك في عصر النهضة

إن إنكار ثبات الأرض هو بمنزلة الدخول في نزاع مع القراءة الحرفية للكتاب المقدس الذي يؤكد أنه في أثناء معركة ضد العاموريين أوقف يشوع بن نون الشمس لكي تطول مدة النهار:

يا شمس دومي على جبعون
ويا قمر على وادي أيلون!
دامت الشمس وتوقف القمر
حتى انتقمت الأمة من أعدائها.[٧]

وثمة ما يؤثِّر في قراء الكتاب المقدس! فكاتب العهد القديم يدرك ذلك جيدًا بما أنه أضاف: «لم يكن مثل ذلك اليوم قبله ولا بعده سمع فيه الرب صوت إنسان [...]»[٨] من وجهة النظر الرسمية يعد هذا المقطع من الإنجيل هو تقريبًا الوحيد الذي يمكن أن يفسر المواجهات بين الكنيسة ومناصري نظرية مركزية الشمس للكون. وكانت مهمة محكمة التفتيش تتمثل في مراقبة أي فرد ينشر أفكارًا متعارضة مع الحدث الغامض المذكور في سفر يشوع.

عندما كتب كوبرنيكوس «التعليق الصغير»، وهو مسودة كتاب «عن دوران الأجرام السماوية»، لم يكن لوثر قد عرض بعدُ أطروحاته الخمسَ والتسعين عن باب كنيسة فيتنبرج. فكان بينهما فارق ثلاث سنوات. وفي مجلس الثلاثين الكنسي الذي عُقد بين عامي ١٥٤٥ و١٥٦٣، والذي رفضت الطائفة الإنجيلية حضوره، بدأت الكنيسة الكاثوليكية في مناقشة وضع الإنجيل بعد أن شكلت حركة الإصلاح خطرًا عليها. فبينما يَعتبر الإنجيليون أن كل مؤمن يجب عليه أن يفسر الرسالة الإنجيلية بطريقته الخاصة،

عارضت الكنيسة الكاثوليكية بشدة هذا الوضع، واصفةً إياه بأنه قريب من الفوضى، وأعادت تأكيد قيمة العادات، واعتَبرت أيَّ انحراف عن العقيدة التي كونها آباء الكنيسة على مدار القرون هرطقةً. وبدأت حركة الإصلاح المضاد، وكانت هي التي شكلت تهديدًا على التلاميذ المستقبليين لكوبرنيكوس الذي تُوفي قبل عامين من بداية انعقاد المجلس.

نجا كوبرنيكوس من الاضطهاد لأنه سبق حركة الإصلاح المضاد. فقد شجعه البابا على نشر أفكاره بواسطة نيكولاس سكونبرج كاردينال كابوا. ولكن هذا لا يعني أن الطريق الذي سلكه كوبرنيكوس كان مفروشًا بالورود، بل تكشِف كل مواقفه إلى أي درجة كان يحترم تعاليم الكنيسة. فربما تتطلب نظرية مركزية الشمس للكون أن نعيد تفسير آيتي يشوع، ولكنها لا تهدد على الإطلاق أسس العقيدة المسيحية. ولم يقدم كوبرنيكوس حججًا قاطعة ضد مركزية الأرض للكون، ولكنه اكتفى بإظهار أن نظرية مركزية الشمس للكون توفر شرحًا أفضل لملاحظات بطليموس. وعلى أي حال، فإذا كان كوبرنيكوس يقترح إعادة قراءة حركة الأجرام السماوية، وإذا كان يؤمن بشدة بنظامه، فلا يمكن أن يعتبره حُماة العقيدة خطرًا. وفي حين أن لوثر تسبب في انفصال ثلث أوروبا عن الكاثوليكية، لم يتبع أحد كوبرنيكوس في البداية إلا تلاميذ غير نشطاء.

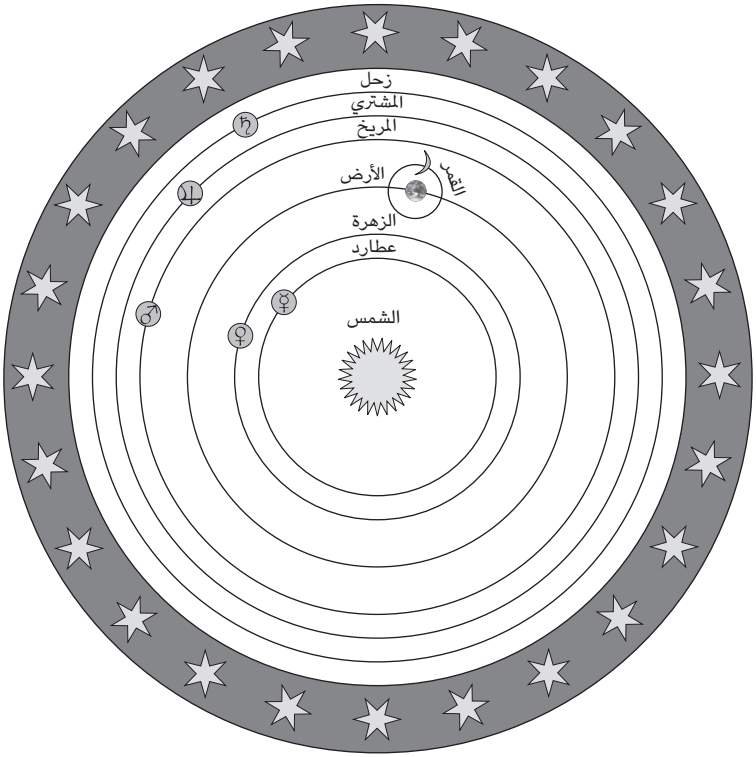
وكانت النتيجة: بعد موت كوبرنيكوس كان يتعين انتظار ثلاثة وسبعين عامًا قبل أن يتم تحريم كتاب «عن دوران الأجرام السماوية»، وتسعين عامًا قبل أن تُدين محكمة التفتيش جاليليو. ففي هذا الوقت رأت الكنيسة أنه ليس كتاب كوبرنيكوس هو الذي يمثل الخطر الأكبر، بل هو موقف جاليليو. «انقضى شباب [كوبرنيكوس] ونضجه في العصر الذهبي للتسامح الفكري: عصر البابا ليون العاشر حامي العلوم والفنون، وهو العصر الذي كان فيه أصحاب الرُّتَب العالية في الكنيسة يهتمون بالأفكار التحررية والمتشككة والثورية.»[٩] فقد كان جون دي ميديشي بن لورينزو الملقب بالرائع، قد تولى منصب البابا من عام ١٥١٣ إلى ١٥٢١ باسم ليون العاشر. وبعد عامين تسلم ابن عمه جوليو دي ميديشي تاج البابا، وسُمي بكليمنت السابع، وهو عصر حروب إيطاليا وذهول أوروبا عند التعامل مع النهضة الإيطالية. وفي كتاب «عن دوران الأجرام السماوية» يدرج كوبرنيكوس رسالة استلمها من روما في عام ١٥٣٦، وكانت تحمل توقيع كاردينال سكونبرج، وتشجعه بقوة على نشر اكتشافه الذي «[...] يتمثل في أن الأرض تتحرك بينما تحتل الشمس المكان الأكثر انخفاضًا، ومن ثم هو المكان الأكثر مركزية للكون.»[١٠]

عندما أخذت أفكار كوبرنيكوس في الانتشار لم يُبدِ الإنجيليون تسامحًا، فكانوا أول من أدان أفكاره باسم سفر يشوع. وبالرغم من رفضهم للعادات التي كوَّنها آباء الكنيسة، طالبوا بالعودة إلى القراءة الحرفية للإنجيل، وهو ما شجعوا الكل على فعله؛ فهُم ليسوا مستعدين لقبول أوهام شخص يُدعى كوبرنيكوس. ولكنه على الأقل موقف ينطوي على ميزة التماسك.

(٥) كوبرنيكوس يقيس المسافات الكوكبية

ربما كان كوبرنيكوس جبانًا، على حد قول كوستلر، لكنه بصفة خاصة صاحب نظرية مميزة قلبت التاريخ رأسًا على عقب. وبما أن كتاب المجسطي قد أقنعه بأنه يمكن تفسير مراقبة الأجرام السماوية بصورة أبسط إذا كانت الأرض تدور في أربع وعشرين ساعة حول نفسها وفي عام حول الشمس الثابتة، استبدل بالنظام البطلمي نظامًا جديدًا. فتخيل نفسه على هذه الشمس الثابتة، ثم تساءل ما قد يراه من هذا المرصد المميز، وانطلق من المعطيات التي وفرها بطليموس لحساب فترة دوران كل كوكب حول الشمس.[١١] ومرة أخرى، تثبت مقدرة كوبرنيكوس في القيام بهذا الأمر بنجاح أنه كان عالم رياضيات كبير.

قام كوبرنيكوس بما هو أفضل من ذلك؛ فجعل مما لم يكن في البداية إلا مجرد تعديل للنظام البطلمي نظريةً جديدة. فقد أظهر له الانتقال من المرجع الأرضي إلى المرجع الشمسي مفاجأة كبرى؛ يمكنه تحديد أنصاف قطر المدارات الكوكبية. ومن الحقيقي أن المسافات التي حسبها كوبرنيكوس لا يعبَّر عنها إلا بالاعتماد على المسافة بين الأرض والشمس، أو «الوحدة الفلكية» التي لا يعرفها كوبرنيكوس. وهكذا ظلت الملاحظات السماوية فترة أخرى طويلة لا توفِّر سوى مسافات نسبية؛ فلا يستطيع كوبرنيكوس أن يحدد حجم كل مدار بالفرسخ، إذا افترضنا أن هذا القياس الطولي كان مستخدمًا في ذلك العصر. وحتى اليوم عندما نمسح النظام الشمسي، وعلى الرغم من علمنا بالقيمة المطلقة للمسافة بين الأرض والشمس، نجد أنه من الأنسب التعبير عن المسافات بالوحدات الفلكية. وباستثناء هذا القيد يعد كوبرنيكوس هو أول من صنع نموذجًا مصغرًا للنظام الشمسي (شكل ٦-٢)، وأول من اقترح قيم المسافات التي تفصل بين الكواكب المختلفة والشمس.[١٢]



شكل ٦-٢: رؤية مبسطة لنظام كوبرنيكوس. لا تؤخذ بعين الاعتبار المسافات بين كل كوكب.

تقترب هذه المسافات من القيم المعترف بها اليوم التي ترد في الجدول ٦-١. ولأن كوبرنيكوس يقترح تنبؤات قابلة للاختبار من الأجيال القادمة، لم يكتفِ بالتأمل وأسس نظرية: «قيسوا بالوحدات الفلكية المسافات بين الكواكب والشمس، فستجدون أنها تتصادف مع القيم المقترحة في كتاب «عن دوران الأجرام السماوية»!»

جدول ٦-١: معطيات حول النظام الكوكبي. إن نصف المحور الكبير لمدارٍ كوكبي يعطي فكرة جيدة عن متوسط المسافة بينه وبين الشمس (الفصل التاسع). ولا تكون الفترة التي يستغرقها الكوكب ليقوم بدورة كاملة حول الشمس هي ذاتها إذا قسناها من الشمس — ونطلق عليها في هذه الحالة اسم الفترة الفلكية — أو من الأرض، وتُسمى حينئذٍ الفترة الاقترانية. يرجع السبب في اختلاف الفترة الفلكية عن الفترة الاقترانية إلى الحركة النسبية بين الأرض والشمس.

الكوكب	نصف المحور الكبير للمدار (بالوحدات الفلكية) (يساوي نصف المحور الكبير للمدار الأرضي وحدة فلكية)	مليون كيلومتر	فترة فلكية	فترة اقترانية (بالأيام)	النسبة بين مربع الفترة الفلكية (بالأعوام) ومكعب المسافة بين الكوكب والشمس (بالوحدة الفلكية)
عطارد	٠,٣٨٧	٥٧,٨	٨٨ يومًا	١١٦	١,٠٠٢
الزهرة	٠,٧٢٣	١٠٨,١	٢٢٥ يومًا	٥٨٤	١,٠٠٤
الأرض	١	١٤٩,٧	٣٦٥ يومًا	—	١
المريخ	١,٥٢٤	٢٢٧,٧	عام و٣٢٢ يومًا	٧٨٠	١
المشتري	٥,٢٠٣	٧٧٧,٦	١١ عامًا و٣١٥ يومًا	٣٩٩	٠,٩٩٩
زحل	٩,٥٤٠	١٤٢٥	٢٩ عامًا و١٦٧ يومًا	٣٧٨	١
—	—	—	—	—	

الكوكب	نصف المحور الكبير للمدار (بالوحدات الفلكية) (يساوي نصف المحور الكبير للمدار الأرضي وحدة فلكية)	مليون كيلومتر	فترة فلكية	فترة اقترانية (بالأيام)	النسبة بين مربع الفترة الفلكية (بالأعوام) ومكعب المسافة بين الكوكب والشمس (بالوحدة الفلكية)
أورانوس	١٩,١٨	٢٨٦٨	٨٤ عامًا و٧ أيام	٣٧٠	٠,٩٩٩
نبتون	٣٠,٠٧	٤٤٩٤	١٦٤ عامًا و٢٨٠ يومًا	٣٦٧	٠,٩٩٨
بلوتو	٣٩,٤٤	٥٩٢٠	٢٤٩ عامًا	٣٦٧	١,٠٠٤

فُقد الكتاب الذي وضع فيه أرسطرخس الشمس في مركز الكون، فنحن لا نعرفه إلا عن طريق ذكر كُتاب قدماء له، ولكنهم لم يقوموا إلا بتلميح بسيط. وأيًّا كان السبب، يتعين علينا أن نعتبر افتراض أرسطرخس مجرد اقتراح[١٣] مماثل لاقتراحات العديد من العلماء عندما يؤكدون أن الكون يضم حضارات متقدمة مثل حضارتنا أو أكثر منها تقدمًا؛ لذا من المنطقي أن نؤكد أن كتاب «عن دوران الأجرام السماوية» يتعمق في هذا الأمر أكثر من العمل الضائع لأرسطرخس.

(٦) ثوري بميول محافظة

لا يعد كتاب «عن دوران الأجرام السماوية» عملًا ثوريًّا بصورة كاملة. فتبين خبرتنا اليومية أن الأجسام الثقيلة تسقط نحو مركز الأرض وليس نحو مركز الشمس. كان ذلك حجة قوية يستخدمها القدماء للدفاع عن نظرية مركزية الأرض للكون. ولكن لا يترك كوبرنيكوس أي تفصيل صغير. فيؤكد أنه إذا فقدت الأرض مكانها في مركز الكون فهي تحتفظ بـ «مركز الجاذبية ومركز المجال القمري»، فيقع القمر بالفعل على مدار حول كوكب الأرض. ليس ذلك كل ما في الأمر. فلِكي يجعل نظامه متفقًا مع الملاحظات، استخدم كوبرنيكوس حيل بطليموس ذاتها. فبما أن المدارات السماوية ليست دائرية، قام بتثبيت بدائل هندسية على الدوائر التي من المفترض أن تمثلها، وثبت بصورة خاصة العديد من أفلاك التدوير. وكان كوبرنيكوس، شأنه شأن بطليموس، يحرص قبل كل شيء على إنقاذ الظواهر، وهو ما يعد مخالفة مؤسفة لعلم الجمال، وهي ليست المخالفة الوحيدة؛ ففي نظام كوبرنيكوس لا تعد المدارات الكوكبية متحدة المركز بالضبط.

وفي المجمل، ليست التقويمات الفلكية التي يمكن استخلاصها من نظام كوبرنيكوس أفضل من تقويمات نظام بطليموس. فتكشف مراقبة الشمس والقمر والكواكب عن اختلافات كبيرة مقارنة بالمواقع المحسوبة. كانت تلك الملاحظات كافية للانتقاص من قدر كوبرنيكوس بصورة دائمة لدى البعض، وهو ما يعد ظلمًا بينًا. فبالطبع لم يقدم كوبرنيكوس الجديدَ للملاحين الذين يحتاجون إلى جداول محددة لتحديد وجهتهم في البحر، ولكنه مهَّد طريقًا جديدًا؛ انتقل بفضله كبلر وجاليليو ونيوتن من اكتشاف إلى آخر.

ومن الطريف أن نذكر أن كوبرنيكوس لم يكن راضيًا بالكامل عن منهجه. ففي نظامه يعد وضع الأرض مميزًا؛ فهي الوحيدة التي تقوم بحركة دائرية منتظمة. وليس

ذلك كل ما في الأمر، فكوبرنيكوس لا يجعل المدارات الكوكبية متمركزة حول الشمس، بل حول مركز المدار الأرضي الذي يبتعد قليلًا مقارنة بالنقطة التي يحتلها نجم النهار.[١٤]

تحتفظ الأرض التي تخيلها كوبرنيكوس ببعض صفات الملكية التي سلبها منها تتويج الشمس.

(٧) الموسيقى قبل كل شيء

حدد كوبرنيكوس لنفسه هدفًا ضيقًا؛ فقد أراد بعد مرور ثلاثة عشر قرنًا على تكوين النظام البطلمي أن يزيل عنه غبار ما تسبب فيه الزمن. فاكتشف في أثناء هذه العملية عيبًا كبيرًا في هيكل بناء بطليموس وقام بمعالجة هذا العيب. ويعد نظام كوبرنيكوس أكثر جمالًا من نظام بطليموس بفضل بساطته المعمارية. فقد كان كوبرنيكوس يعتني به بنفسه؛ لأنه يرى فيه عمل الله. ويؤمن علماء الرياضيات والفيزياء بهذا التساوي بين البساطة والجمال، ولكنه لا يمكن إثباته. فلا يمكن تحديد كمية مثل تلك المفاهيم. لكن تظهر هذه القضية على الساحة مع كل ثورة علمية. فعندما وضع داروين الانتقاء الطبيعي وسط التطور، وعندما اكتشف ماكسويل العلاقة التي تربط بين علم البصريات والظواهر الكهربائية، وعندما توصل مندليف إلى وضع الأنواع غير المحدودة للعناصر الكيميائية الصلبة والسائلة والغازية في جدول واحد؛ فإنهم جميعًا يفرضون النظام على التنوع، وبذلك يخلطون الجمال بالعلم، ويقودوننا في الوقت ذاته إلى الاقتناع.

تمتلك ثورة كوبرنيكوس ميزة كبيرة، ربما لا يشعر بها بالضرورة كوبرنيكوس نفسه؛ فقد كانت كواكب بطليموس تدور حول نقطة هندسية وهي مركز فلك تدوير. ولكن من وجهة نظر الفيزياء الحالية يعد هذا الوضع مزعجًا ويتحدى كل التفسيرات. لكن ثورة كوبرنيكوس قضت على هذه العيوب أو ما يشبه ذلك. ومع ذلك لم ينتهِ بعدُ إصلاح البناء البطلمي. فإذا أردنا تحسين نظام كوبرنيكوس دون التشكيك في مبادئه، فقد يتعين علينا أيضًا مضاعفة الركائز الهندسية وإدخال أفلاك تدوير جديدة. وبالطبع وضع كوبرنيكوس الشمس في مركز حركة الكواكب. ولكن ما زال نظامه يفتقد إلى فكرة جديدة جذريًّا قد تقضي على تعقيد شديد تمثل أفلاك التدوير أحد مظاهره الواضحة.

يصعب مقاومة اللذة المُرة التي يثيرها ذِكر بعض عبارات كوستلر: «يقوم كوبرنيكوس من بعيد بدَور البطل الشجاع الثوري، ولكن كلما اقتربنا منه نجِدُه يتحول تدريجيًّا إلى مدعٍ للمعرفة وكئيب ومجرد من البصيرة ومن حدس السائرين

نيامًا من العباقرة الحقيقيين، فهو رجل استحوذ على فكرة جيدة، ولكن شكَّل منها نظامًا رديئًا بالعمل بصبر على تكديس أفلاك التدوير والدوائر الناقلة في الكتاب الأكثر كآبةً الذي تستحيل قراءته من بين كل الكتب الشهيرة.» ويستمر كوستلر بهذه الطريقة لصفحات عديدة. ففي مجال التاريخ أو السِّيَر الذاتية، يصعب فعل ما هو أسوأ من ذلك، فحقًّا لم يكن آرثر كوستلر مهيَّأً لفهم كاهن فارمينسكي، الذي ظل طيلة حياته وفيًّا لكنيسته وشغفه؛ وهو علم الفلك. فقد كان كوستلر مواطنًا مجريًّا أصبح بريطانيًّا ومحاربًا شيوعيًّا قديمًا يحرق في الصباح ما عشقه البارحة، وكان أيضًا كاتبًا يغير مرتين وسائل تعبيره عندما ينتقل من اللغة المجرية إلى الألمانية ثم إلى الإنجليزية، فهو لم يخرج من القالب ذاته الذي خرج منه كوبرنيكوس. فبدلًا من أن يضع نفسه في عصر كوبرنيكوس ويشير إلى النقاط التي كان مبتكرًا فيها، لم يرَ إلا النقاط السوداء.

يشهد عمل كوبرنيكوس ببراعته فهو ليس كاهنًا جبانًا بل ثوريٌّ عظيمٌ.

(٨) مقدمة أوزيندر

يُقال إن كوبرنيكوس استلم النسخة الأول من كتابه «عن دوران الأجرام السماوية» على فراش موته.

في عام ١٥٤٣، كان كوبرنيكوس شبهَ مشلول، وقد خارت قواه الفكرية ولم يستطع الإشراف على المخطوط الذي كان لا يزال في المطبعة في نورنبيرج. فحل محله رتيكوس، ولكنه أُجبر على مغادرة المدينة، فعهد بالمهمة إلى أندرياس أوزيندر، وهو عالم لاهوت لوثري كان يتابع باهتمام عمل كوبرنيكوس، خلافًا للوثر الذي كان يرى في كوبرنيكوس «مجنونًا كان يدعي أنه سيقلب علم الفلك رأسًا على عقب.» وكانت هذه المهمة التي تولاها أوزيندر تمثل لكوستلر ما أسماه «بأكبر فضيحة في تاريخ العلوم».

فمن أجل حماية كوبرنيكوس من عاصفة الكنيسة — أو الكنائس بما أنه كان إنجيليًّا — قرر أوزيندر أن يلطف من الطبق الذي يشرف على طهيه. فكتب مقدمة دون ذكر اسمه وأدرجها في العمل. ووضع لهذا التحذير عنوانًا: «إلى القارئ، فيما يخص افتراضات هذا العمل». وأكد أوزيندر فيها أن الافتراضات التي تتعلق بدور كلٍّ من الأرض والشمس «قد تثير استياء رجال علماء»، في حين أنها لا تهدف إلا إلى «حساب الحركات بصورة صحيحة في المستقبل، وأيضًا في الماضي وفقًا لمبادئ الهندسة.» وفي المقدمة ذاتها عرض أوزيندر حجةً، إذا كانت صحيحة فقد تدحض نظرية كوبرنيكوس.

ووفقًا لما ذكره أحدُ مَن كتبوا سيرة كوبرنيكوس، وهو إرنست زينر، قرأ كوبرنيكوس مقدمة أوزيندر قبيل موته واستشاط غضبًا بحسب ما يمكننا فهمه.

تتعلق حجة أوزيندر بالحجم الظاهري لكوكب الزهرة. فهو يقول إنه إذا كان نظام كوبرنيكوس صحيحًا، فربما يتعين على كوكب الزهرة أن يبدو عند مروره بين الشمس والأرض أكبر بأربعة أضعاف من حجمه الظاهر عندما تقع الشمس بين الكوكبين. وقد تكون هذه الحجة مقبولة إذا كانت الكواكب تشع ضوءها، ولكن هذه الحجة لا تصمد بما أن الكواكب تكتفي بعكس أشعة الشمس. وفي هذه الحالة يكون الجزء الذي تنيره الشمس مباشرةً من الكوكب هو الذي يعكس لنا ضوءه؛ فتمر الكواكب بأطوار مماثلة لأطوار القمر. وفي هذه الظروف يكون الضياء العام للكوكب مشروطًا بمسافته وطوره في آن واحد.

(٩) لم يتوفر الدليل حتى الآن

تفتقد نظرية كوبرنيكوس إلى عنصر أساسي وهو دليل صحتها. فمثل الشرطة الإجرامية لا وجود في العلم للدليل الذي لا يمكن دحضه، فلا نعرف إلا الدلائل المقنعة، والدلائل المقنعة بقدر صغير، والدلائل المقنعة للغاية، والدلائل التي لا يتنازع عليها أحد. فحتى في أثناء تحليل البصمات الوراثية، يمكن أن تكون الخلايا المفحوصة قد تلوثت أو أن تُستبدَل عينة بأخرى. وحتى حالة التلبس هي الأخرى لا تمثل دليلًا مطلقًا؛ إذ قد يكون الشاهد ضحيةَ وهْم أو مخدوعًا من مشهد ما.

وتشهد على ذلك قضية لاندرو. كان هذا النصاب الذي عاش في بداية القرن العشرين متزوجًا وأبًا لأربعة أطفال، ولكن لم يمنعه ذلك من أن يوقع النساء في شباكه. وكان احتياجه للمال لا يتوقف، فقام بقتل كل السيدات اللاتي وافقن على تسليمه توكيلًا مصرفيًّا. فبعد أن يقطعهن إربًا إربًا يحرقهن في فرنٍ فيلا ببلدية جامبيه (سانواز) مما أزعج جيرانه في النهاية. ولكن بعد أن قدم أقارب ضحيةٍ شكوى، اعتُقل لاندرو. ووَجدت الشرطة معه دفترًا صغيرًا يحمل في أولى صفحاته قائمة مكونة من عشرة أسماء يتطابق كل اسم منها مع سيدة مفقودة لا يَعلم عنها أحد أي شيء. ويُضاف إلى هذه القائمة المروعة اسم ابن إحدى المفقودات وهو أيضًا لم يُعثر عليه قط. إن الدفتر الأسود ليس قائمة بأسماء الضحايا فقط، بل هو أيضًا سجل دقيق للغاية لمصروفات لاندرو المهووس الذي لا يعرف التوفير. فبتاريخ ١٩ أغسطس ١٩١٧ نقرأ على سبيل المثال:

جامبيه، ذهابًا وعودة ٤,٩٥ فرانكات
جامبيه، ذهابًا فقط ٣,١٠ فرانكات

يستطيع النائب العام أن يترافع على أساس التعمد! وقد كشف تفتيش الفيلا عن وجود بعض الأسنان وقطع من عظام بشرية وجزء من جمجمة ودم متخثر وبعض الأغراض النسائية. فاعتقد المحققون والقضاة والرأي العام أن نهاية القضية لا تدع أي مجال للشك. وانقسمت فرنسا بأكملها بين الرعب والضحك: لاندرو يناصر ربات البيوت! وأُعدم لاندرو على المقصلة في يوم ٢٥ فبراير ١٩٢٢. ومع ذلك قد يكون من المبالَغ فيه إن ادعينا التوصل إلى الدليل الذي لا يمكن دحضه فيما يتعلق بمسئوليته عن الجريمة. لم يعترف لاندرو قط. واستنادًا إلى ملفات القضية دون أن نغفل أيًّا منها قد يستطيع كاتب قصص بوليسية بالطبع أن يؤلف سيناريو يبرئ لاندرو، وربما ينمي بذرة الشك في عقل القارئ. ولكن على الرغم من عدم وجود الدليل «المطلق»، يقتنع كلٌّ منَّا أن لاندرو كان قاتلًا بالفعل. لم تظهر قط أيٌّ من «خطيباته»، ولم يشكك أي عنصر جدي في حكم هيئة المحلفين.

تعد «قضية كوبرنيكوس» مشابهة. فمن الحقيقي أن قليلين جدًّا هم من وثقوا بحكمه في العقود التي تلت نشر كتاب «عن دوران الأجرام السماوية». ولكن أخذ عدد تلاميذه في الازدياد تدريجيًّا حتى أضاف نيوتن إلى الملف عنصرًا حاسمًا أدى إلى الاقتناع العام. لكن هل نعتبر ذلك برهنة أم مجرد مؤشر؟ متى أُثبت بالفعل الدليل على دوران الأرض؟ فلا يمكن إثبات هذا الأمر عن طريق التأملات بل فقط بواسطة الملاحظات التي تتعارض مع افتراض ثبات الأرض. وهذا ما حدث في النهاية: كانت الأرض تخبئ لنا مفاجأة جديدة قد يكون من المؤسف كشفها مبكرًا.

فليعذرنا أرسطرخس ولكن القدماء لم يشكُّوا قط في هذا الأمر الذي كان بديهيًّا من وجهة نظرهم: الأرض هي مركز الكون. وكان كوبرنيكوس هو أول من زرع بذرة الشك وسط هذا اليقين المُسلي.[١٥]

(١٠) اكتشاف خادع؟

قلب كوبرنيكوس علم الفلك رأسًا على عقب عندما أظهر أن وصف حركة الأجرام السماوية أسهل بكثير إذا جعلنا الشمس ثابتة بدلًا من الأرض. وكان ذلك يعني له

ولمعاصريه ولخلفائه حتى عصر جاليليو وللكنيسة وللفلاسفة؛ أن الشمس كانت بالفعل ثابتة وأن الأرض كانت بالفعل تتحرك. والأسطورة التي تنسب إلى جاليليو «ومع ذلك هي تتحرك»[١٦] الشهيرة تزيد من الحيرة التي دامت طويلًا، وتتمثل تلك الحيرة في تحديد الثبات مع بساطة الوصف. ففي أثناء معركة بحرية قديمة كان قائد الأسطول يسعى بأي شكل إلى الحصول على أفضل مكان لرؤية مجمل الأوضاع. فهل كان يتعين عليه إبقاء السفينة ثابتةً؟

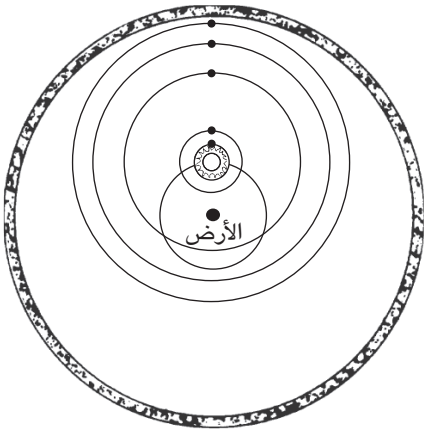
ارتكب كوبرنيكوس خطأً في هذه النقطة. فإن وصفه للنظام الشمسي كان منطقيًّا وبسيطًا وكان مفتاح الاكتشافات اللاحقة التي قام بها جاليليو وكبلر ونيوتن، ولكنه لا يعني بالضرورة أن الشمس ثابتة.

تطلب الأمر وقتًا طويلًا قبل فهم هذه النقطة. ووقع في الفخ عالم فلك كبير من القرن السادس عشر يُدعى تيخو براهي.

(١١) تيخو براهي

كان عالم الفلك الدنماركي تيخو براهي (١٥٤٦–١٦٠١) من طبقة النبلاء. وشهد في سن الرابعة عشرة كسوفًا شمسيًّا، وقد أثار هذا الحدث ذهوله بشدة، ليس لأنه كان كليًّا، بل لأنه قد تم التنبؤ به. وكان علم التنجيم في عصر تيخو يمثل موضوعًا مميزًا للأحاديث في الصالونات. وكانت حركة النجوم والحوادث المذهلة مثل الكسوف تنتمي إلى علم التنجيم وعلم الفلك على حد سواء، فلم يكن يوجد فرق واضح بينهما. ويبقي التنبؤ بحدوث كسوف على الحيرة بين هذين العِلمين. فقام تيخو بدراسة علم الفلك وحاول إتقان فن إعداد التقويمات الفلكية. واكتشف بمناسبة «اقتران» زحل والمشتري أن الجداول الفلكية قد تنبأت بذلك لكن دقتها غير كافية؛ فهي كانت تتنبأ بتاريخ الحدث بخطأ يقدر من عدة أيام إلى شهر كامل. وكانت مسيرة تيخو المهنية ممهدة، فقام بتحسين الجداول الفلكية بفضل ملاحظات دقيقة.

كان تيخو وريث عمه. ففي عصر لم يكن فيه للتليسكوب وجود، حظي النبيل الدنماركي الشاب بفرصة السفر وبوسائل الحصول على أفضل الأدوات للمراقبة بالعين المجردة وتطويرها. فقد أهداه ملك الدنمارك فردريك الثاني جزيرة صغيرة في بحر البلطيق تُسمى فين (أو هفين) أقام تيخو عليها أضخم مرصد على مر العصور، وأسماه



شكل ٦-٣: يبقي نظام تيخو المهجن على الأرض في مركز الكون. بينما تكون الكواكب الأخرى أقمارًا للشمس التي تدور هي الأخرى حول الأرض. يرى المراقب الأرضي الذي لا يستطيع إيضاح حركة الأرض أنه لا يمكن التمييز بين نظامي كوبرنيكوس وتيخو.

أورانيبرج على اسم أوراني ملهمة علم الفلك. وهكذا تحققت كل الشروط لكي يقوم تيخو بإعداد التقويمات الفلكية التي يحلم بها.

لم يتوقف تيخو عند هذا الحد، فاستبعد نظامي كوبرنيكوس وبطليموس لكي يصنع تكوينًا مهجنًا تكون فيه الكواكب أقمارًا للشمس التي تدور هي الأخرى حول الأرض (شكل ٦-٣). ولا يزال نموذجه يجعل من الأرض مركز الكون. واليوم حيث لا نعطي طابعًا مطلقًا لمفاهيم السكون والحركة، نعتبر أن المبنى الذي شيده تيخو براهي ليس إلا نظامًا يجعل من الشمس مركزًا للكون بصورة بحتة مثلما يرى أي مراقب أرضي. فلا يعد نظامَا كوبرنيكوس وتيخو براهي إلا ملمحين محتملين لصورة واحدة غامضة.

في القرن السادس عشر كانت هاتان الطريقتان لفهم الأمور متعارضتين. فلم يقبل تيخو أن نساويه بكوبرنيكوس.

الفصل السابع

محاكمة جاليليو لن تتم

إن الرغبة [...] في إجبار معلمي علم الفلك على أن يسعوا بأنفسهم إلى الحذر من ملاحظاتهم وإثباتاتهم وكأنها لا يمكن أن تكون إلا أخطاء ومغالطات؛ هي بمنزلة مطالبتهم بأمر يفوق المستحيل؛ لأننا لسنا فقط نأمرهم بعدم رؤية ما يرونه وعدم فهم ما يفهمونه، ولكننا نطالبهم أيضًا بأن يعثروا في أبحاثهم على عكس ما يقع بين أيديهم.

جاليليو، رسالة إلى كريستين دي لورين، ١٦١٥

(١) الإلكترونات متقلبة

إن مصادم الإلكترونات-البوزيترونات الكبير، وهو أكبر معجل تعمل به المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية، قد كان معمولًا به من عام ١٩٨٩ إلى عام ٢٠٠٠، وكان مخصصًا بصورة أساسية إلى قذف حزمة إلكترونات — وهي جسيمات سالبة — ضد حزمة بوزيترونات تحتوي على جسيمات ذات كتلة مساوية لكتلة الإلكترونات ولكن بشحنة موجبة. وخلال تجربة مماثلة ربما تدور الجسيمات مرات عديدة حول حلقة يبلغ محيطها الدائري ٢٦,٦ كيلومترًا.[١]

عندما كان مصادم الإلكترونات-البوزيترونات الكبير لا يزال معمولًا به، كان يدفع حزمتي الإلكترونات والبوزيترونات بسرعة قريبة جدًّا من سرعة الضوء في الوقت الذي تدور فيه الحزمتان في اتجاهٍ معاكس. وتوفر أيضًا الآلات الضخمة طاقة هائلة للجسيمات، لدرجة أن الطاقة الناتجة خلال التصادم من شأنها أن تساعد في توليد سلسلة من الجسيمات المختلفة. ومثلما يؤدي اختفاء الكتلة إلى توليد الطاقة، فإن الطاقة

المحبوسة فترة صغيرة في حجم ضئيل للغاية من شأنها أيضًا أن تولد المادة. والقاعدة العامة هي أنه عند تصادم جسيمين، كلما زادت الطاقة المتوفرة زادت احتمالية توليد جسيم ذي كتلة هائلة. وإذا كان الحظ حليف الباحثين فربما يلاحظون بهذه الطريقة تولد جسيم غير معروف.

وفي حالة مصادم الإلكترونات-البوزيترونات الكبير، لكي تكون المعطيات حول الجسيمات الناتجة صحيحة، ولكي تكون الكتلة بصورة خاصة معروفة بدقة كافية، يتعين أن تكون طاقة الحُزَم معروفة بنسبة ثلاثة أجزاء من الألف في المائة تقريبًا، مما يتطلب كل أنواع الحذر. وبالإضافة إلى ذلك يتوقف طول النفق على المسافة التي سلكتها الإلكترونات والبوزيترونات في كل دوران. فلو كان حجم الحلقة يتغير حتى إذا كان بنسبة بسيطة تصبح نتائج التجارب خاطئة. ومع ذلك لم يلبث الباحثون أن يسجلوا تغيرات بأطوال كبيرة لا يمكن التغاضي عنها. وكانت هذه التذبذبات تحدث في غضون ساعات، وظلت بلا تفسيرٍ بعض الوقت حتى اكتشف عضو من فريق مركز معجلات ستانفورد في كاليفورنيا سبب هذه الاضطرابات: وهي حركة المد والجزر الأرضية الناتجة عن عمل القمر والشمس معًا، فهما يغيران طول الحلقة كل اثنتي عشرة ساعة. ففي جنيف حيث تستطيع حركة المد والجزر تحريك مستوى الأرض ٢٥ سنتيمترًا إلى أعلى أو إلى أسفل، تسببت هذه الحركة في تغيير طول الحلقة ١ ملِّيمتر تقريبًا، وهو ما يكفي لحدوث خلل في قياس طاقة الحُزَم المعجلة في مصادم الإلكترونات-البوزيترونات الكبير.[٢] ولم يكن من السهل اكتشاف المسئولَين السماويَّيْن لهذه التشوهات؛ وهما الشمس والقمر، بما أنهما يعملان بصورة مستقلة، وأيضًا بما أن أهمية عملهما تتغير من أسبوع إلى آخر.

ليست الشمس والقمر العاملين الوحيدين القادرين على إحداث خلل في قياس طاقة حُزَم مصادم الإلكترونات-البوزيترونات الكبير: فإن ذوبان الجليد في إقليم جورا وارتفاع منسوب المياه في إقليم ليمان، يزيد من الضغط على الصخور ويتسبب في حدوث تشوهات موسمية للحلقة. أما القطارات، ولا سيما القطارات فائقة السرعة، فهي تغيِّر أيضًا طاقة الحُزَم ولكن تأثيرها من نوع آخر. فسرعان ما تَشكَّك البعض في أنها تولِّد تيارات كهربائية خفية من شأنها أن تتسبب في انحراف مسار الجسيمات المشحونة وهي الإلكترونات والبوزيترونات. ثم تَحوَّل الشك إلى يقين عندما تَسبب إضراب للشركة الوطنية الفرنسية للسكك الحديدية — أوقف القطارات موضع الاتهام — في إزالة الآثار المُجَرَّمة، وهو ما يعد حجة غياب معكوسة ... إن تأثير السكك الحديدية ضعيف لكنه واضح تمامًا على شاشات التحكم في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية.

إن مغامرة حُزَم الإلكترونات التي قامت بها المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية تسمح بأن نفهم بصورة أفضل الدور الغامض الذي لعبه القمر في الماضي. فمنذ فترة ليست بالبعيدة لعب القمر دورًا رئيسًا في مرحلة مهمة من تاريخ البشر.

(٢) جاليليو

وُلد جاليليو جاليلي (١٥٦٤–١٦٤٢) في بيزا عندما كانت إيطاليا منبر الثقافة. ولا تزال اللغة الفرنسية تحتفظ بآثار هذه السيادة لما وراء الألب: فحتى منتصف القرن العشرين، حتى إذا استبعدنا الكلمات الموروثة مباشرةً عن اللغة اللاتينية، استعارت اللغة الفرنسية كلمات من لغة دانتي أكثر من لغة شكسبير. فلتطمئن النخبة وليطمئن مصممو الأضواء ومقاطع الفيديو الدعائية، فإن مصطلحات «البرجر» و«الكاتشب» قد قضت على تفوق الاستعارة من اللغة الإيطالية. واكتملت المهمة بالمصطلحات المعلوماتية والسجائر المخدِّرة التي تُدَخَّن في الحفلات الصاخبة. وهكذا تصدَّرت الثقافة الأنجلو أمريكية الساحة.

على حد علمنا، كانت فترة شباب جاليليو خالية من أي حدث بارز. فكان والده ذو الأصول الفلورنسية عازفًا موسيقيًّا وملحنًا. وكان جاليليو الأخ الأكبر لسبعة أطفال. وتلبيةً لرغبة والده، التحق بجامعة بيزا لدراسة الطب. ولكنه اهتم بصورة أكبر بالرياضيات، فترك دراسته سريعًا للعودة إلى فلورنسا؛ حيث كسب رزقه بإعطاء دروس خاصة. وتعمق بصورة أكبر في الموضوع الذي شغف به. وذاع صيته بسبب نجاحه الأول؛ فقد حدد موقع مركز الجاذبية[٣] لبعض الأجسام بصورة بسيطة نسبيًّا. وكان جاليليو في عام ١٥٨٩ يبلغ ٢٥ عامًا عندما أهدته جامعة بيزا الأستاذية في الرياضيات.

إن الباحث الذي يريد حاليًّا التدريس في جامعة مشهورة ينبغي أن يتوِّج أولًا دراساتِه برسالة دكتوراه ثم يقوم بدورات ممددة في العديد من المؤسسات المرموقة. فإذا امتلأت قائمة إصداراته بصورة كافية وضمت مقالات صادرة في أرقى المجلات، يمكنه أن يفكر في منصب جامعي. ولكن عليه ألا ينساق للأوهام؛ فمسيرة كفاحه لم تنتهِ بعدُ. فعندما يخلو منصب يتعين عليه أن يواجه مئات من المنافسين الذين يمتلكون كفاءات عديدة على الأقل على الورق. ولن يَنْعَم بانتخابه لهذا المنصب إلا إذا كان يحظى بدعم كبير داخل المؤسسة المستهدفة وخارجها. وهنا يصبح مصيره مشابهًا لمصير جاليليو. فيبدو أن هذا الرياضي الشاب تم تعيينه في بيزا فقط لأنه حظي بحماية الماركيز جيدوبالدو ديل مونت، وهو عالم رياضيات هو الآخر. وربما كان ذلك الشخص استطاع أن يوفر لجاليليو مقعد الأستاذية في جامعة بادوفا لو كان الأخير أكثر إلمامًا بعلم الفلك …

يمكننا أن نميز في حياة جاليليو المهنية مجالين كبيرين من الأنشطة. فقد اهتم أولًا بالتجربة والرياضيات، ثم التفت أيضًا إلى علم الفلك عندما امتلك تليسكوبًا. وفي الحالتين عندما كان يحاول فرض أفكاره واكتشافاته، كان يعترض سبيله أتباع أرسطو الذين كانوا مسيطرين في نهاية القرن السادس عشر في إيطاليا، فقد كونوا فرعًا ناضبًا وعقيمًا يدعي اتِّباعه للفيلسوف اليوناني مع أنهم افتقدوا إلى حيويته وإبداعه.

كانت العداوات صريحة بمجرد وصول جاليليو إلى بيزا؛ وذلك لأنه يحتقر اللجوء الدائم إلى الحجة القوية: «قال أرسطو!» التي من المفترض أن تنهي أي نقاش.

عندما استأنف العالم العربي الإرث الإغريقي ثم ظهر هذا الإرث من جديد في الغرب خلال القرن الثاني عشر، كان أرسطو يحتل مركز الاهتمام (الفصل الخامس). ففي كتاباته أشاد الفيلسوف الكبير مرات عديدة بأهمية التجربة والملاحظة ولكن تلاميذه في القرون الوسطى نسوا سريعًا رسالته. «[...] إن إعادة اكتشاف أرسطو قد غير المناخ الفكري في أوروبا بالتشجيع على دراسة الطبيعة، ولكن تحويل تعاليم العلم الأرسطي إلى عقائد تسبب في إعاقتها.»[٤]

في الوقت الذي ظهر فيه جاليليو، تحولت رسالة أرسطو أحد أكبر العلماء في التاريخ إلى مجموعة من الوصفات يتم تكرارها والتعليق عليها دون أن يجرؤ أحد على التشكيك فيها؛ لأن الكنيسة قد تبنتها. فليس أتباع أرسطو إلا رهبانًا أصوليين أو معلقين بلا خيال، فالروح الإبداعية التي أحيت العالم اليوناني منذ عصر طاليس تنتظر نهضتها منذ عصور عديدة.

(٣) الصراع ضد أتباع أرسطو

عندما كان جاليليو لا يزال طالبًا، درس أعمال إقليدس السكندري، عالم الرياضيات اليوناني الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد، والذي لا نعرف عنه إلا القليل. فقد قال عنه بروكليوس (٤١٠–٤٨٥) إنه ألف «العناصر» بمناقشة العديد من مبرهنات أودكس باستفاضة، وبتحسين مبرهنات «تيتيت»، وبتحويل تأكيدات تبناها سلفه دون دليل مقنع إلى إثباتات لا يمكن دحضها. وردًّا على سؤال بطليموس الأول الذي سأل إقليدس إذا كان يوجد طريق لتعلم الهندسة أبسط من التعلم المتتالي لإثباتات كتاب «العناصر»، رد إقليدس أنه لا يوجد طريق ملكي لتعلم الهندسة.

وفي عصرٍ لم تكن التجربة تلعب فيه إلا دورًا صغيرًا، تُمثل دراسة الحركة فرعًا من فروع الرياضيات، واهتم جاليليو بذلك. وسرعان ما أصبح أتباع أرسطو الهدف المفضل

لتهكمه. فعندما تم تعيينه أستاذًا في بيزا ثم في بادوفا استسلم مع ذلك إلى تدريس النظام البطلمي، وهو ما قام به فترة طويلة بعد أن أصبح مناصرًا لكوبرنيكوس عن اقتناع. وفي عام ١٥٩٧، بعث برسالة إلى كبلر يخبره فيها بتسلمه كتاب «لغز الكون» الذي يعلي من شأن عمل عالم الفلك البولندي (الفصل التاسع). ويَسعد جاليليو بأن كبلر هو أحد المناصرين النادرين لعالم كوبرنيكوس الذي يراه مجالًا لسخرية الأغبياء. ويؤكد جاليليو أيضًا من جانبه أنه ما دام لا يمتلك دليلًا على صحة نظرية مركزية الشمس للكون، يرفض أن يعلن موافقته عليها، وهي إجابة نابعة بلا شك من الحذر. ولكن هذا التحفظ لم يمنعه من القيام بتجارب عديدة في الميكانيكا. ففي عام ١٦٠٤، اكتشف قانون سقوط الأجسام وفي عام ١٦٠٨ أعد شكل القطع المكافئ لمسار القذائف. ولا يتعارض هذان الاكتشافان فقط مع التعاليم الأرسطية، بل يثبتان أيضًا أن الميكانيكا يمكن وصفها بلغة الرياضيات، وهو إدراك يستحيل الإفراط في تقدير أهميته.

في عام ١٥٩٩، تعرف جاليليو على مارينا جامبا، وهي فتاة شابة من مدينة البندقية، ورزقا بثلاثة أطفال ولكن لسبب ما لم يتزوجا قط. وفيما يتعلق بإخوته أو أخواته أو أطفاله كان جاليليو مهتمًّا للغاية بالاضطلاع بواجباته العائلية. وستظل ابنته الكبرى فيرجينيا، التي ترهبنت باسم الأخت ماريا سيلست، تشعر طيلة حياتها بالإجلال لوالدها، فهذا الاختيار لاسم سيلست (أي سماوي) ذو مغزًى. وحتى وفاة فيرجينيا سيظل الأب والابنة يتبادلان المراسلة التي تبقَّى منها فقط رسائل فيرجينيا، فربما دمرت الأم رئيسة الدير رسائل الأب. ويتعين الإشارة إلى أن «جاليليو من خلال وصف رسائل الأخت ماريا سيلست [...] ظل ببساطة كاثوليكيًّا، آمن بقوة الصلاة وسعى باستمرار إلى التوفيق بين واجباته كعالم وخلاص نفسه.»[٥]

(٤) التليسكوب

في عام ١٦٠٩، علم جاليليو بوجود نظارة مصنوعة في هولندا تسمح بتقريب الأشياء البعيدة (التليسكوب).[٦] فهو ليس عالم رياضيات فقط ولكنه مجرب ماهر أيضًا، فعندما لا يُحَسِّن من الأدوات القديمة يبتكر أدوات جديدة.[٧] وعندما سمع جاليليو عن التليسكوب سعى، على ما يبدو، إلى إتقان استخدام هذه الأداة حتى قبل أن تلمسها يداه. فصنع لها العديد من النماذج القادرة على التكبير حتى عشرين مرة. ولا يعد جاليليو أول صانع

تليسكوبات يوجه تليسكوباته إلى السماء، ولكنه هو من أحسن استخدامها؛ لأن الأدوات التي يصنعها تكون ذات جودة عالية.[٨]

في عام ١٦١٠، أصدر جاليليو كتيبًا بعنوان «رسول سماوي»، وكان يحتوي على سلسلة من الاكتشافات التي تجعل من جاليليو فاعلًا أساسيًّا في تاريخ علم الفلك. فقد أعلن أن سطح القمر ليس «لامعًا ولا منتظمًا ولا ذا شكل كروي كامل مثلما ظنت كَتِيبة الفلاسفة»، ولكننا نجد عليه جبالًا وأودية. أما الكواكب، فهي تختلف عن النجوم؛ فتظهر في التليسكوب كأقراص بينما تحتفظ النجوم بمظهرها ذاته الذي تبدو عليه بالعين المجردة. ويعلن جاليليو أيضًا في كتيب «الرسول» عن اكتشافات أخرى عديدة، ولكن اكتشافه المدوي هو بلا شك «أقمار جاليليو الأربعة التابعة لكوكب المشتري». وتتراوح فترتها الفلكية من يومين على الأقل فيما يتعلق بإيو وهو الأقرب، إلى ستة عشر يومًا لكاليستو (المسافة بينها وبين الكوكب الأصلي ضئيلة).[٩]

عندما نتطرق إلى العادات ربما يكون الحجاج متدنيًا للغاية. ففي عام ١٦١٠، أصدر عدو لجاليليو يُدعى مارتن هوركي مقالة نقد لكتيب «الرسول السماوي»، يعترض فيها على اكتشاف أقمار المشتري؛ لأن المنجمين، على حد قوله، كشفوا الطوالع واضعين في اعتبارهم كل الأجرام السماوية المتحركة مقارنة بالنجوم الثابتة. فلا فائدة إذن للنجوم المديسية، هذا هو الاسم الذي أطلقه جاليليو في البداية على الأقمار التي اكتشفها. وبما أن الله لا يخلق أشياء بلا فائدة فلا وجود لهذه النجوم. ولكن رد مناصرو جاليليو بطلاقة دون خجل، فقالوا إن أقمار المشتري لها فائدة واحدة على الأقل؛ وهي إثارة غضب هوركي!

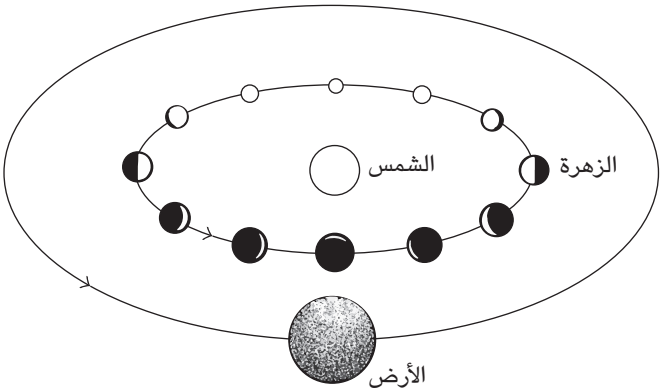
إن الاكتشافات المعلنة في كتيب «الرسول» تسببت في حصول جاليليو على ترقية رفيعة تُسمى «رياضيًّا وفيلسوفًا» من دوق توسكانا الأكبر. وفي فلورنسا كان اليسوعيون يسيطرون على التعليم، وهو ما أسف له جاليليو ولكنه استعد أيضًا للصراع ضد أتباع أرسطو. فمن وجهة نظرهم يتصف عالَم ما تحت القمر للأسف بعدم الإتقان والتغير، بينما لا يحتوي العالم السماوي الذي لا يتغير إلا على الأشكال الهندسية الكاملة. فيمثل نبأ اختلاف شكل القمر قليلًا عن شكل الكرة تكذيبًا لاذعًا لفلسفتهم. ويمثل أيضًا وجود أقمار المشتري خطرًا أكبر على مستقبل تعليمهم. ففي العالم البطلمي تدور كل الأجرام السماوية حول الأرض. فما هي إذن هذه النجوم التي تهرب علنًا من كوكب الأرض، والتي تشبه بصورة خطيرة في اتباعها للمشتري رسمًا دقيقًا للنظام الشمسي؟[١٠]

لم يتوقف ما حصده جاليليو عند هذا الحد. فوجه تليسكوبه إلى زحل فلاحظ أنه ترافقه كتلتان. ولكن أداته ليست قوية بالدرجة الكافية لكي يرى فيه حلقة. ولاحظ البقع الشمسية، وهو ما يعد دليلًا جديدًا على أن عدم الإتقان يؤثر أيضًا على العالم السماوي. وفي ديسمبر ١٦١٠، أنهى جاليليو اكتشافاته الفلكية الكبرى بالكشف عن أطوار كوكب الزهرة (شكل ٧-١). فعلى غرار أطوار القمر تثبت هذه الأطوار أن لمعان كوكب الزهرة ليس إلا انعكاسًا لضوء الشمس، وهو ما يمكن تفسيره بسهولة في إطار نظرية مركزية الشمس للكون، ولكن يصعب فعله في النظام البطلمي (شكل ٥-٢) أو في الوصف الساذج للمفهوم الأرسطي الذي شهد رواجًا في نهاية العصور الوسطى (شكل ٥-٣). ولكن هذه الأطوار لا تستبعد نظرية مركزية الأرض للكون؛ نظرًا لأنها متوافقة مع نظام تيخو براهي، الذي لا تزال فيه الشمس هي التي تدور حول الأرض (شكل ٦-٣). ولم يكن موقف أتباع أرسطو أقل حرجًا. فكان يتعين عليهم رد الهجوم.

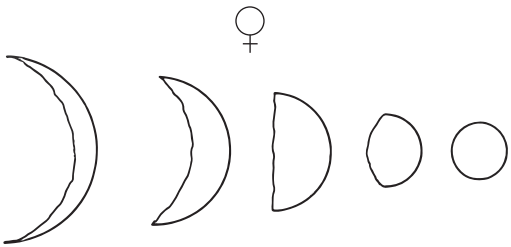
(٥) الكنيسة في حالة استنفار

لم تبدأ بعد المواجهة بين الكنيسة وجاليليو. ففي عام ١٦١١، بعد صدور كتاب «الرسول» مباشرةً، دعا الكاردينال مافيو باربريني جاليليو إلى عرض اكتشافاته أمام الكلية البابوية في روما. وبعد بضعة أسابيع أكدت مدرسة يسوعيين صحة ملاحظات جاليليو، وهو ما يعد انتصارًا له.

ثم فسدت الأمور تدريجيًّا. ففي عام ١٦١٢، بعد صدور كتاب «الرسول» بعامين، ألقى راهب دومينيكي عظةً تُعارض دوران الأرض. فلو لم تكن هذه العظة تمثل بداية الحملة التي شنَّتها الكنيسة لكانت نُسيت بلا شك. ويجدر الذكر بأن كتاب «الرسول» لا يحتوي إلا على بعض التلميحات الغامضة إلى نظام كوبرنيكوس. وفي المقابل عندما أعلن جاليليو في العام التالي عن اكتشافه للبقع الشمسية وأطوار كوكب الزهرة، ألقى مرافعة في صالح كوبرنيكوس، فسخر من أتباع أرسطو المعاصرين الذين لا يزالون يعتبرون كلامَ فيلسوفٍ عاش في عصرٍ كانَ فيه التليسكوبُ غيرَ معروفٍ؛ كلامًا مقدسًا. ويؤكد جاليليو أنه إذا عاد أرسطو إلى الحياة وتأمل السماء بواسطة منظار، فلن يتردد في تغيير رأيه. وكان ذلك في عام ١٦١٣، وهو العام الذي يمكن أن نعتبره بداية اتخاذ جاليليو لموقف مؤيد لكوبرنيكوس، وهو أيضًا بداية المواجهة الحقيقية مع الكنيسة.



(أ)



(ب)

شكل ٧-١: شكل تمثيلي لأطوار كوكب الزهرة (أ). ومثلما عرضها جاليليو في أحد أعماله (ب). فيضيء الكوكب بصورة موحدة عندما يكون في موقع مقابل للأرض. ويزيد قطره الظاهري كلما قاده دورانه في اتجاه الأرض، ولكن يقل الجزء المضاء من السطح.

كانت كريستين دي لورين والدة دوق توسكانا الأكبر كوزيمو الثاني دي ميديشي، وهي شديدة الورع و«سيدة مسنة متسلطة وثرثارة ومختلة»، وفقًا لما قاله كوستلر؛ قد قلقت من بعض الإشاعات التي دارت حول الشخص الذي كان ملقِّن الدروس لكوزيمو وريث العرش آنذاك. ويتعلق الأمر بنظام كوبرنيكوس وعلاقته مع تعاليم الكنيسة. وفي رسالة جاليليو إلى أحد أصدقائه الأب بنِيدِتُّو كاستلي، أوضح أن «الكتاب المقدس لا يمكن أن يضل، ولكن يمكن أن يَضل بعضُ مفسريه، و[إحدى الطرق] الأكثر شيوعًا وخطورة

هي التمسك دائمًا بالمعنى الحرفي [...] فذلك قد يقودنا إلى وصف الله أنه له أرجل[١١] وأعين وأيادٍ [...]» وأوضح أيضًا أنه إذا قرأنا الإنجيل حرفيًّا فربما يتعين علينا أن ننسب إلى الله «بعض المشاعر الجسدية والإنسانية؛ مثل الغضب والندم وأحيانًا نسيان الماضي وعدم معرفة المستقبل ...» وفي عام ١٦١٥، توجه جاليليو بالحديث في رسالة أخرى إلى كريستين دي لورين مباشرةً، فهذا النص «يجب أن يُقرأ على أنه محاولة حية وصادقة لإقناع العقيدة الكاثوليكية بتبنِّي نظام كوبرنيكوس.»[١٢]

ويبالغ جاليليو في بعض الأحيان. إن المقطع الشهير في سفر يشوع (١٠: ١٢–١٣) المذكور في الفصل السادس، يُتبع بهذين البيتين:

فوقفت الشمس في كبد السماء
ولم تعجل للغروب نحو يوم كامل.

اقترح جاليليو أن البيت الأول، بتثبيت الشمس في كبد السماء، يتفق مع نظام كوبرنيكوس. ولكي نكون صادقين يعد التحليل الكامل الذي قام به جاليليو لمعجزة يشوع على الأقل أكثر غرابة من نص الإنجيل إذا أخذناه بالمعنى الحرفي. وفي هذا الصدد يذكر رينان في كتاب «ذكريات الطفولة والشباب» مُعلمًا من مدرسة فرنسا كان يصنف معجزة يشوع من بين المعجزات التي «يصعب حدوثها»! فهل سذاجة رينان تتخطى جرأة جاليليو؟ فبسبب كثرة إزعاج الناس نجلب المتاعب لأنفسنا. ونسي جاليليو الحذر الذي كان يتحلى به في فترة شبابه، فهو يقوم بمخاطرة طائشة عندما يعرض نفسه لنزاعات دينية غامضة.

في عام ١٦١٦، عندما علم بأن محكمة التفتيش الكاثوليكية تدرس حالته، توجَّه إلى روما حيث التقى بالكاردينال روبرتو بلارمينو (١٥٤٢–١٦٢١)، وهو يسوعي وعالم لاهوت مشهور بدحضه للجهر بالعقيدة البروتستانتية. وفي بداية القرن السابع عشر كان بلارمينو يُعتبر أكبر علماء اللاهوت الأحياء، وفي يومٍ ما بعدَ وفاته طوِّبَ قديسًا. وبما أن الكنيسة لم تكن قد اتخذت بعدُ موقفًا من حركة الأرض والشمس، أخبر بلارمينو جاليليو أنه لا يمكن أن يُتهم بالهرطقة. وفي المقابل بعد أن صرح خبراء برأيهم في هذا الصدد، تبدلت الأمور وأصبح من المتعارِض مع الإيمان التأكيدُ بأن الشمس ثابتة وأن الأرض تتحرك. وفي الوقت نفسه تم تعليق كتاب كوبرنيكوس مؤقتًا إلى حين تصويب بعض أخطائه. وبعد عامين أصبح كتاب «عن دوران الأجرام السماوية» متداولًا للقراءة من جديد.

يقبل بلارمينو أن نتحدث عن نظرية مركزية الشمس للكون على أنها افتراض يسمح بـ «إنقاذ الظواهر» مثلما فعل أوزيندر في مقدمة كتاب «عن دوران الأجرام السماوية». وقال الكاردينال: «إن إثبات ما إذا كان افتراض ثبات الشمس وحركة الأرض يتطابق مع الملاحظات أمرٌ، والبرهنة على حقيقة حركة الأرض أمرٌ آخر. أعتقد أن الإثبات الأول محتمل، ولكنني أشك أن ذلك ينطبق على الأمر الثاني. وفي حالة الشك ليس من المشروع الاستهانة بتفسير الكتاب المقدس الذي يرجع الفضل فيه إلى آباء الكنيسة.» وفيما يتعلق بالفيزياء وعلم الفلك يسبق بلارمينو عصره!

شعر جاليليو أن هذا الحظر تحدٍّ يجب مواجهته. فيتعين إيجاد دليل على حركة الأرض. واعتقد أنه وجد الدليل في ظاهرة المد والجزر ولكنه خشي أن يثير إدانة الفاتيكان. تولَّد الأمل من جديد عام ١٦٢٣ عندما أصبح الكاردينال باربريني البابا باسم أوربان الثامن، فهو الكاردينال الذي دعمه علنًا بدعوته إلى عرض اكتشافاته أمام الكلية البابوية. ففي هذه الظروف أعلن جاليليو عن صدور عمل كبير سيكون عنوانه «خطاب حول مد البحر وجزره».

(٦) الحوار

قبل السماح بصدور الكتاب المُعلَن عنه، نصب البابا بعض الحواجز. فيجب ألا يذكر جاليليو المد والجزر في عنوان كتابه. وبالإضافة إلى ذلك بما أن جاليليو ينوي أن يقارن في هذا الكتاب بين كوبرنيكوس وأرسطو، فيتعين عليه أن يسعى إلى عرض نظامي العالم بطريقة متوازنة دون الانحياز صراحةً إلى كوبرنيكوس.

فيما يتعلق بالشكل استجاب جاليليو إلى أمر الفاتيكان. وصدر كتابه عام ١٦٣٢ وأصبح عنوانه «حوار حول أكبر نظامين للعالم، بطليموس وكوبرنيكوس». وقُدم في صورة حوار بين مؤيد لنظرية كوبرنيكوس يُدعى سالفياتي، وممثل لافتراضات أرسطو يُدعى سمبليتشو. ويقود سالفياتي الحوار ويتناول أفكار الكاتب باستفاضة. وأضاف جاليليو إلى هذين الرجلين المنحازين بطلًا ثالثًا، ساجريدو، وعُرض على أنه رجل مثقف دُون أفكارٍ مسبقة يقوم بدور الحكم. فيسمع الحجج التي يتبادلها المتحدثان وينحاز إلى الأكثر إقناعًا. إن سالفياتي وساجريدو هما اسمان لصديقين لجاليليو تُوفيا في أثناء كتابة العمل. ويدور الحوار على مدار أربعة أيام يتطرق في كلِّ يوم إلى موضوع مختلف. وفيما يخصنا، يُعتبر اليومان الثاني والرابع هما الأكثر أهمية.

(٦-١) اليوم الثاني: مبدأ جاليليو

في بداية اليوم الثاني بدأ سالفياتي-جاليليو بذكر الاعتراض الرئيس لأتباع أرسطو على حركة الأرض.

سالفياتي: إن السبب الأقوى الذي يقدمه كل المؤلِّفين هو سقوط الأجسام الثقيلة من أعلى إلى أسفل في خط مستقيم بطريقة عمودية على سطح الأرض، فهُم يرون في ذلك حجة لا يمكن الاعتراض عليها وتؤيد ثبات الأرض؛ إذا كانت الأرض تقوم بدوران نهاري، وإذا وقع حجر من أعلى قمة برج، فسيؤثر هذا الدوران على البرج، وستكون الأرض في أثناء وقوع الحجر قد سارت مئات الأذرع في اتجاه الشرق، وعند هذه المسافة من سفح البرج ينبغي على الحجر أن يصطدم بسطح الأرض.

من المفروغ منه أن أتباع أرسطو يتخيلون أن دوران الأرض من الغرب إلى الشرق سيدفع الحجرَ في اتجاه «الغرب». والحقيقة أنه إنْ كان صحيحًا أن الحجر لا يسقط بالضبط في المكان الذي يلمس فيه خيط الفادن سطح الأرض، فالفارق لا يبلغ ٩ ملِّيمترات، وتنجرف الحصاة فعليًّا تجاه «الشرق»![١٣]

يستكمل سالفياتي حديثه ذاكرًا العديد من الأمثلة من هذا القبيل التي يستخلصها من دراسة القذائف، ولن يجاريه أحد في هذا المجال. وبكل براءة يشعر سمبليتشو بالسعادة.

سمبليتشو: عجبًا! تلك أسباب مقنعة لا يمكن أن نرد عليها بما يساويها في القوة!

لا يمتلك سمبليتشو لسوء حظه أي مهارة فيقع في كل الفخاخ التي ينصبها له خصمه. واستفاد سالفياتي من هذا الأمر لمناقشة حالة السفينة المتحركة، فسأل سمبليتشو ماذا قد يحدث لحجر وقع من أعلى صاري السفينة: هل يسقط أسفل الصاري كما لو كانت السفينة متوقفة، أم يصطدم بالسطح عند نقطة تقع أكثر في مؤخرة السفينة؟ يرى سمبليتشو أن الأمر واضح؛ يسقط الحجر في مؤخرة المركب. وعندما سأله سالفياتي هل قام بتجربة ذلك، أقرَّ أنه لم يفعل، وبالإضافة إلى ذلك ما الفائدة من التجربة إذا كانت النتيجة معروفة مسبقًا؟

لقد بلع السمَك الطُّعم ولا يبقى سوى أن نلف البكرة.

سالفياتي: تُعد أنت نفسك شاهدًا على أن هؤلاء المؤلفين [أتباع أرسطو] يمكنهم أن يقدموا [تجربة السفينة] دون أن يقوموا بها؛ فبدون تجربتها تعتبرها أكيدة [...] فإذن من الممكن والضروري أيضًا أنهم [...] قاموا بالأمر ذاته، وأقصد بذلك أنهم اعتمدوا

على سلفهم دون أن نجد أحدًا قام بهذه التجربة من قبل. وسيجد أي أحدٍ يقوم بها أن التجربة تثبت عكس ما هو مكتوب؛ فيسقط الحجر في مكان السفينة ذاته، سواء كانت السفينة متوقفة أو تتحرك بأي سرعة.

أغفل سالفياتي-جاليليو نقطة مهمة: فلِكي يصبح تأكيده حقيقيًّا يجب أن تكون سرعة السفينة منتظمة ومسارها مستقيمًا.

لتجربة السفينة أهمية كبرى في حديثه. فإذا طبقناها على كوكب الأرض فهي تكشف أن نقطة سقوط الحجر من أعلى برجٍ لا تعتمد إطلاقًا على الحركة المحتملة للأرض؛ فلا يمكن ملاحظة الحركة المحتملة لكوكبنا عن طريق مراقبة حركة القذائف فقط. فيضع سالفياتي لمسة أخيرة على لوحته.

سالفياتي: [...] احتجزوا أنفسكم [...] في أكبر غرفة تحت سطح سفينة كبيرة، واصطحبوا معكم بعض الذباب والفراشات وبعض الحيوانات الصغيرة الأخرى التي تطير، بالإضافة إلى وعاء ممتلئ بالمياه وبعض الأسماك الصغيرة، واصطحبوا أيضًا دلوًا صغيرًا تتسرب مياهه قطرةً قطرة في وعاء آخر أسفله ويكون له فتحة صغيرة.

يؤكد سالفياتي عن حقٍّ أن حركة السفينة المستقيمة والمنتظمة لا يمكن أن تؤثر على ما هو داخل الغرفة. لا يتغير أي شيء؛ سواء طير الفراشات، أو عَوم الأسماك، أو تسرب المياه. وهذا هو نص مبدأ جاليليو[١٤] ولكن في شكل صورة:

> تنطبق قوانين الميكانيكا ذاتها على كل النظم المرجعية التي تتحرك حركة منتظمة بعضها بالنسبة إلى البعض.

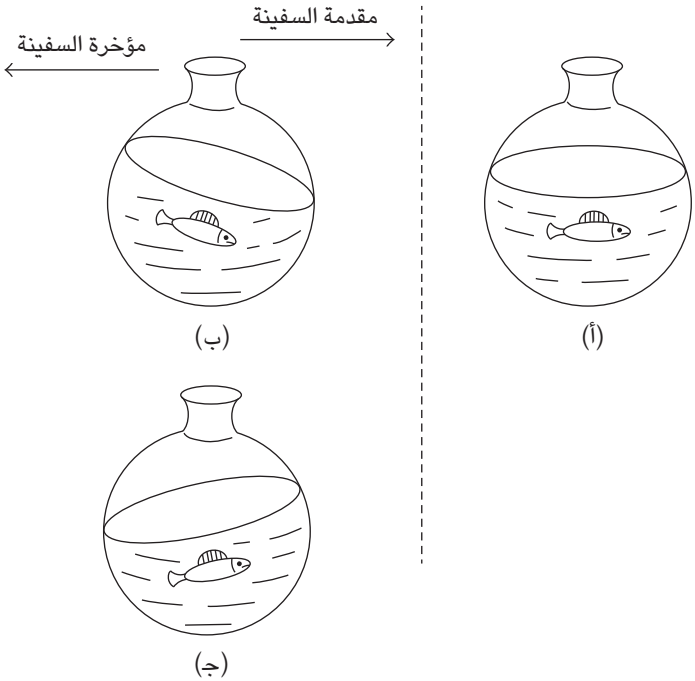
ونقصد بمصطلح «نظام مرجعي» مكانًا للمراقبة أو مركبة يمكن من خلالها القيام بقياسات. وبما أن السفينة التي يراقب من خلالها سالفياتي الفراشات والأسماك تتحرك في خط مستقيم وبسرعة ثابتة، فذلك يمثل نظامًا مرجعيًّا يتحرك بصورة منتظمة نسبةً إلى نظام مرجعي يتعلق بسفينة مربوطة بالميناء. وفي هذه الظروف، بما أن الحجر يسقط رأسيًّا بطول صاري سفينة متوقفة، فيحدث الأمر ذاته إذا كان المركب يتحرك بصورة منتظمة ومستقيمة. وإذا كانت السفينة ثابتة يكون منسوب المياه في إناءٍ ما أفقيًّا، وكذلك أيضًا إذا كانت السفينة متحركة. وفي المقابل، عندما تكون سرعة السفينة أو اتجاهها متغيرين، لا تظل الحركة منتظمة؛ مما يتسبب في تباين منسوب المياه في الإناء (شكل ٧-٢).

يعد ذلك اكتشافًا كبيرًا لجاليليو؛ فهو لا يثبت أن الأرض تدور، ولكن يثبت أنها قد تدور دون أن يلاحظ سكانُها هذه الحركة بطريقة مباشرة. وأصبح غيرَ حقيقي أن كل الأجسام غير المثبَّتة ستندفع إلى الغرب كالإعصار.

(٦-٢) اليوم الرابع: التنجيم المضاد

يمثل اليوم الرابع ذروة كتاب «الحوار»، فيشنُّ جاليليو هجومًا نهائيًّا على النظرية الأرسطية، عارضًا الدليل القاطع على حركة الأرض من وجهة نظره. وقد وجد هذا الدليل في نظرية المد والجزر عن طريق التطبيق المباشر لمبدأ جاليليو. وباعتراف منه، لا يعرف جاليليو سوى البحر الأدرياتيكي الشمالي؛ حيث يكون مدى حركة المد والجزر ملحوظًا وكذلك شواطئ البحر التيراني. وفيما يتعلق بباقي البحر المتوسط، ولا سيما من ناحية المحيط، فيتعين عليه أن يعتمد على روايات الملاحين التي لا يتفق بعضها مع بعض، على حد قوله. فيفضل جاليليو أن يتجاهلها، وهو قرار متسرع؛ لأنه إذا كانت هذه التقارير مختلفة، فذلك يعني أن ظاهرة المد والجزر في البحر معقدة جدًّا.

يصبح سمبليتشو على الفور مثارًا لسخرية محاوريه؛ عندما يشير بخجل إلى كتاب حديث[١٥] يذكر أن «[...] القمر الهائم في السماء يجذب ويثير نحوه كمًّا من المياه تتبعه باستمرار [...]» ويؤكد سمبليتشو أيضًا أن القمر يمتلك هذه القدرة عندما يكون على الجهة المقابلة للمكان. ولكن بما أنه يمثل أقلية — فمعارضوه هم سالفياتي وساجريدو بالطبع، ولكن أيضًا جاليليو بصورة خاصة — فهو مجبر على الخضوع! ويعتبر جاليليو أن الاعتقاد بتأثير القمر على البحار ليس إلا دليلًا على جاهلية علم التنجيم. وجدير بالذكر أن العديد من العلماء والفلاسفة قد وصفوا المد والجزر وصفًا دقيقًا إلى حد ما — ويعد بليني خير مثال — ولكن عندما كانوا يحاولون شرح ذلك كان الشرح غريبًا. ومن جانبه يظل جاليليو واقعيًّا، فهو يشتبه كثيرًا في تأثير القمر على الأرض. فنراه يهز رأسه! فمن الحقيقي إذا كانت العلاقة بين القمر وحركة المد والجزر غامضة، فذلك لا يسمح لجاليليو بالتخلي عما هو أساسي — الربط بين القمر وحركة المد والجزر — في سبيل ما هو عَرَضي؛ محاولات التفسير. ويعد كبلر أكثر قربًا من الحقيقة فيما يخص هذه النقطة. ففي رواية الصومنيوم[١٦] «أو الحلم» يعزي حركة المد والجزر إلى «الشمس والقمر اللذين يجذبان المياه [...] بواسطة قوة مماثلة للقوة المغناطيسية.»[١٧]



شكل ٧-٢: نراقب في غرفة سفينة إناءً ممتلئًا بالمياه وتعوم فيه أسماك. فعندما يكون منسوب المياه أفقيًّا وتعوم الأسماك «بصورة طبيعية»، نستنتج من ذلك أن السفينة ثابتة أو أن حركتها منتظمة ومستقيمة. ولا يمكننا استنتاج المزيد إلا إذا نظرنا إلى الخارج عبر نافذة صغيرة (أ). وعندما تتغير سرعة السفينة أو اتجاهها (تزداد سرعتها أو تتباطأ) يتمايل المنسوب، فتتراكم المياه في اتجاه مؤخرة السفينة عندما تزداد السرعة (ب). وإلى المقدمة عندما يهدِّئ المركب من سرعته (جـ).

على الرغم من أن جاليليو يستبعد تأثير القمر، فإن الآلية التي ينسبها لظاهرة المد والجزر تتميز على الأقل بأنها تقوم على الفيزياء. ويذكر جاليليو من جديد مَثَل الإناء الذي تعوم فيه الأسماك، واستبدل به قاربًا تغطي المياهُ قاعَه المسطح. فإذا مال القارب المتحرك فجأةً إلى جانب الشاطئ فتستكمل المياه حركتها وتتراكم مؤقتًا في مقدمة المركب. وفي المقابل إذا جذبنا القارب الثابت إلى الأمام، فسيرتفع منسوب المياه في المؤخرة. وينطبق أيضًا هنا مبدأ جاليليو؛ فإن الشروط التي تخضع لها المياه التي تملأ قاع

القارب هي ذاتها التي تؤثر على الأسماك داخل غرفة السفينة. وتكمن فكرة جاليليو الأساسية في أن البحار والمحيطات تتصرف مثل القارب ذي القاع المسطح، فتتقدم المياه إلى الأمام إذا تباطأت منطقة سطحية من الأرض، وتنحسر إذا أسرعت هذه المنطقة.

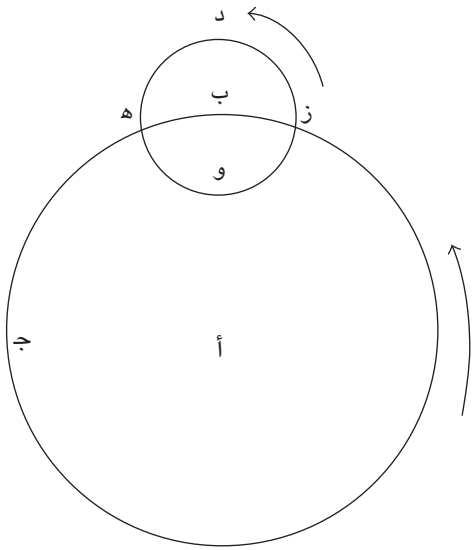
يبحث جاليليو عن سبب هذا التباطؤ أو هذا التسارع في كلٍّ من حركة دوران الأرض حول الشمس ودورانها حول محورها، وهو محقٌّ في ذلك؛ فيرى مراقب يقف على الشمس التي نعتبرها ثابتة أن حركة نقطة ما على سطح الأرض ليست منتظمة[١٨] (شكل ٧-٣). ولكن الأثر الذي يشير إليه جاليليو ليس له أهمية على الإطلاق، فتعاني أيضًا آلية حركة المد والجزر التي يقترحها من عيب خطير؛ فتقترب دوريتها كثيرًا من ٢٤ ساعة. ولكن في مكان محدد تفصل أكثر من ١٢ ساعة بالكاد بين حركتي مد وجزر مرتفعتين متتاليتين.[١٩]

(٧) الله القادر على كل شيء يستطيع أن يخرق قوانين الفيزياء بطريقته

قبل أن نترك الحديث عن كتاب «الحوار» تجدر الإشارة إلى أن قراءته ليست شاقة إلى حد كبير، فمن وقت إلى آخر يقوم جاليليو بنقد لاذع وساخر لأتباع أرسطو. ففي بداية اليوم الثاني يذكر ساجريدو إثباتًا تحليليًّا سمعه في البندقية. فقد كان أحد الأطباء يهتم بإثبات أن الأعصاب تنبع من المخ وفقًا لتعاليم جالينوس بدلًا من تعاليم أرسطو. «فوجه حديثه إلى [فيلسوف أرسطي] وسأله إذا كان الآن مقتنعًا أن الأعصاب تنبع حقًّا من المخ وليس من القلب. فأجاب الفيلسوف بعد وقت من التفكير: «لقد أثبت لي ذلك بطريقة واضحة جدًّا، لدرجة أنه لو لم يكن نصُّ أرسطو يقول في المقابل إن الأعصاب تنبع من القلب لكنت سأجد نفسي مجبرًا على الاعتراف بذلك».»

تُقنع قراءة كتاب «الحوار» القارئَ بحقيقة بديهية أخرى. فخلافًا لأوامر البابا، لا يوازن جاليليو بين «نظامي العالم» بصورة متساوية. ففي حين أن ساجريدو ينحاز إلى رأي سالفياتي بسهولة مطلقة، تبلغ سذاجة سمبليتشو ذروتها وهو ما يشير إليه اسم الشخصية، ولكن وضع جاليليو على لسانه حجة يحبها أوربان الثامن.

سمبليتشو: [...] أضع دائمًا نصب عينيَّ مذهبًا قويًّا تعلمته من شخص ذي علم كبير وبارز جدًّا [...] وأعرف أنه إذا سألَكما أحدٌ إذا كان الله في قوته وحكمته المطلقتين يستطيع أن يعطي لعنصر الماء الحركة المتعاقبة التي نلاحظها فيه، بطريقة مختلفة



شكل ٧-٣: تمثيل بياني يعطيه جاليليو لحركة سطح الأرض. فتمثل النقطة (أ) الشمس، مركز المدار الأرضي الذي يُرمز له بالدائرة الكبيرة. وتُمثل الأرض بالدائرة الصغيرة وتدور حول محورها عند النقطة (ب). إن دوران الأرض حول الشمس وكذلك دورانها حول محورها، اللذين يحدثان في عكس اتجاه عقارب الساعة، يجعلان حركة نقطةٍ ما من سطح الأرض غير منتظمة. وتكون السرعة عند النقطة (د) أكبر من أي نقطة أخرى على سطح الأرض، بما أن تأثير كلٍّ من دوران الأرض حول الشمس وحول محورها يتراكم عند هذه النقطة. وعند النقطة (و) يكون تأثيرها في الاتجاه المعاكس. أما عند النقطتين (هـ) و(ز) يكون الوضع وسطيًّا.

عن إعطاء حركة للإناء الذي يحتوي عليه؛ أعلم أنكما ستجيبان أنه قادرٌ على فعل ذلك بطرق عديدة لا يتصورها عقلنا، وقد فعل.

بعبارة أخرى، يستطيع الله القادر على كل شيء أن يخرق قوانين الفيزياء بطريقته. ففي النهاية هو من وضع هذه القوانين! وفي عام ١٦٣٢ عند صدور كتاب «الحوار» لم تكفِ حجة سمبليتشو أو بالأحرى حجة أوربان الثامن لتخفيف الفضيحة. فعلى الرغم من الحظر الذي تعرَّض له عام ١٦١٦ ساند جاليليو صراحةً نظام كوبرنيكوس. وفي سبتمبر ١٦٣٢ كان البابا قد شكل بالفعل لجنةً مهمتها كتابة تقرير عن عمل جاليليو.

وتضمن هذا الملف ثمانية اتهامات، يتعلق أحدها بالمد والجزر الذي «ينسبه جاليليو بالخطأ إلى حركة الأرض.»

(٨) محاكمة جاليليو لن تتم

ألا يمكن تجنب محاكمة جاليليو؟ من الصعب أن نعيد أجواء عصرٍ شهد قبل ثلاثة وثلاثين عامًا من محاكمة جاليليو محاكمة جوردانو برونو. ففي ١٧ فبراير ١٦٠٠ كان الفيلسوف الإيطالي جوردانو برونو (١٥٤٨–١٦٠٠) المتهم بالهرطقة؛ على وشك أن يُعدم حرقًا. كان برونو يدعي أنه ساحر، وبالتمادي في تفسير نظريات كوبرنيكوس أعلن أن الكون يحتوي على أكثر من عالَم مشابِه لعالَمنا. ومن وجهة نظر الكنيسة كان هذا الموقف غير مقبول. فماذا عن هذا الإله؛ فهل هو أب للعديد من الأبناء الوحيدين؟ وهل صلبوا جميعهم؟ كان برونو عبقرية متعجرفة ومثيرًا للمشاكل، فكان يتشاجر مع كل مضيفيه. وبعد أن قبضت عليه المحكمة الرومانية وألقته في السجن استجوبه الكاردينال بلارمينو مرات عديدة! ولا تتوقف المقارنة عند هذا الحد؛ كان سلوك جاليليو مستحقًّا هو الآخر للوم: «كان لدى جاليليو موهبة خاصة في أن يصبح بغيضًا في أعين زملائه، فكان بارعًا في جعل الناس يشعرون بتفوقه الفكري [...] وكان طموحه يدفعه باستمرار إلى التهكم على كلٍّ من يحاولون معارضته.»[٢٠]

فيما يتعلق بجاليليو كان موقف الكنيسة بسيطًا نسبيًّا. فبعد حركة الإصلاح المضاد لم تكن قراءة الإنجيل محلًّا لأي تفسير، على الرغم من أن ذلك كان مسموحًا به. ففي حين أن كل إنجيلي كان له الحق بل واجب عليه أن يعكف على مسائل العقيدة، كانت الكاثوليكية ترفض تقسيم العقائد، وتؤكد من جديد على قيمة العادات، وتقوم بالتشهير بأي انحراف عن التعاليم الألفية لآباء الكنيسة، معتبرةً إياه هرطقة. لكن لا يمكن اعتبار كتاب «الحوار» عرضًا موضوعيًّا لنظامَي العالم؛ فالكفة تميل بصورة واضحة ناحية كوبرنيكوس. وفي هذه الظروف ينتهك جاليليو مرسوم ١٦١٦ الذي يحظر تدريس نظرية مركزية الشمس للكون، وبالإضافة إلى ذلك يرتكز الدليل الذي يقدمه على حركة الأرض على نظرية خاطئة حول المد والجزر. كانت نظرية خاطئة في نظر خبراء الفاتيكان وفي نظر خبرائنا أيضًا.

كان الوضع غريبًا. فقد لامت محكمة كنسية جاليليو على خطأ في الاستدلال في المجال العلمي. وكان عالم لاهوت، الكاردينال بلارمينو، هو الوحيد ذا الرؤية الثاقبة

عندما تنبأ بأن جاليليو لن يكون قادرًا على إعطاء دليل علمي لحركة الأرض. وفقط في نهاية القرن السابع عشر اقترح نيوتن نظرية تفسر حركة الأرض والكواكب بالإضافة إلى ظاهرة المد والجزر في إطار متناسق. ولن يشكك أحد بعد نيوتن في حركة الأرض، لكن لا يزال الدليل التجريبي مفقودًا. فهل يستسلم مفكر بارع مثل بلارمينو أمام حجج نيوتن، أم قد يطالب أيضًا بإثبات تجريبي؟ لن يظهر هذا الدليل إلا لاحقًا وعلى مراحل متعددة.

عندما نذكر المحاكمة الشهيرة يجعل البعض من جاليليو البطلَ الذي دافع عن العلم ضد ظلمات الدين. لكن الكنيسة هزمته في مجال تخصصه؛ الميكانيكا. وفي المقابل عندما تعلق الأمر بتفسير الإنجيل، تفوَّق جاليليو على علماء اللاهوت. ففي عام ١٦١٦ دافع جاليليو عن نظرية مركزية الشمس للكون، مشيرًا لبلارمينو إلى أن نظام كوبرنيكوس لا يتعلق بالإيمان ولا بالأخلاق. ويرى جاليليو أيضًا أن كاتبي الإنجيل قد لاءموا كتاباتهم مع أفكار عصرهم ومفاهيمه، فيجب بالطبع أن نحافظ على الحقائق الأساسية للمسيحية، لكن ينبغي أن نأخذ بعين الاعتبار تطور المعارف عندما نعكف على النصوص التي تخص تكوين الطبيعة. لم يكن ذلك موقف بلارمينو، فحتى إذا كانت نظرية مركزية الشمس للكون لا تهدد مباشرةً الإيمان ولا الأخلاق، فهو مقتنع بأن الإقرار بها قد يزعزع سيطرة الكنيسة وتفسير الإنجيل بأكمله. فكان الجدال محتدمًا بين مُصلِح معتدل وسلطة قائمة ترفض أي تنازل حول أساس العقيدة. ولكن يوجد خطر كبير أن يتحول هذا المُصلِح في يوم ما إلى ثوري يكافح بكل قوة ضد العقيدة التي لم يكن يسعى في البداية إلا إلى تخفيفها.

وبعد محاكمة جاليليو بأربعة قرون تغيرت الأمور. ففي عام ١٩٧٩ أنشأ البابا جون بول الثاني لجنة مكلفة بردِّ اعتبار جاليليو، وأعرب «عن رغبته في أن يفحص علماء لاهوت وعلماء ومؤرخون حالة جاليليو بعمق.» وفي عام ١٩٩٢ صرح البابا جون بول الثاني أمام الأكاديمية البابوية للعلوم أن «الراعي يجب أن يبدي استعداده للتحلي بجرأة حقيقية، متجنبًا العقبة المزدوجة المكونة من الموقف المتردد والحكم المتسرع ...» وفيما يتعلق بالخيار الثاني نودُّ أن نطمئنَ الكنيسة، ففيما يتعلق برد اعتبار جاليليو، لم تتصرف على عجل.

وفي رسالته إلى كريستين دي لورين ذكر جاليليو العديد من المرات القديس أوغسطينوس (٣٥٤–٤٣٠). ونعلم عن طريق الرسالة أن أسقف بونة كان مهتمًّا بعلم

الفلك لكن اهتمامه هذا ربما كان يتطلب «أبحاثًا دقيقة وشاقة للغاية [لم يكن لديه] الوقت للقيام بها»، فقد كان كل وقته مخصصًا لتعليم الإيمان. ومن بين أقواله الأكثر أهمية: «إذا كانت سلطة الكتب المقدسة لا تتفق مع بداهة العقل ويقينه، فذلك يعني أننا لم نفهم [...] معنى الكتب المقدسة، أو أننا استبدلنا بالحقيقة إحساسنا الشخصي.» في الواقع لم تكن محاكمة جاليليو ضرورية.

كان جاليليو، وشأنه في ذلك شأن كوبرنيكوس، مقتنعًا بشدة بأن الأرض تتحرك، ولكنه مثل سلفه لا يستطيع أن يقدم الدليل. فهل هو مع ذلك شهيد العلم؟ وإذا كان قد وجب عليه دفع الثمن للمحكمة، فلم يكن ذلك بسبب أنه كان على حق، بل فقط لأنه اعتقد بنيَّة صادقة أنه يكفي أن يكون على حق لكي يقنع الآخرين بخطئهم.

تمت محاكمة جاليليو في النهاية ...

ففي صباح يوم ٢٢ يونيو ١٦٣٣ كان جاليليو سجين المحكمة الرومانية. وتم اقتياده إلى كنيسة سانتا ماريا سوبرا مينرفا مرتديًا سترة بيضاء يرتديها التائبون. وقرأ أمام الناس وثيقة ردة جاثيًا على ركبتيه أمام قضاته: «[...] من قلب صادق وبنيَّة صادقة، أرتد وألعن وأكره الأخطاء والهرطقات المذكورة أعلاه [...] وليساعدني الله وإنجيله المقدس الذي ألمسه بيديَّ.»

لم ينطق جاليليو قط بالعبارة الشهيرة: «ومع ذلك هي تدور!» وإلا كانت نهايته الحرق. وقد حُكم عليه بالسجن مدى الحياة ثم خفف البابا الحكم إلى الإقامة الجبرية. ثم عاش جاليليو بعد ذلك منعزلًا في فيلته في حي ألستري بالقرب من الدير الذي التزمت فيه ابنتاه بالنذور. وفي عام ١٦٣٤ ابتُلي بوفاة ابنته الكبرى الأخت ماريا سيلست ضحية لمرض صاعق. وفي عام ١٦٣٨ بعد ابتلائه بالعمى أصدر «الخطاب حول علمين جديدين».[٢١] ومنع المجمع الديني نشره ولكن أرسل جاليليو مخطوطه إلى مدينة ليدن لكي يتم نشره.

لم ييأس جاليليو قط.

الفصل الثامن

الخسوف أم الكرونومتر؟

(١) الخسوف الذي لاحظه كريستوفر كولومبوس

في بدايات عام ١٥٠٤، رسا كريستوفر كولومبوس الملاح القادم من مدينة جنوة (حوالي ١٤٥١–١٥٠٦) على الساحل الشمالي لجامايكا. وقبل هذا التاريخ بقرابة عامين، كان قد غادر مدينة قادس للقيام برحلته الرابعة والأخيرة في اتجاه أمريكا. كانت سفينته في حالة مزرية، وكان طاقمه متوترًا عصبيًّا. وقد اعتاد السكان الأصليون على الحذر من هؤلاء البحارة الطماعين القادمين من الشرق الذين يميلون إلى نهب قراهم، فرفضوا تزويدهم بالمؤن. وبسبب مرضه وشيخوخته المبكرة انعزل كولومبوس في غرفته للتأمل، فبدت الأمور لهذا المستكشف مقلقة. وفجأةً أخبرته تقويمات رجيومونتانوس الفلكية بنبأ عظيم من شأنه أن ينقذه. فمن المفترض أن يحدث خسوف قمري في ٢٩ فبراير ١٥٠٤.

طالما حلم كولومبوس في شبابه بقراءة الدليل الجغرافي لبطليموس. وكان قد أحضر معه على مركبه التقويمات الفلكية لعالِم الفلك الألماني رجيومونتانوس (جونس مولر، ١٤٣٦–١٤٧٦) الذي قضى كل حياته في التعريف بكتاب المجسطي. كان استخدام الجداول الفلكية حتميًّا لملاح أعالي البحار؛ لأنها كانت تتيح له تحديد خط العرض، وتعطيه فكرة غامضة جدًّا عن خط الطول. فإن خط عرض نقطةٍ ما على سطح الكرة الأرضية ليس إلا المسافة الزاويَّة التي تفصلها عن خط الاستواء، وتحديده يعني تحديد الدائرة الموازية لخط الاستواء التي تقع عليها. ويمكننا فعل ذلك بسهولة عن طريق مراقبة القبة السماوية، ولا سيما بتحديد ارتفاع النجم القطبي أو ارتفاع الشمس في منتصف الظهيرة، وفي هذه الحالة يجب مراعاة التغيرات الموسمية. وفي المقابل، يعتمد

قياسُ خطِّ طولِ موقعٍ ما على تحديد خط الزوال الذي يمر بهذه النقطة، وهي عملية أصعب؛ لأنه إذا كان يوجد تسلسل طبيعي للدوائر الموازية يقوم على قربها من خط الاستواء، وهو ملك الدوائر الموازية، فإن خطوط الزوال تنتمي إلى مجتمع ديمقراطي بطبيعة الحال؛ حيث يعاملها علم الفلك جميعها على قدم من المساواة. وفي مرصدين بعيدين أحدهما عن الآخر ولكن يقعان على الدائرة الموازية ذاتها، يكون مظهر الكوكبات متماثلًا، حتى إذا كان يتغير من يوم إلى آخر بصورة غير محسوسة، فلا تختلف إلا في قيمة خطوط طولِ كلٍّ منها التي توصَف بالساعة المحلية التي تمر فيها نجمة محددة بخط الزوال. فإذا مر نجم سيريوس في العاشرة مساء بخط زوال قادس، فسيقوم بالأمر ذاته في جامايكا في الساعة الثانية وخمس وأربعين دقيقة بعد منتصف الليل؛ فيكون معرفة خط الطول بواسطة فروق التوقيت. ولكن لم يكن يوجد في بداية القرن السادس عشر أي وسيلة موثوق بها لتحديد ذلك، ولن تُحل هذه المشكلة إلا بعد ١٥٠ عامًا.

كان وضع كولومبوس محفوفًا بالمخاطر ولا مجال للانشغال بهذه المشكلات. وكان الخسوف المتوقع كليًّا، وكان من المفترض أن يحدث بعد ثلاثة أيام. وإذا لم تكن جداول رجيومونتانوس خاطئة، فستكون الظاهرة مرئية من ناحية الساحل الذي رست عنده السفن. فقرر كولومبوس أن يخاطر بكل شيء، وأن يتحدث إلى السكان قبل تاريخ الخسوف بيوم، ونوى أن يهددهم بإخفاء القمر إن لم يوافقوا على تزويده بالمؤن.

وهكذا كان الأمر محفوفًا بالمخاطر. فمن الحقيقي أن التقويمات الفلكية لرجيومونتانوس تحدد ساعة الخسوف ومدته، ومن المفترض أن يكون الخسوف مرئيًّا من كل نقاط الأرض التي يمكن منها رؤية القمر. وبالإضافة إلى ذلك يتعين أن تكون الظروف المناخية ملائمة، وأن يحدث الخسوف في أثناء الليل، وهما ظرفان لا سيطرة له عليهما (ففي أثناء الخسوف القمري تكون الأرض بين الشمس والقمر، فلا يمكن إذن رؤية الظاهرة إلا ليلًا). ولا يستطيع كولومبوس أن يحدد بدقة في أي ساعة سيدخل القمر في منطقة ظل الأرض. وبما أنه كان يعتقد أنه وصل إلى الهند أفرط في تقدير فروق التوقيت بين أوروبا والجزيرة غير المضيافة التي وصل إليها. وعلى أي حال كان كولومبوس محقًّا في الحذر من التقويمات الفلكية، فهي لا تكون دقيقة إلا بالمقارنة مع الجداول الأكثر قدمًا.

وبعد أن قارن الإيجابيات والسلبيات قرر كولومبوس بدء التنفيذ. فقبل تاريخ الخسوف بيوم أعلن بمساعدة مترجم قراره بإغراق القمر في الظلام في حالة عدم تنفيذ

طلبه. لكن لم يتأثر السكان وضحكوا أمام كولومبوس الذي لم يعد يملك سوى الانتظار مُخفيًا عصبيته؛ فقد تم إعداد هذه الجداول منذ عشرات الأعوام، ولا تخص إلا الفترة من ١٤٧٥ إلى ١٥٠٦.

كان التوقع صحيحًا؛ ففي ليلة الخسوف عندما ظهر القمر كان قد دخل بالفعل بصورة جزئية في ظل الأرض. وفي وقت خسوفه كليًّا لا نرى سوى قرص يميل قليلًا إلى الاحمرار. فقام السكان المذعورون من الظاهرة ومن علم كولومبوس بالتوسل إليه بإعادة القمر إلى الضوء، وهو ما وافق عليه بكل سرور لا سيما أنه كان من الصعب عليه أن يرفض، ولكنه قام بتجميل ذلك؛ فانسحب إلى سفينته وحدد بالتقريب بواسطة ساعة رملية الساعة التي سيظهر فيها القمر من جديد. وقبيل نهاية الظلام أعلن أن إلهه قد استجاب لصلواته وأن القمر سيعود إليهم. ومنذ ذلك اليوم قام السكان بكل ما في وسعهم لإرضاء شبه الإله الذي يتحكم في القمر.

استفاد كولومبوس من هذا الموقف لتحديد خط طول النقطة التي وصل إليها، وهي المشكلة الدائمة لأي بحار من هذا العصر. فهو يعرف الساعة التي كان من المتوقع أن يحدث فيها الخسوف في أوروبا، ويمكنه أيضًا تقدير الساعة التي بدأ فيها في جامايكا بالتقريب. ولكن للأسف لا يعد ذلك كافيًا؛ فكولومبوس يقوده إحساسٌ خاطئ بأنه وصل إلى نقطة ما من الهند مما جعل قياسه خاطئًا؛ حيث يبتعد خط الطول الذي حدده عن قيمته الحقيقية بأكثر من ٤٠°.

كانت حادثة الخسوف تقريبًا نهاية ملحمة كولومبوس. ففي يونيو ١٥٠٤ عثرت سفينة إسبانية على كولومبوس وطاقمه في جامايكا وأعادتهم إلى إسبانيا وتُوفي كولومبوس هناك بعدها بعامين.

من الجدير بالذكر أن الخسوف القمري كان أمرًا أفضل لكولومبوس من الكسوف الشمسي، الذي من المرجح أن يكون غير مرئي في الناحية الأخرى من المحيط الأطلسي إذا كان كليًّا في أوروبا. فتتميز حالات الخسوف الكلي للقمر بمدتها الطويلة نسبيًّا وهو ما يلائم المفاوضات مع سكان جزيرة مهددين وتتميز أيضًا بأنها مرئية من كل نقاط الأرض التي يظهر فيها القمر. وفي ألبوم «معبد الشمس» استخدم تان تان كسوفًا شمسيًّا لإقناع شعب الإنكا بإطلاق سراحه، ولكن المدة القصيرة لحالات الكسوف الكلي للشمس، وهي ثماني دقائق على الأكثر، لا تدَع مجالًا من الوقت للتفاوض. وتولد هذه الظروف قلقًا لدى القراء من أن تظهر الشمس من جديد قبل الأوان؛ مما يقضي نهائيًّا على سيطرة تان تان عليها، ومن ثم على شعب الإنكا.

في عصر كريستوفر كولومبوس كان أرسطو وبطليموس لا يزالان الرائدَين المقدَّسَين لعلم الفلك، وكانت المراقبة الفلكية لا تتم إلا بِالعين المجردة. أما فيما يتعلق بتصور الكون، فلم يتغير منذ أن قدمه دانتي بصورة مبهرة في «الكوميديا الإلهية». ولم تكن التقويمات الفلكية لرجيومونتانوس تمثل إلا مرحلة من مراحل المراجعات الدورية للجداول الفلكية المذكورة في كتاب المجسطي. وفي البحر، كان تحديد خطوط الطول من أصعب الأمور؛ نظرًا لعدم وجود ساعات تتحمل رحلة بحرية. فعندما استعان كريستوفر كولومبوس بالخسوف القمري لتحديد خط طول الساحل الجامايكي، لم يكن يمتلك إلا آلة بدائية، ولم يكن لديه سوى فكرة غامضة عن فروق التوقيت بين الساعة المحلية وساعة قادس. ولا عجب إذا كان قياسه خاطئًا تمامًا، ففشله يعطينا فكرة عن الصعوبات التي طالما واجهت الجغرافيين وملَّاحي أعالي البحار.

(٢) فروق التوقيت

تعتمد معرفة خط عرض موقعٍ ما على معرفة المسافة الزاويَّة التي تفصله عن خط الاستواء. وفي المقابل يعني تحديد خط طوله تحديد المسافة الزاوية التي تفصله عن خط الزوال الذي يبلغ خط طوله صفرًا، والذي يعود الفضل في اختياره إلى التاريخ والسياسة فقط وليس إلى الطبيعة. فكان بطليموس يجعله يمر بالجزر الخالدات أو التي تسمى حاليًّا بجزر الكناري، لدرجة أنه في القدم كان العالم المعروف يمتد شرق هذا الخط. ولاحقًا حاول البعض كثيرًا أن يجعل من خط زوال باريس خط طول صفر، ولكن باءت هذه المحاولات بالفشل؛ لأن خط زوال جرينتش هو الذي صار كذلك. ولكن أيًّا كان اختيار خط الزوال الذي يبلغ خط طوله صفرًا، فمن الضروري أن نتناول مشكلة خط الطول عبر فروق التوقيت. فكان هيبارخوس قد ذكر أن اختلاف خط الطول بـ ١٥° يساويه فرق توقيت مدته ساعة: وترسم الشمس زاوية ٣٦٠° بطول دائرة البروج في ٢٤ ساعة. ولا غرابة في ذلك بمجرد إقرارنا بأن الأرض كروية. وحتى في القرن السادس عشر لم ينتبه مع ذلك مستكشفو أعالي البحار إلى نتيجة حتمية لهذا الوضع.

في يوم الخميس ٩ يوليو ١٥٢٢، رست السفينة الوحيدة الناجية من أسطول ماجلان في جزر الرأس الأخضر، وهي سفينة فيكتوريا التي كانت بقيادة الملاح الإسباني خوان سباستيان ألكانو (حوالي ١٤٧٦–١٥٢٦). وبما أن باقي الأسطول قد اختفى تعد فيكتوريا أول مركب تقوم بجولة حول العالم. ولكن عندما وطئت أقدام القائد وطاقمه

الأرض شعروا بصدمة؛ فقد كانوا يعتقدون أنه يوم الأربعاء، ولكن كان عليهم أن يتقبلوا الأمر؛ فقد كان تقويمهم متأخرًا بيوم. هل كان الملاح الإيطالي أنطونيو بيجافيتا المسئول عن هذا الخطأ؟ فعلى متن سفينة فيكتوريا كان هو المسئول عن الوقائع اليومية. ولكن في هذا الصدد كان يسجل كل يوم عددًا كبيرًا من الملاحظات المؤرخة بدقة، فسرعان ما تم استبعاده من دائرة الاتهام.

يعرف كلُّ مَن عبروا المحيطات آثار فروق التوقيت التي تختلف حسب سفرنا إلى الشرق أو إلى الغرب. وللقيام بجولته حول العالم رحل ماجلان إلى الغرب فعبر المحيط الأطلنطي قبل أن يصل إلى المحيط الهادئ عن طريق المضيق الذي يحمل اسمه. وفي هذه الظروف كان متوسط مدة الأيام التي عاشها ركاب سفينة فيكتوريا يتجاوز قليلًا متوسط مدة الأيام التي عاشها سكان جزيرة الرأس الأخضر الذين ظلوا على جزيرتهم، والذين شهدوا في المقابل شروقًا إضافيًّا للشمس. فعندما رست السفينة نهائيًّا في جزيرة الرأس الأخضر، كان على الملاحين أن يدفعوا ثمن ذلك بأن يقدموا تقويمهم بيوم واحد بما أن الوقت كان غير قابل للمد. فإذا كان ماجلان قد توجه إلى الهند وعاد عبر المضيق الذي يحمل اسمه فربما كان «كسب» يومًا بدلًا من «خسارته».

لتفادي هذا الفارق الذي يبلغ ٢٤ ساعة وضع الجغرافيون خط تغير التاريخ الذي، بدلًا من أن يتبع خط زوال، يتعرج عبر البحار لتجنب الأراضي وبعض السخافات القانونية التي قد تنجم. فقد فكر البعض في التعقيدات التي قد تواجه بناءً تقسمه إلى جزأين في آن واحد كلٌّ من الحدود السياسية وهذا الخط الغريب للفصل الزمني.[١] وفي القرن التاسع عشر لقي فيلياس فوج، بطل رواية «حول العالم في ٨٠ يومًا» للكاتب جول فيرن، مفاجأة مماثلة للمفاجأة التي عاشها بحارة سفينة فيكتوريا. فبذهابه إلى الشرق وعودته من الغرب كسب ٢٤ ساعة خلال رحلته الاستكشافية. ولكي يحْبك روايته، وضع جول فيرن ضمنيًّا خط تغير التاريخ في المحيط الأطلنطي بين الولايات المتحدة وبريطانيا العظمى، وهو موقع لم يحتله قط.[٢] فلو لم يكن فيرن قد فعل ذلك، لكان فوج ورفاقه قد أدركوا في الولايات المتحدة أنهم كسبوا يومًا خلال رحلتهم؛ مما كان قد حرم القارئ من الانقلاب المفاجئ في نهاية الرواية. ففي الليلة التي عاد فيها فيلياس فوج إلى لندن في نهاية جولته حول العالم كان مقتنعًا أنه قد مر ثمانون يومًا وبضع ساعات منذ رحيله. وفي هذه الظروف فَقَدَ رهانه، وبما أن المبلغ كان كبيرًا اعتقد أنه أفلس. ولكنه في الحقيقة عاد إلى لندن قبل الموعد المحدد بحوالي عشرين ساعة بفضل الـ ٢٤ ساعة التي

كسبها بسفره إلى الشرق. ولم يدرك خطأه إلا في وقت متأخر جدًّا، لدرجة أنه لم يذهب إلى ناديه إلا في اللحظة الأخيرة.

تثبت هذه الأمثلة أن قياس خط الطول وقياس الوقت يرتبطان أحدهما بالآخر ارتباطًا وثيقًا. فيتعين على من يريد أن يعرف خط الطول في البحر أو فيما وراء البحر أن يجد سبيلًا إلى تحديد فروق التوقيت مقارنة بميناء قيدِه الأوروبي.

(٣) السماء تزخر بالساعات

ثمة وجهان لمشكلة تحديد خط الطول: وجه يخص الجغرافيين الذين يريدون أن يكون رسم الخرائط بأكثر دقة ممكنة، ووجه يخص البحارة الذين يريدون بصفة خاصة أن يعرفوا أين هم قبل النظر في خرائط دقيقة. فخلافًا للفريق الأول الذي ينتشر نشاطه على أرض صُلبة، فإن معرفة الفريق الثاني لخط الطول ليست ضرورة حتمية إلا في المسافات البعيدة عن اليابسة، إلا أنه في الأساس يستطيع الفريقان اللجوء إلى طرق تحديد خط الطول ذاتها، وتنقسم هذه الطرق إلى قسمين كبيرين.

لنتخيل أن شخصًا ما قد استكمل مسيرة كريستوفر كولومبوس في جزر الأنتيل، وكانت معارفه في علم الفلك معارف بحَّار جيد، ويمتلك أيضًا جداول التقويمات الفلكية الحديثة وساعة موثوقًا بها بالقدر الكافي، بالإضافة إلى أدوات فلكية ذات جودة عالية، سواء أكانت آلة السدس أم الأسطرلاب. ولو كنا في القرن السابع عشر لكان من الممكن أن يستخدم التليسكوب. وعلى أي حال يستطيع أن يحدد التوقيت المحلي ولا يكون ذلك إلا بملاحظة الشمس. ولمعرفة خط طولِ مكانٍ ما لا يبقى له سوى مقارنة التوقيت المحلي بتوقيت ميناء قيدِه أو توقيت أي موقع آخر في أوروبا.

في هذا الموقف أنقذ علم الفلك مستكشفنا؛ فيمكنه أن يلاحظ خسوفًا قمريًّا أو كسوفًا شمسيًّا، وأن يدوِّن في أي توقيت محلي بدأ وانتهى، وأن يقارن القيم المحددة في الجداول، ثم يتعين عليه أن يحوِّل فروق التوقيت إلى درجات خط الطول. ولا يُعد هذا الحساب سهلًا؛ لأن هيئة الكسوف وتطوره ومدته ليست مماثلة إذا لاحظنا الظاهرة في جزر الأنتيل أو في قادس، وهو ما لاحظناه من قبل فيما يخص الكسوف الكلي في بابل.

لمقارنة التوقيت المحلي مع التوقيت الأوروبي يستطيع المستكشف عند الاقتضاء أن يستفيد من حجب القمر لنجمة ما. ففي أثناء مساره الليلي قد يحجب القمر نجمة ما، وهو حدث يوفر للمراقب ميزات الكسوف مع كونه أكثر حدوثًا. ولكن يمكن مقارنة

العيوب بين الطريقتين، فحتى القرن التاسع عشر كانت حركة القمر غير معروفة جيدًا، وكانت الخرائط النجمية غير مكتملة أو غير دقيقة.

وفيما يتعلق بالساعة، فلدى السماء ما تقدمه أفضل من كسوف الشمس أو خسوف القمر، وأفضل من حجب القمر للنجوم. ففي عام ١٦١٠، كشف تليسكوب جاليليو عن وجود أقمار المشتري الأربعة (الفصل السادس).

يمكن مقارنة قطر أقمار جاليليو بقطر القمر.[٣] ويفسر هذا الحجم قدرة جاليليو على رؤيتها في تليسكوبه. وتدور الأقمار الأربعة كلها بسرعة حول كوكبها. وبما أن إيو هو الأقرب للمشتري فهو الأكثر سرعة؛ حيث إنه يقوم بدورانه في يوم و١٨ ساعة و٢٩ دقيقة، فيدخل في منطقة ظِل المشتري كل ٤٢,٥ ساعة. ويمكننا تشبيه المشتري بساعة سماوية يكون إيو عقربها الصغير، ولكن تمتلك هذه الساعة ثلاثة عقارب أخرى أقل سرعة. ويمكن النظر إلى الساعة في أي نقطة من على سطح الأرض، شريطة أن يُقبِل الليل وأن تكون السماء صافية. فيمكن اعتبار ذلك أداة مثالية لتحديد خط الطول. وقد حدد مرصدٌ مرجعيٌّ التقويماتِ الفلكيةَ لإيو وركَّز على حالات خسوفه الماضية والمستقبلية، والتي حدد تاريخها وساعتها وفقًا لتقويمه وتوقيته الخاص. ويمكن هكذا للمراقب البعيد عند ملاحظة حالات خسوف إيو التي يسجل فروق توقيتها أن يحدد خط طول المكان الذي يوجد به.

تلك كانت بالفعل فكرة جاليليو. فبعد أن تحدث مع ملك إسبانيا تواصل جاليليو مع المقاطعات المتحدة، هولندا حاليًّا. فقد كان يريد أن يبيع لهم مشروعه لكن لم ينجح الأمر لأنه لم يُعِدَّ جداول الخسوف، فلا قيمة لفكرة جاليليو دونها. وفي الحقيقة يمثل إعداد جداول أقمار المشتري مهمة تتطلب أدواتِ مراقبة معقدة وحسابات مطولة. إلا أن فكرة جاليليو تعدُّ جيدة، فحتى إذا كانت ساعة إيو تدور بصورة غير منتظمة، فمن المفترض أنه يمكن التنبؤ بهذه الاهتزازات. ولكن لا ينتظر علماء الفلك المفاجأة التي تخفيها لهم.

(٤) أوول رومر

في عام ١٦٦٦، أسس الملك لويس الرابع عشر الأكاديمية الملكية للعلوم بناء على طلب من كولبير وزير ماليته. ولا يعد كولبير مناصرًا لمذهب الفن للفن أو نظرية المعرفة المطلقة، فهو يفكر في التطبيقات المحتملة للعلوم. وعلى الفور كُلفت الأكاديمية بإعداد

خرائط جغرافية جديدة أكثر دقة. وللقيام بهذا العمل تمثل أقمار إيو مجالًا خصبًا. ويتعين ضم أعضاء إلى هذه الأكاديمية وربما يتم تعيينهم من الخارج إذا اقتضى الأمر. فكان أحدهم عالم الفلك جون-دومينيك كاسيني (١٦٢٥–١٧١٢) الذي كان اسمه الأول جيوفاني-دومينيكو عندما تم تعيينه في مدينة نيس. وكان يتعين عليه المشاركة في بناء مرصد باريس الذي سيديره بنفسه. وبما أنه كان يمتلك تليسكوبًا أكثر تطورًا من تليسكوب جاليليو اشتهر بدراسة كوكبَي المشتري وزحل، وتصدى لمشكلة خط الطول وتحسين الخرائط.

وعلى غرار أي علم، يقوم علم الفلك على المكتسبات السابقة. ومن هذا المنطلق، لا يمكن التنازل عن ملاحظات تيخو براهي المبهرة التي ستصبح أكثر قيمة عندما نعرف بصورة أفضل خط طول أورانيبرج، المرصد الذي شيده على جزيرة هفين (الفصل السادس). فقد أرسل كاسيني عالم الفلك الفرنسي جون بيكار (١٦٢٠–١٦٨٢) إلى هناك. ووفقًا لمهمته كان بيكار يراقب حالات خسوف إيو لتحديد خط طول الجزيرة. وبمجرد انتهاء مهمته حمل في حقائبه كمية هائلة من الملاحظات الخطية لتيخو. ولكنه قام بما هو أفضل من ذلك؛ إذ أحضر معه إلى باريس فلكيًّا واعدًا من الدنمارك، يُدعى أوول كريستنسن رومر[٤] (١٦٤٤–١٧١٠)، وفي وقت وصول بيكار إلى كوبنهاجن كان هو يعمل على نشر مخطوطات تيخو. وسيقيم بعدها رومر في باريس عشرات الأعوام، وسيصبح بارزًا بصفته عالم فلك ومهندسًا. وسيجعله لويس الرابع عشر الوصي على ابنه وهو ما يعد إسرافًا حقيقيًّا للكفاءات، خاصةً عندما نتذكر الحماقة الفطرية التي سيتسم بها ابن الشمس المتوَّجة طيلة حياته. ولكن فيما يتعلق بتاريخ العلوم، سيظل رومر قبل كل شيء عالم الفلك الذي استطاع أن يستفيد بأفضل طريقة من حالات خسوف إيو.

(٥) الانغمار والانجلاء ليسا مترادفين

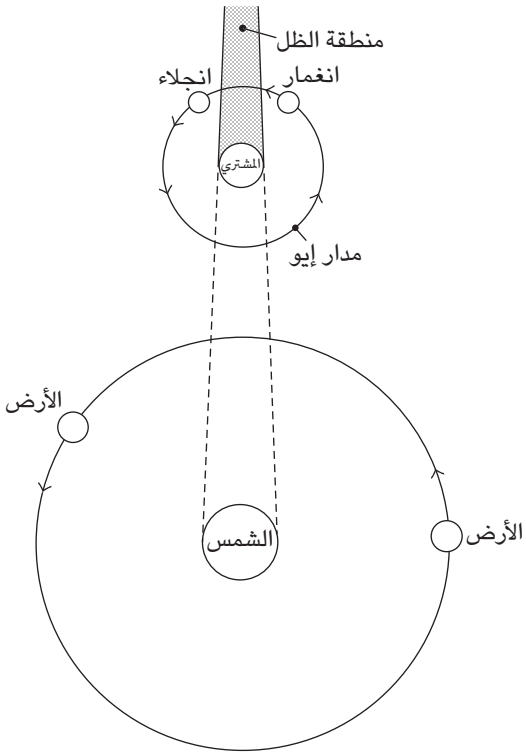
في عام ١٦٧٢، أعد كاسيني جدولًا محددًا لحالات خسوف أقمار جاليليو الأربعة. وبهذه المناسبة أشار إلى ملاحظة في غاية الأهمية؛ فأحيانًا كانت حالات خسوف إيو تحدث «مبكرًا» وأحيانًا أخرى تحدث «في وقت متأخر»؛ فكانت حركة إيو تشهد حالات من عدم الانتظام. فمن الحقيقي أنه طالما تحدى قمر الأرض نفاذ بصر علماء الفلك، لكن عدم انتظام إيو لا يشبه حالات عدم انتظام القمر. ففي الوقت الذي كان نيوتن وخلفاؤه يستعدون لحل لغز نجم الليل، كان إيو يمثل لغزًا جديدًا لعلماء الفلك. ويعود الفضل

إلى رومر في فهم سبب هذه الحالات من عدم الانتظام. ولتحقيق ذلك قام باكتشافٍ مهم. ففي أوائل شهر سبتمبر ١٦٧٦، أعلن رومر إلى أعضاء أكاديمية العلوم أن خسوف إيو المتوقع حدوثه في التاسع من نوفمبر سيحدث بتأخير يبلغ عشر دقائق بالضبط عن الموعد المحدد. وعندما أثبتت المراقبة صِدق توقعه، شرح رومر كيف استطاع فعل ذلك. إن اكتشاف قائمة مخطوطة لحالات خسوف إيو قبل عام ١٦٧٦ يسمح بتخيل التسلسل المنطقي الذي اتبعه رومر لأنها مكتوبة بخط يده.

لتحديد فترة دوران إيو حول المشتري يتعين على علماء الفلك رصد حدث مميز يمكن رؤيته بوضوح ويحدث مرة واحدة خلال الدوران. ويختلط الأمر بين الوقت الذي يفصل بين حدوث هذه الظاهرة مرتين متتاليتين وفترة الدوران مثلما تُرى من الأرض. وهنا تكمن خاصةً فائدة حالات الخسوف. فيعد دخول القمر في منطقة الظل «الانغمار» مثالًا ممتازًا للحدث المميز الذي يصلح أن يكون مؤشرًا زمنيًّا. ويمكن «للانجلاء»؛ أي الخروج من منطقة الظل، أن يقوم بالدور ذاته (شكل ٨-١). توجد مفاجأة! لا يكون الاختيار بين الانغمار والانجلاء عشوائيًّا عندما يتعلق الأمر بقياس فترة إيو.

في الحقيقة عندما يطلع رومر على قائمة حالات خسوف إيو في الخمسة أعوام السابقة لإعلانه لأكاديمية العلوم عن توقعه، يجد نفسه في مواجهة الْتواء نظامي. فإذا قام بقياس فترة إيو بين انغمارين متتاليين فسيحصل على قيمة منخفضة باستمرار عن تلك التي يحصل عليها إذا اعتمد على حالتي انجلاء. ويبلغ الفرق في المتوسط ١٥ ثانية، وهو ما يعد كبيرًا مقارنة بفترة دورانه حول المشتري وهي ٤٢ ساعة. ويبدو هذا الاستنتاج للوهلة الأولى صاعقًا؛ فإن مدة طول اليوم هي ذاتها، سواء أقسناها في باريس أم في نيويورك، ومن المفترض أن يكون الأمر كذلك مع مدة دوران إيو سواء أقسناها بين انغمارين أم انجلاءين متتاليين. فماذا يحدث؟

قد يرى رومر في تذبذب فترة إيو تأثيرًا غامضًا للانغمار أو الانجلاء على مدار القمر، وسيكون ذلك خطأ في التسلسل المنطقي يسعى عالم الفلك إلى تفاديه بعناية. ففي الواقع عندما يختار عالم فلك أن يقيس الفترة بين انغمارين متتاليين تقترب الأرض من المشتري ومن ثم من إيو، في حين أنه عندما يختار أن تكون حالة انجلاء نقطة الاستدلال، تبتعد الأرض. فهي مسألة سهلة (شكل ٨-١). وقد أدرك رومر أن ما يعد حاسمًا في أثناء قياس فترة إيو هو حركة الأرض، منهيًا بذلك نقاشًا يمتد منذ القدم ويتعلق بما كان يطلق عليه آنذاك «الحركة المتتالية» للضوء.



شكل ٨-١: بالتقريب الأولي تكون مسارات الأرض والمشتري حول الشمس ومسار إيو حول المشتري دائرية وتندرج في المستوى ذاته، فتُرسم المدارات الثلاثة في الاتجاه ذاته. وخلال كل دوران يدخل إيو منطقة ظِل المشتري. فيرى عالم الفلك أنه عندما تقترب الأرض من المشتري يكون من الأسهل مراقبة انغمار إيو في ظل المشتري، وعندما تبتعد الأرض عنه يكون من الأسهل مراقبة الانجلاء.

(٦) هل ينتشر الضوء بصورة لحظية؟

كان اليونانيون باستثناء إيمبيدوكليس يعتقدون أن الضوء ينتشر بصورة لحظية. وكان عالم الرياضيات والمهندس هيرون السكندري (القرن الأول) يعتقد أن سبب الرؤية هو انبعاث من العين، وأشار إلى أن من يغلق عينيه ثم يرفع رأسه إلى السماء في أثناء الليل

يرى على الفور النجوم بمجرد أن يفتح عينيه. فكان هيرون يعتقد أن عدم وجود أي وقت للإدراك هو دليل على الطابع اللحظي لانتشار الضوء.

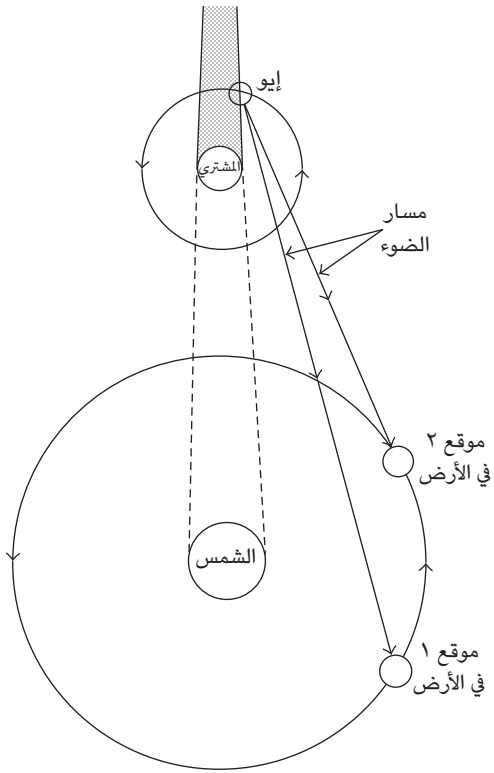
استمر النقاش في العصور الوسطى لدى علماء الإسلام ولا سيما لدى الطبيب والفيلسوف والمتصوف الإيراني ابن سينا (٩٨٠–١٠٣٧) الذي كان يعتقد أن الضوء سببه انبعاث جزيئات من المصادر المضيئة، فاستنتج أن انتشار الضوء لا يكون إلا بسرعة محدودة، إلا أنه نظرًا إلى غياب الدلائل التجريبية كان الجدال يضيع في مناقشات عقيمة. وقام جاليليو بمحاولات جادة لإعداد مقياس لكن سرعة° الضوء كبيرة جدًّا بدرجة لا تسمح له بالتوصل إلى أي نتيجة. ولكن ها هو رومر يمتلك حجة جادة تؤيد الحركة المتتالية للضوء؛ أي إن سرعة انتشاره ليست محدودة فقط بل أيضًا يمكن قياسها وذلك على أقل تقدير. وكان أسلوب حجاجه بسيطًا ومقنعًا في آن واحد.

ويقول رومر: لنفترض أن الأرض تقترب من المشتري، وأن عالم فلك يشهد انغمارين متتاليين لإيو. فإذا انتشر الضوء بسرعة محدودة، يشهد عالم الفلك الانغمار الأول بتأخر بسيط، وهو الوقت الذي تطلبته الإشارة الضوئية للوصول إلى الأرض. وبعد ٤٢ ساعة يشهد الانغمار الثاني. ولكن هذه المرة بما أن الأرض اقتربت من المشتري وإيو، تستغرق الإشارة الضوئية وقتًا أقل للوصول إلى عالم الفلك. وبذلك تكون المعلومة التي استخرجها من ساعة إيو السماوية خاطئة؛ فتبدو فترة إيو قصيرة جدًّا (شكل ٨-٢). وفي المقابل عندما يراقب انجلاءً لإيو تبتعد الأرض عن المشتري لدرجة أن الفترة تبدو له طويلة جدًّا. يعرف رومر حركة كلٍّ من الأجرام الثلاثة المشتركة في القياس — المشتري والأرض وإيو — ويمكنه إذن تقدير الوقت الذي يحتاجه الضوء ليعبر مسافة مساوية لقطر المدار الأرضي.

يدرك عالم الفلك الدنماركي الشك الذي يحوم حول ملاحظاته ويعرف أن قيمة المسافة بين الأرض والشمس بقياسات القرن السابع عشر غير دقيقة. ولكنه يجهل إذا كانت سرعة الضوء ثابتة وخاصةً إذا كانت تتغير وفقًا لسرعة المصدر، لدرجة أن رومر لم يُصدر قط تقديرات لسرعة الضوء. ولكن هالي هو من حدد له في عام ١٦٩٤ قيمة قريبة جدًّا من تلك المعترف بها حاليًّا؛ وهي حوالي ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر/ثانية.

(٧) دوبلر قبل دوبلر

كان رومر يعطي أولوية لإيجاد حجج تدحض الانتشار اللحظي للضوء أكثر من اعتنائه بمحاولة تحديد سرعته بالأرقام. فكان يعتقد أن اكتشافه لن يكون ثريًّا بأي حال من



شكل ٨-٢: لا يرى المراقب الأرضي انغمار إيو في الوقت الذي تحدث فيه الظاهرة، ولكن يراه فقط عندما تصل الإشارة الناتجة إلى الأرض عند موقع ١. وخلال الدوران التالي لإيو تكون الأرض قد اقتربت من الشمس فتحتل الموقع ٢، فيكون الفارق الزمني لمشاهدة الانغمار الثاني أقصر بما أن المسافة التي يقطعها الضوء قد صارت أقصر.

الأحوال إذا استكمله بتقدير رقمي تقريبي. واليوم نشير بالحرف c إلى سرعة الضوء في الفراغ (٢٩٩٧٩٠ كيلومترًا/ثانية)، ونجده أيضًا في مجالات أخرى في الفيزياء. فتنتشر موجات الراديو خاصةً في الفراغ بالسرعة ذاتها. وعلى غرار شحنة الإلكترون أو قياسات مساوية أخرى، يعد الحرف c من الثوابت الكونية (الفصل الثاني عشر)؛ نجده ثابتًا لا يتغير في كافة المناطق المستكشفة من العالم، ولكننا نجهل لماذا يشار إليه بالقيمة المقيسة وليس غيرها.

يرى الفيزيائيون أن اكتشاف رومر يتميز بأنه يستبق اكتشافًا تجريبيًّا آخر وهو تأثير دوبلر. فعندما يقترب مصدر صوتي ويبعث صوتًا ذا ارتفاع ثابت، يبدو الصوت أكثر حدة مما هو عليه إذا ابتعد المصدر؛ ففي عام ١٨٤٥ تحقق العلماء من تأثير دوبلر السمعي بواسطة قاطرة تجر عربة مكشوفة كان يوجد بها بعض عازفي آلة البوق. فيجد المراقب أن اقتراب المصدر الصوتي يقلل من الفترة الظاهرية للصوت، أو بعبارة أخرى يزيد من تردده فيبدو الصوت أكثر حدة. ويوجد أيضًا تأثير دوبلر البصري الذي يَزيد أو يُقلل من التردد الضوئي الظاهري حسب اقتراب أو بُعد المصدر والمراقب. وهذا ما يحدث بالضبط لعالم الفلك الأرضي عندما يقيس فترة دوران إيو، فتبدو المدة التي تفصل انغمارين متتاليين أنها تقل؛ لأن الأرض تقترب من مصدر الإشارة البصرية. ولا مجال للتساؤل إذا كانت الأرض هي التي تقترب من المشتري أو إذا كان العكس هو الصحيح. فوفقًا للتحليلات الأخيرة لا معنى لهذا السؤال.

بفضل كاسيني ورومر أصبحت أخيرًا ساعة المشتري بالإضافة إلى الساعات السماوية أدواتٍ يثقُ بها راسمو الخرائط. كانت الخرائط القديمة تبالغ بصورة غريبة في مساحة القارات، ويُحكى أن لويس الرابع عشر كان يشتكي من أنه فقد أراضيَ أكثر بسبب علماء الفلك من تلك التي فقدها بسبب أعدائه!

أما البحارة فظلوا مُعطَّلين.

(٨) الزمرد ومسحوق المشاركة الوجدانية

على متن سفينة تهتز وتترنح في القرن السابع عشر كانت ظروف مراقبة السماء سيئة جدًّا بدرجة لا تسمح بتحديد خط الطول بدقة كافية. ولم يكن لدى القبطان خيار سوى أن يسجل خلال رحلته الوقت المستغرق واتجاه الرياح وقوتها. ويحتفظ تاريخ البحرية بذكريات مؤلمة من هذا العصر.

في أكتوبر عام ١٧٠٧ عاد أسطول الأميرال كلاوديزلي شوفيل منتصرًا من جبل طارق بعد بعض المناوشات مع أسطول لويس الرابع عشر. وقد انعدمت الرؤية بصورة كبيرة بسبب ضباب شديد، ويوجد خطر بالغ من أن يرسو الأسطول على صخور قريبة من الساحل. فيتعين تحديد موقع الأسطول بصورة عاجلة. وعلى متن الأسطول ظل الرأي العام هادئًا، فالجميع مقتنع بأن الأسطول في مأمن في عرض جزيرة أوسان، ولكن علا صوت واحد شاذ وسط هذه الحفلة المتناغمة: فيؤكد أحد أفراد الطاقم أن الأسطول

يتجه بسرعة إلى ضياعه؛ لأن تقدير خط الطول خاطئ. ويتعين أن يكون الخطر كبيرًا لكي يعرب بحار ثانٍ عن رأيه؛ فالقانون البحري يمنعه من حساب موقع السفينة، فلقنه الأميرال درسًا بشنقه بحبل قصير بسبب التمرد.

لا يفيد في شيء إعدام الرسل الذين يحملون أنباءً سيئة. ففي ٢٢ أكتوبر ١٧٠٧ اصطدم الأسطول بصخور جزر سيلي، وهي امتداد لمقاطعة كورنوال الإنجليزية. فغرقت أربع سفن من خمسٍ بكل ما تحمل من أجسام وممتلكات، ولقي ألفا شخص حتفهم غرقًا. لم يَنْعَم الأميرال نفسه إلا بإرجاء قصير للموت، فبعد أن نجح بمشقة بالغة في البقاء على سطح المياه، قُتل بمجرد أن لمس الرمل الجاف، فقد تسبب الزمرد الذي يحمله في إصبعه في فنائه. إن هذه القصة المثبطة للمعنويات انتهت على الرغم من كل شيء نهايةً متفقة مع القانون الإلهي. فبعد ثلاثين عامًا اعترفت امرأة ورعة على فراش موتها بالجريمة لكاهن كنيستها، وأظهرت الخاتم دليلًا على جريمتها الشنعاء وندمها.

حدثت كارثة جزر سيلي بعد قرنين من الخسوف الذي شهده كريستوفر كولومبوس. وفي غضون تلك الفترة كانت اكتشافات كوبرنيكوس وجاليليو وكبلر ونيوتن قد أحدثت ثورة في علم الفلك، ولكن بما أن البحارة لا يمكنهم الاعتماد على تطورات هذا العلم، كان يتعين إيجاد شيء آخر. وبما أن مشكلة تحديد خط الطول أخذت تتفاقم بلا هوادة، اعتقد الجميع أنه مسموح لكلٍّ منهم بتقديم اقتراحه الشخصي. فكان بعض الحلول مبتكَرًا وبعضها غريبًا. وكان يوجد اقتراح بتغطية المحيطات بشبكة من السفن المسطحة المزودة بمدافع تطلق نيرانها بفاصل زمني منتظم، وتصبح هكذا منارات صوتية ضخمة. فيقلل صاحبو هذا الاقتراح من شأن مشكلات إرساء هذه السفن في قاع المحيط، وينسَون أيضًا أن انتشار الصوت على سطح البحار يحمل العديد من المفاجآت.

إذا كان هذا الاقتراح يبدو لنا غريبًا فماذا عن استخدام «مسحوق المشاركة الوجدانية»؟ إن هذه الكارثة، التي تُدعى مسحوق الدجالين، قد اكتشفها شخص يُدعى سير كِنِلم ديجبي، ويعتقد مخترعها أنها تمتلك القدرة على الشفاء عن بعد. إن جاليليو، الذي كان يتعجب من قدرة القمر على التأثير على المحيطات عن بعد، ربما كان قد تصدى بقوة لمسحوق المشاركة الوجدانية. وكان من المفترض أن يضع المعالِج هذا المسحوق على ضمادة الشخص الذي يعاني أو على السكين الذي جرحه. وعلى الرغم من أنه يبدو غريبًا فإن الدواء لم يكن غير مؤلم، وهذا على الأقل ما ادعاه مروِّجه. ففي أثناء تجربة ذلك يقوم المريض أينما كان بالقفز ويحرك أطرافه ويتأوَّه ويتلوَّى من الألم. ولكن العلاج مضمون في أي ظروف. ولا تؤثر المسافة بين المريض وضمادته.

إن استخدام مسحوق المشاركة الوجدانية لحل مشكلة خطوط الطول يعتمد على منطق معين، لدرجة أن هذا الاقتراح يعود إلى عام ١٦٨٧. فأوصى البعض بجرح كلب ثم علاجه بضمادة نبقيها على اليابسة، بينما نحمل الكلب المريض على متن سفينة متجهة إلى أعالي البحار. ويتعين على شخص موثوق به أن يقوم كل يوم في الساعة ذاتها بوضع المسحوق على الضمادة، فسيقوم الكلب بالنباح على السفينة. ويستطيع القبطان أن يعلم خط طول السفينة من الفارق بين التوقيت المحلي وساعة تطبيق العلاج.

بعيدًا عن جنون الفكرة، يمكننا أن نسجل بعض النقاط الغامضة. فإذا كان المسحوق ذا فاعلية حقيقية فمن الممكن أن يُشفى الكلب فيتوقف عن التفاعل بعد بضعة أيام؛ لذا يقترح بعض المؤرخين أنه في أثناء الرحلات الطويلة يتعين جرح الكلب عدة مرات، ولكن هل سيكون للمسحوق تأثير بما أن الجرح الجديد لم يتواصل مع الضمادة التي ظلت على اليابسة؟ فكلها أسئلة خطيرة يمكن أن تجيب عنها سلسلة من التجارب الموثقة جيدًا. تكمن القوة الهائلة للجاهلية في صعوبة مواجهتها مع الخطوات العلمية.

اقتُرحت طرق أخرى لتحديد خطوط الطول في أعالي البحار وتم تجربتها، وكانت أقل ثورية من مسحوق المشاركة الوجدانية، ولكن باءت جميعها بالفشل. وتسببت هذه المشكلة في قلَق الملاحين الذين يخشَون على حياتهم وأصحاب السفن القلقين على أموالهم والقيادة البحرية الحريصة على حماية أسطولها. ولحل هذه المشكلة صدر «قانون خط الطول» في عام ١٧١٤ في ظل حكم الملكة آن، ووعد هذا القانون بمنح جائزة قدرها ٢٠٠٠٠ جنيه — ما يعادل ملايين الدولارات حاليًّا — إلى من يقترح طريقة من شأنها تحديد خط الطول بدقة تزيد أو تنقص بنصف درجة بحد أقصى. وكلما قلت دقة الصيغة يقل المبلغ بالقدر ذاته. وللحكم على قيمة الاقتراح عُينت لجنة حكم رسمية وهي مجلس خطوط الطول الذي يتألف في الأساس من بعض العلماء وضباط البحرية.

فيما يتعلق بالبحرية كان أحد حلول مشكلة خطوط الطول يتمثل في ابتكار ساعة دقيقة وتعمل حتى في البحر. وفي ظل وجود هذه الأداة على متن السفينة قد يستطيع القبطان أن يسجل مرور الشمس بخط الزوال؛ مما يحدد منتصف الظهيرة بالتوقيت المحلي ثم يعاين الساعة التي تبرز توقيت ميناء القيد. فيمكن إذن استنتاج خط الطول مباشرةً من فارق التوقيت الملاحظ.[٦] وكان علماء الفلك يرون أن هذا الحل عيبُه الخطير هو عدم اعتماده على التطورات الأخيرة لعلم الفلك.

للمصادفة نتائج مثالية. ففي إنجلترا كان يوجد صانع ساعات مستعد لقبول التحدي.

(٩) جون «خط الطول» هاريسون

وُلد الإنجليزي جون «خط الطول» هاريسون (١٦٩٣–١٧٧٦) في يوركشاير من أسرة نجارين. ربما لا نعرف شيئًا عن طفولته إلا أنه «ثقف نفسه بنفسه بالشعور بالتعطش للمعرفة ذاته الذي أحسه أبرهام لينكولن الذي كان يدرس بالمساء على ضوء الشمعة [...] بدأ هاريسون حياته نجارًا وقضى الثلاثين عامًا الأولى من حياته بعيدًا عن أضواء الشهرة قبل أن تتسبب أفكاره في جذب انتباه العالم.»[٧] تُزين هذه المقدمة المثالية هذه الحكاية الخارقة، ولكن الحكايات الخارقة قاسية وتعجُّ بالساحرات. ولا تمثل حياة جون هاريسون استثناءً، باختلاف أن علماء الفلك، لا الساحرات، هم من تسببوا في غالبية مَتاعبه. ويتعين أيضًا أن نُضيف إلى ذلك سعيَه إلى الإتقان الذي ربما كنَّا نميل إلى وصفه بالمرضِي، وإن لم يكن قد قاده تحديدًا إلى الإتقان.

لم يحظَ هاريسون بفرصة الالتحاق بالمدارس العليا، لكن تعطشه إلى القراءة جذب انتباه أحد هؤلاء الذين يستأثرون بميزة الثقافة في أرياف القرن الثامن عشر الإنجليزي: الكهنة الأنجليكانيين، فأهداه أحدهم نسخة مخطوطة لسلسلة من المؤتمرات المخصصة للفلسفة الطبيعية، هذا المصطلح الجميل الذي أنكرته مفردات اللغة الفرنسية الحالية. وسيظل محتفظًا طوال حياته بهذا العمل الذي يحترمه إلى جانب كتاب «المبادئ» لنيوتن. وفي المقابل لم يحظَ شكسبير بإعجابه؛ فقد كانت أعماله محرَّمة في منزله.

صنع هاريسون أول ساعة له قبل أن يكمل عامه العشرين، ولكن «لماذا اضطلع بهذه المهمة وكيف أجادها دون أي خبرة في مجال الساعات، تلك كانت الألغاز.»[٨] وما يدهش في الأمر أن ساعته الأولى، التي لا تزال موجودة، مصنوعة من الخشب بصورة شبه كاملة، والأمر ذاته للساعتين التاليتين والساعة التي تزين برج قصر والتي لا تزال تعمل حتى الآن. ففي أثناء صناعتها كانت معارف هاريسون في صناعة الرياش قد وصلت إلى حد من الإعجاز. وكانت عناصر الساعة تعمل دون مادة مزلقة؛ لأن هاريسون قد اختار خشبًا خاصًّا قادرًا على إفراز زيته الخاص، وهو ما يعد إتقانًا كبيرًا. وكان سير الساعات في هذا العصر عشوائيًّا، فبسبب تأثير تغير درجات الحرارة كانت الزيوت تتكثف أو تسيل باستمرار.

كان هاريسون نابغًا في التقنيات مما يتطلب منه كفاءات علمية نادرة. وطوال حياته المهنية صنع العديد من الساعات والكرونومترات، تعود هذه الكلمة تحديدًا إلى هذا العصر. ولكي يحرز تقدمًا في موضوع الانضباط، كان يتعين عليه أن يكافح دائمًا

ضد الآثار السلبية لتغير درجة الحرارة والضغط وللاستعمال والحك. وكان هاريسون يجد دائمًا الحلول. فكان يتعين عليه أيضًا أن يتحقق من دقة ساعاته بما أنه لم يكن يوجد أي مقاييس كرونومترية. وأين نجد هذه المقاييس إلا بملاحظة الحركة اليومية للنجوم وسير الشمس؟ فهما وحدهما يستطيعان أن يصبحا علامات مؤكدة. ويتعين أيضًا معرفة تفسيرهما، مما يفترض امتلاك صانع الساعات لمعارف جيدة في علم الفلك، فيجب عليه أن يعرف بصفة خاصة أن سير الشمس غير منتظم، وأن الساعة المضبوطة جيدًا لا تعطي إلا متوسط الوقت الشمسي، إلا أن هاريسون كان متقنًا لهذه المفاهيم. فقد كانت الاختبارات الدورية التي كان يجريها لساعاته تثبت أنها لم تكن تختلف بأكثر من ثانية في الشهر.

سمع هاريسون في يومٍ ما عن قانون خط الطول. وكان ذلك تحديًا على مستوى قدراته، فسارع إلى مواجهته. فستكون جائزة ٢٠٠٠٠ جنيه من حظه شريطة أن يصنع ساعة تسمح بقياس خط الطول بدقة تزيد أو تنقص بنصف درجة بحد أقصى،[٩] علمًا بأن الأمر لا يتعلق بتحديد خط العرض. لنتخيل ميناء في جزر الأنتيل نسعى إلى تحديد خط طوله بمقارنة التوقيت المحلي مع توقيت ميناء القيد. فبما أن الشمس تتحرك ١٥° في ساعة، فالتغاضي عن فارق نصف درجة على مقياس خط الطول يسمح بفارق دقيقتين بين التوقيت الذي تحدده الساعة على متن السفينة ومتوسط الوقت الشمسي لميناء القيد. ولكن كانت أي سفينة في هذ العصر تغادر الجزر البريطانية متجهةً إلى جزر الأنتيل تستغرق ثلاثة أشهر لتصل إلى مقصدها. فمن المفترض أن تتولى هذا الأمر ساعات هاريسون التي لا تختلف إلا ثانية في الشهر، ولكن شريطة أن تقاوم الأحداث غير المتوقعة التي تحدث خلال العبور بأعالي البحار.

(١٠) من هـ١ إلى هـ٢

خلال حياته المهنية صنع هاريسون أربع ساعات بحرية ذات تصميمات مختلفة وقد جرى العرف على تسميتها بالرموز هـ١ وهـ٢ وهـ٣ وهـ٤، وكان اختراعه الأخير كرونومترًا وليس ساعة. ومن أجل إنجاز هذا العمل الضخم حظي بمساعدة ابنه ويليام الذي اضطلع بمهمته بالمثابرة ذاتها التي كانت لدى أبيه. ونجح هاريسون في مشروعه نجاحًا كبيرًا، لا سيما أن الساعات الأربع كانت بصورة كبيرة على مستوى الهدف المرجو منها. ولكنه بذل جهدًا مضنيًا لإقناع المتخصصين بها. ففي البداية كان سعيه إلى الإتقان

خصمَه الحقيقي الوحيد، ولكن لاحقًا اصطدم بتعاظم وسلوك العديد من علماء الفلك الذين كانوا يريدون فرض طرقهم الخاصة فيما يتعلق بالتحدي الذي يمثله تحديد خط الطول. فلا يسمح اتحادهم بأن يقوم صانع ساعات بعملٍ أفضل من عملهم، وأن يحصد بالإضافة إلى ذلك كل أرباح المشروع.

في عام ١٧٣٠ توجه هاريسون إلى لندن ليعرض على مجلس خطوط الطول الرسم التخطيطي للساعة هـ١، وهي نسخة من ساعاته الخشبية التي يراها مناسبة للملاحة. ففوجئ عندما علم أنه على الرغم من إنشاء المجلس منذ ١٥ عامًا إلا أنه لم يجتمع قط؛ نظرًا لأنه لم يتلقَّ قط أي اقتراح جدِّيٍّ. وذهب هاريسون ليلتقي بأكثر الأعضاء نفوذًا؛ وهو إدموند هالي مكتشف المذنب. وبعد انبهاره بالرسم التخطيطي الذي شاهده بعينه، أرسل هالي مُحَدِّثه إلى جورج جراهام، وهو من أكبر صناع الساعات هو الآخر، ومصمم العديد من الأدوات العلمية وصانعها. ومنح جراهام هذا الأخ غير المعروف، الذي يمتهن الحرفة ذاتها، ثقته وقرضًا بلا فوائد، فلا يتعين على هاريسون إلا العودة إلى منزله والمواظبة على العمل. وبمساعدة أخيه جيمس قضى الأعوام الخمسة التالية في صناعة الساعة هـ١. وبتروسها الخشبية وهيكلها المصنوع من النحاس الأصفر، «[لا تشبه] هـ١ أي ساعة رأيناها من قبل أو سوف نراها بعد ذلك [...] فهي تشبه [...] المزيج بين السفينة الحربية الشراعية والغليون.»[١٠] في ذلك العصر كانت الجاذبية هي العامل الذي تعتمد عليه عناصر غالبية الساعات، ولا سيما فترة اهتزاز البندول والوزن، وهما محركا الساعة. ولكي تتخطى الساعة التغيرات المفاجئة للاهتزاز والترنح، اضطر الأخوان هاريسون إلى استخدام المحركات بدلًا من الجاذبية.

تزن الساعة هـ١ قرابة الأربعين كيلوجرامًا، ووضعها هاريسون في مكعب يبلغ ضلعه أكثر من متر وعشرين سنتيمترًا، وقدمها في عام ١٧٣٥ إلى الجمعية الملكية، أكاديمية العلوم البريطانية، التي استقبلت هاريسون استقبال الأبطال، وكان هالي وجراهام بصفة خاصة منبهرَين بالعمل. وفي المقابل لم تستسلم القيادة البحرية للشعور بالإعجاب، فماطلت في إخضاع الساعة إلى تجربة رسمية. وبدلًا من أن تضعها على سفينة متجهة إلى جزر الأنتيل، مثلما ينص قانون خط الطول، حملتها برفقة صانعها على سفينة متجهة إلى لشبونة. وإذا تخطت الساعة اختبار الاهتزاز والترنح بلا عائق، فالأمر مختلف بالنسبة إلى صانعها البائس، ففي أثناء الرحلة لم يكن يترك ساعته إلا للتقيؤ، إلا أنه في أثناء العودة عندما كان الجميع ينظر إلى الساحل الإنجليزي كان القبطان يجهل أين

هو، لكن هاريسون في ظل إصابته بالغثيان استطاع أن يحدد موقع السفينة بعد الاطلاع على ساعته.

لأول مرة تثبت ساعة بحرية نفعها خلال قياس خط الطول. وبعد عدة أيام، في يونيو ١٧٣٧ اجتمع مجلس خطوط الطول لأول مرة منذ إنشائه قبل ثلاثة وعشرين عامًا. وكان من المتوقع أن يكون رأيه في صالح هاريسون. ونظرًا للنجاح في الاختبار الأول حصل صانع ساعة هـ١ على الحق في إخضاع ساعته إلى اختبار نهائي يجرى على متن سفينة متجهة إلى جزر الأنتيل. ولم يكن أحد يشك في أن التجربة ستنجح وأن هاريسون بهذه المناسبة سيفوز بالجائزة.

خبأ هذا الاجتماع مفاجأة كبرى. فأمام المجلس المندهش أخذ هاريسون يعدد نقاط ضعف ساعة هـ١، وبدلًا من أن يطالب بإمكانية اختبار ساعته في رحلة عبر الأطلنطي، طلب من الجمعية بتواضع أن تمنحه مهلة عامين وبعض الأموال لكي يتمكن من صناعة ساعة أصغر حجمًا وأفضل تصميمًا من هـ١، وهي ستكون الساعة هـ٢. وافق المجلس واجتمع بعد أربع سنوات في عام ١٧٤١ لكي يبدي إعجابه بالعمل الجليل الجديد. ولكن بما أن هـ٢ كانت تعمل بمبادئ سابقتها هـ١ ذاتها، توسل هاريسون، الذي لم يكن راضيًا بعدُ، إلى أعضاء اللجنة لكي يمنحوه مهلة جديدة. فقد كان يريد أن يأتي بأخت صغيرة للساعتين هـ١ وهـ٢ وستكون الساعة الجديدة، وفقًا لما يفكر فيه صانعها، تتزين بكل الميزات التي تفتقد إليها سابقتاها بشدة. لم تُختبر هـ٢ قط في البحر.

(١١) من هـ٣ إلى هـ٤

في أثناء تقديم هـ١ لم يزعج التغير المدهش في موقف صانع الساعات أعضاء مجلس خطوط الطول، وحتى عندما تكرر المشهد بمناسبة التتويج المخفق للساعة هـ٢ لم تهتز ثقة مجمع العلماء في هاريسون، فقد منحه العديد من المرات معونات مهمة لكي يستطيع استكمال مهمته. وفي عام ١٧٤٩ حصل جون هاريسون على ميدالية كوبلي؛[١١] وهي مكافأة تعطي فكرة بسيطة عن التقدير الذي كانت تكنُّه له الجمعية الملكية.

منذ ذلك التاريخ تعقد تاريخ الساعات البحرية كثيرًا، وكان لذلك أسباب عديدة. فعندما بلغ ويليام، ابن هاريسون الوحيد الذي تبقى على قيد الحياة، سن العشرين تبنى قضية والده. ومن الآن فصاعدًا سيعيش عضوًا أسرة هاريسون بدلًا من هاريسون وحده المغامرة الكبرى لخطوط الطول. وسيشترك شخص آخر في المغامرة، وهو صانع ساعات

مشهور من لندن يُدعى جون جفريس، وقد أوصاه جون هاريسون بما سيصبح لاحقًا الكرونومتر. وعلى الرغم من أنه لا يحمل إلا توقيع جفريس، فإن لنا كل الحق في افتراض أن هاريسون هو من صمم المبدأ. ويقدم هذا الكرونومتر الذي تم الانتهاء منه في ١٧٥٣ العديد من المميزات التي قرر هاريسون أن يستوحي منها لصناعة الميقات الذي يحلم به منذ فترة طويلة. وبما أنه تعهد بإنجاز هـ٣[١٢] بدأ في الوقت ذاته في صناعة هـ٤، التي لا يشير رمزها إلى أنها لن تكون ساعة مثل سابقاتها، بل كرونومترًا بحريًّا أو ببساطة ساعة جيب. لا يهم مبدأ الميقات، فكل ما يجب وما يكفي هو أن يكون سيره متواصلًا.

أُنجزت ساعة الجيب هـ٤ في عام ١٧٥٩ وكان قطرها أقل من ١٥ سنتيمترًا، وهي تشبه الساعات التي كانت تضعها الطبقة البرجوازية في بدايات القرن العشرين بوقار في جيوب الصدرية. ولا تكمن المفاجأة في الصندوق الفضي ولا في واجهتها التي تزينها الأرقام الرومانية، ولكن في الآلية التي سعى بها صانعها إلى حمايتها من النظرات المتطفلة. فمن أجل تقليل آثار الاحتكاك نُحتت بعض المسننات من الياقوت أو الماس. وخلافًا للساعات التي كانت تروسها من الخشب يتعين تزييت الساعة هـ٤ بصفة منتظمة.

(١٢) ويليام، ساعة الجيب وعالم الفلك

لم تنتهِ القصة. فعلى مدار الأعوام تغير تكوين مجلس خطوط الطول. وفي مواجهة مشكلة تحديد خطوط الطول كان من الصعب على أعضائه الجدد أن يقتنعوا بتفوق تقنية الميقات على الطرق الفلكية البحتة التي لا تكفُّ عن التطور.

وبما أنه تم الانتهاء من هـ٣ وهـ٤ في الوقت ذاته تقريبًا في عام ١٧٥٩، فقد حان الوقت لإخضاعهما لاختبار نهائي. ولم يرَ هاريسون الذي كان راضيًا عن هـ٤ أيَّ سبب لتأخير الاختبار على الرغم من أن حرب السنوات السبع (١٧٥٦–١٧٦٣) كانت تمثل تهديدًا على رائعتيه اللتين ستكونان على ظهر السفينة. إلا أن الأعمال العدائية البحرية بين فرنسا وبريطانيا العظمى قد توقفت تقريبًا منذ بداية ١٧٦٠.

في مايو ١٧٦١ غادر ويليام إلى بورتسماوث مصطحبًا الساعة هـ٣ الثقيلة. وتتمثل مهمته الغريبة في أن ينتظر أن تُخصص له سفينة متجهة إلى ميناء بورت رويال (جامايكا). في غضون ذلك كان جون يضع الرتوش الأخيرة على هـ٤ التي يستعد لإعطائها لابنه قبيل الرحيل. وبعد خمسة أشهر لم يكن ويليام قد حصل على السفينة التي وُعد بها فعاد إلى لندن التي غادرها من جديد بالساعة هـ٤ فقط؛ فقد تراجع والده

عن اختبار هـ٣. وأخيرًا في شهر نوفمبر بدأت الرحلة البحرية. ففي بورتسماوث كُلف عالم فلك بتحديد ساعة الرحيل التي ضبط ويليام ساعته عليها، بينما يصعد عالم فلك آخر على متن السفينة مع ويليام، فهو من سيصدق على الاختبار.

تقترب السفينة من جزر ماديرا محطتها الأولى. وبينما يعتقد القبطان أنه ما زال على مسافة بعيدة من الجزيرة، استعان ويليام بالساعة لردِّه عن خطئه، وفي الوقت ذاته لإذهاله. وعندما وصلوا إلى بورت رويال بعد ثلاثة أشهر، قام عالم الفلك الموجود على متن السفينة بتحديد التوقيت المحلي. فمنذ الرحيل من بورتسماوث اختلفت الساعة بخمس ثوانٍ. وفي العودة واجهت الساعة وويليام وعالم الفلك ظروفًا مناخية صعبة؛ فقد غمر الموج العالي باستمرار سطحَ السفينة والغرف. وعلى الرغم من معاناته من دوار البحر، قام ويليام بكل ما في استطاعته من أجل الحفاظ على رائعته من البلل. وعند الوصول إلى بورتسماوث في مارس ١٧٦٢، كانت الساعة لا تزال تعمل، وكان الفارق الذي زاد عن الخمس ثوانٍ التي سجلها في أثناء الذهاب لم يبلغ دقيقتين. وُعد هاريسون بالحصول على جائزة خط الطول، وخرج منها سالمًا وانتهت المغامرة على خير.

ولكن لم يكن ذلك ما حدث للأسف. فيحلم بعض علماء الفلك الأعضاء في مجلس خطوط الطول بالحصول على الجائزة، ففكروا في تحسين الخرائط السماوية وظروف مراقبة السماء من على متن السفن. فأمر المجلس إذن بإعادة النظر في قياسات خطوط الطول في بورتسماوث وفي جامايكا على حد سواء، وختم بيانه النهائي الصادر في أغسطس ١٧٦٢ قائلًا إن التجربة لم تكن كافية للسماح بالتوصل إلى نتيجة مؤكدة. فيتيعن إجراء اختبار آخر. وحصل جون هاريسون على ١٥٠٠ جنيه بدلًا من الـ ٢٠٠٠٠ التي كان يعتقد أنها من حقه.

ومنذ بداية عام ١٧٦٣ اختصم المجلس هاريسون وطالبه بأن يشرح لهم كيفية سير الساعة. لكن وصلت المفاوضات إلى طريق مسدود؛ نظرًا لخوف هاريسون من أن يُسرق اختراعه. وفي شهر مارس غادر ويليام بصحبة الساعة إلى بربادوس. وفوجئ لدى وصوله هناك بوجود العدو اللدود لعائلة هاريسون، وهو عالم الفلك الموقر نيفيل ماسكلاين، فهو بطل تحديد خطوط الطول في البحر بطريقة فلكية بحتة. ولكن أبلت هـ٤ بلاءً حسنًا؛ فخلال عبورها للمحيط الأطلنطي بدت قادرة على تحديد خط الطول بفارق أقل من ٢٠ كيلومترًا؛ مما يتطابق مع فارق ٤٠ ثانية بحد أقصى.

يتعين أيضًا أن ننتظر توصيات علماء الفلك المكلفين بمراقبة العملية. ففي خريف ١٧٦٤ أعلن المجلس عن استعداده لدفع نصف الجائزة، وهو مبلغ ضخم، ولكنه لم

يستسلم بعد، فقد فرض شروطًا تعسفية على جون هاريسون الذي يتعين عليه أن يتعهد بتسليم الساعات الأربع إلى المجلس، وأن يكشف عن كل أسرار صناعة هـ٤، وأن يشرف على صناعة نسختين من الساعة لكي يتم التأكد من أن سيرها المنتظم ليس وليد الصدفة. ولِوضع اللمسة الأخيرة على كل هذه الشروط، علم هاريسون بتعيين ماسكلاين في منصب عالم الفلك الملكي. ويكون مقر صاحب هذا اللقب بصورة تلقائية في المجلس. استسلم هاريسون وشرح سير ساعته بكل تفاصيله ووافق على التخلي عن ساعاته البحرية الأربع.

يمكننا أن نفهم أن المجلس قد حصن الجائزة بالعديد من الاحتياطات، فإن ابتكار طريقة فلكية تهدف إلى تحديد خط الطول هو أمر، بينما تعد صناعة ساعة دقيقة أمرًا آخر. فقد يكون من الصعب تنفيذ طريقة جديدة لكنها تمثل مكسبًا نهائيًّا. وفي المقابل قد لا تكون دقة ساعة إلا وليدة الصدفة. فتسمح هذه الملاحظات بتبرير بعض الحذر من جانب المجلس ولكن ليس المضايقات التي اضطرت عائلة هاريسون إلى تحملها. ووفقًا لقرار ١٧٦٤ يتعين على جون هاريسون أن يصنع نموذجين للساعة هـ٤، وخلال هذه العملية الأساسية قام ماسكلاين بالاتفاق مع المجلس، نظرًا لعدم اكتفائه بمصادرة الأصل، بالاستيلاء على الرسوم التخطيطية والخرائط التي رسمها هاريسون في أثناء صناعة هـ٤؛ فيجب على هاريسون أن يعمل بناء على ذاكرته، وامتدت هذه المحنة حتى عام ١٧٧٣.

ثم يأتي أخيرًا اليوم الذي قام فيه الملك جورج الثالث المهتم بالعلم بإنهاء الصراع. فاستلم جون هاريسون مبلغًا يساوي تقريبًا النصف الثاني من الجائزة، ولكن ليس هذا المبلغ إلا إعانة مالية ناتجة عن عطف البرلمان. وللتأكيد على هذه الفكرة صوت البرلمان على قانون جديد يحدد الشروط التي يمكن من خلالها الحصول على جائزة خطوط الطول في المستقبل. وفي عام ١٧٧٦ عندما توفي جون هاريسون كان قد توصل إلى صناعة هـ٥، وهي إحدى نسختي هـ٤ اللتين طُلبتا منه. ولا تختلف هـ٤ وهـ٥ إلا في الصندوق.

في عام ١٨٣١ أبحرت سفينة بيجل في رحلة مدتها خمس سنوات، يتعين خلالها بصورة خاصة السعي إلى إعداد بيان أكثر دقة عن سواحل أمريكا الجنوبية. وعلى متن هذه السفينة كان يستعد عالم طبيعيات شابٌّ لتجميع كمٍّ هائل من الملاحظات ستكون سببًا في تأليف كتاب «أصل الأنواع»؛ أحد أهم كتب القرن التاسع عشر. يُدعى هذا العالم

تشارلز داروين. وكان يوجد أيضًا على متن السفينة اثنان وعشرون كرونومترًا، فقد انتصر إرث جون «خط الطول» هاريسون في المنافسة.

وفي يومنا هذا حل نظام تحديد المواقع العالمي «جي بي إس» محل الكرونومتر. ولكن هل يمكننا أن نتخيل أن تتخلى سفينة في أعالي البحار عن الساعة المضبوطة؟

الفصل التاسع

كبلر مسَّاح السماء

> لقد حددت لنفسي هدفًا أن أبرهن على أن الآلة السماوية لا تشبه الجسد المتكامل، بل تشبه ساعة، وأقصد بذلك أن كل حركاتها المتباينة تقريبًا سببها مجرد قوة مغناطيسية وحيدة، وذلك على غرار الوزن الذي يعد السبب الوحيد في كل حركات الساعة.
>
> كبلر، ١٦٠٥

(١) التناغم السماوي بدلًا من التنافر الأرضي

قد تخيب آمالنا إذا بحثنا عن السلام والهدوء في حياة عالم الفلك الألماني يوهانس كبلر (١٥٧١–١٦٣٠)؛ حيث يتناوب الحداد والنفي والحروب والشرود. فهل اكتشف النظام في السماوات لكي يسد حاجته إلى التناغم الذي تفتقد إليه حياته بشدة؟

في عام ١٦١٧ كان كبلر عالم رياضيات إقليميًّا في مدينة لينتز على حافة نهر الدانوب. وقبل ذلك بعامين كانت والدته كاترينا جولدنمان، التي كانت تعيش في مدينة ليونبرج في دوقية فورتمبيرغ، قد اتُهمت بالسحر. وقد رفعت الدعوى صديقتها أورسولا رينبولد زوجة صانع الزجاج في المدينة التي أُدينت في الأساس بممارسة البغاء. ووفقًا لشهادة كبلر نفسه كانت أمه صغيرة الحجم ونحيفة وحزينة ومحبة للشجار، فهي مقصد مناسب جدًّا لحملة مطاردة الساحرات. بدأت القصة يوم أن سبَّت أمه أورسولا؛ فاتهمت أورسولا صديقتها بممارسة أعمال السحر بحجة أنها أصيبت بوعكة بعد أن تناولت مشروبًا لدى كاترينا.

كانت مطاردة الساحرات في ذلك العصر في أوْجِها. ففي أي مكان وزمان اتخذت الشكل ذاته؛ سواء أكانت الضحية امرأة عجوزًا سيئة الطبع، أم معارضًا لنظام سياسي، أم فردًا من أقلية مكروهة. وفي قضية كاترينا جولدنمان نندهش من الركاكة الغريبة لشهادات الإثبات. فقد انزلق معلم أعرج تحت حوض أزهار ثقيل وظل معاقًا فاتَّهم كاترينا بمسئوليتها عن عاهته لأنها جعلته يتناول مشروبًا شيطانيًّا. وقالت أيضًا زوجة جزار إن زوجها أُصيب بالشلل بمجرد رؤية كاترينا. ولحسن حظ والدة كبلر قام القضاء بكل ما في وسعه لتبيين الحق من الضلال.

لجأت كاترينا في النهاية إلى ابنها في لينتز؛ حيث كانت في منأًى عن مضطهديها، ولكنها قررت العودة إلى مدينتها. ولم يستطع كبلر إثناءها عن ذلك، فلحق بها سريعًا لمحاولة التوصل إلى اتفاق، فسُمح له بإعادة والدته إلى لينتز ولكن كاترينا لم تنوِ ذلك. ففي ديسمبر ١٦١٧ عندما عاد كبلر إلى لينتز كانت تسيطر عليه فكرة الأخطار التي تحيط بوالدته، ولكن ذلك لم يمنعه من الانغماس في العمل كعادته، فأعدَّ جداول فلكية أُطلق عليها فيما بعد الجداول الرودولفينية. ولكن لم تنتهِ بعدُ أحزانُ كبلر، ففي التاسع من فبراير تُوفيت ابنته الصغيرة كاترينا.[١] لم يكن لحزن كبلر حدود، ولكنه لم يكن يريد ولم يكن يستطيع أن يتخلى عن عمله: «نَحَّيتُ الجداول جانبًا لأن إعدادها يتطلب السلام الداخلي، وأخذتُ أتأمل التناغم.»[٢] وبعبارة أخرى استأنف كبلر مشروعًا قديمًا قاده إلى عمل جليل: كتاب «تناغم الكون»، وهو بحث في التناغم السماوي وفقًا لرؤية كبلر.

استمرت قضية والدة كبلر ثلاثة أعوام أخرى، ولكن في النهاية أنقذتها سمعة كبلر من المحرقة، فطالما ساند عالم الفلك والدته، سواء أكان في لينتز أو في مكان المحاكمة. وقبل إطلاق سراحها كانت كاترينا لا تزال أمام الجلاد في غرفة التعذيب لكي تتأمل الأدوات المستخدمة، ولكنها ظلت متماسكة ورفضت الاعتراف بكل خطيئة ارتكبتها وأخذت في الصلاة.

(٢) مصير الوريث الأخير لعلم الفلك القديم

بقدر حداثة جاليليو، يحتفظ كبلر بآثار الماضي.

يمكن اعتبار جاليليو مؤسس العلم الحديث، فهو يسخر من التنجيم لدرجة أنه رفض الاعتراف بدور القمر في ظاهرة المد والجزر. واهتم بالميكانيكا فصنع تليسكوبًا اكتشف به العديد من العجائب السماوية، ولا سيما أقمار المشتري التي تعد نظامًا

شمسيًّا مصغرًا. وكان ذلك الاكتشاف حجة قوية في صالح كوبرنيكوس الذي قام جاليليو بتطوير أفكاره بشجاعة. ولم تهمه الدراسة الدقيقة لسير الكواكب فقد كانت الحسابات الطويلة تزعجه.

كان كبلر مثل جاليليو مناصرًا لكوبرنيكوس ومسيحيًّا مخلصًا. ولكن فيما عدا ذلك كان متعارضًا مع عالم الفلك القادم من مدينة بيزا، فقد كان لكبلر مفهوم غامض عن علم الفلك. فعندما نشر اكتشافاته أغرقها في قالب من الهذيان اللامتناهي، فكان ينتقل من موضوع إلى آخر، ويستكشف برفقة القارئ الطرق الخاطئة التي اتبعها والفخاخ التي لم يستطع تجنبها، وعرض حالته النفسية. وفي الوقت ذاته اضطلع بلا هوادة بالمهمة التي حددها لنفسه: المتحدث باسم الخليقة الإلهية، وبأي مهمة أخرى تقع على عاتقه. فلم يترك قط أي عملية حسابية أيًّا كان طولها، وتحلى بالمثابرة في بحثه عن المستحيل الذي وصل إليه في نهاية المطاف. فهو عالم لاهوت قبل أن يكون عالم فلك، ولكنه انخرط بذكاء شديد ومثابرة في دراسة السماء التي صار فيها مرجعًا عالميًّا. فمن خلال انتمائه إلى القرون الوسطى مهد الطريق أمام العصور الحديثة.

وُلد كبلر في مدينة فيلدرستاد[٣] من أبٍ غير مستقر وكثير الترحال وأمٍّ مُحبة للشجار، فلم يجد في صغره السلام الذي سيفتقده طيلة حياته. ويختلف أخواه عنه كثيرًا؛ فأخوه هنريتش لا يصلح لشيء، وضحية لمعاملة قاسية، فقد هرب من المنزل عندما هدد والدُه ببيعه، أما الأخ الأصغر كريستوفر كان حِرفيًّا محترمًا يصنع أدوات الطعام من القصدير، بالإضافة إلى كونه عضوًا في جيش دوق فورتمبيرغ. وعندما صار يوهانس كبلر لاحقًا منجمًا مثلما أطلق عليه عصره، ظَل مقتنعًا أن تاريخ ميلاد أهله يكفي لتفسير عيوبهم وأحزانهم. فعندما عاين كبلر طالعه الخاص يخبرنا أنه تكون كجنين في ١٦ مايو ١٥٧١ في الساعة الرابعة وسبع وثلاثين دقيقة صباحًا، وأنه وُلد في ٢٧ ديسمبر في الساعة الثانية وثلاثين دقيقة ظهرًا.

كان كبلر ذا بنية ضعيفة وهزيلًا، وكان مصابًا بكل الأمراض الجلدية والعديد من الأمراض الأخرى، فربما لم يكن كرهه للمبادئ الأولية للصحة غريبًا. وكان طالبًا مجتهدًا وحساسًا ويميل باستمرار إلى تأمل الذات، وكان ذكاؤه ملحوظًا ويشغف أيضًا بالمشاكل الدينية. ويشير كاتب سيرته الذاتية كاسبار إلى أي مدًى لم يكن مغرورًا أو متغطرسًا على الإطلاق، لدرجة أنه لم يكن ينزعج عندما يعلم أن جاليليو استخدم بعض أفكاره دون أن يذكر المصدر. «[لا يهم] إذا نُسي اسمي شريطة أن يحصد اسم الله [...]

الفائدة.» بالتأكيد لم يكن كبلر خاليًا من العيوب، ففي أثناء المناقشات كان يصعب عليه التحكم في نفسه؛ فكان أحيانًا فظًّا وكان نقده لاذعًا.

لحسن حظ كبلر أمضى شبابه في مُناخ سياسي مواتٍ. فقبل مولده ببضع سنوات سمح صلح أوغسبورغ، الذي أُبرم في ١٥٥٥، لكل دول الاتحاد الألماني بأن تختار بين الكاثوليكية والبروتستانتية اللوثرية، وما أكثر هذه الدول! ليس الشعب هو الذي يختار بل الحاكم بطبيعة الحال؛ فلم يَنْعَم الإنجيليون كثيرًا بحرية الاعتقاد التي طالب بها لوثر ... ويعد كبلر محظوظًا في صغره؛ لأنه عاش في دوقية فورتمبيرغ التي كان حاكمها لوثريًّا ومتسامحًا في آن واحد. وعلى الرغم من أن المرض قد تسبب في تأخير الْتحاقه بالمدرسة مدة عامين، استطاع كبلر أن يبرع في دراسته. وشهدت طفولته حدثين بارزين؛ فقد جعلته أمه يرى «المذنَّب الكبير» في سنة ١٥٧٧، وفي ١٥٨٠ شهد خسوفًا قمريًّا برفقة والده.

في عام ١٥٨٩ التحق كبلر بالكلية اللوثرية لمدينة توبنجن. وكانت دراسته في أول عامين تدور حول «الفنون». وكانت المواد التي يدرسها هي علم الأخلاق والجدلية والبلاغة واللغة اليونانية والعبرية وعلم الفلك والفيزياء. وكانت الأعوام الثلاثة الأخيرة مخصصة لعلم اللاهوت. وهناك قابَل كبلر مايكل ماستلين، المعلم الذي ترك أثرًا فيه طيلة حياته. فعلى الرغم من المناخ غير الملائم لأفكار كوبرنيكوس، تجرأ ماستلين على تدريسها ومقارنتها بأفكار بطليموس، ولكن لم يكن ذلك في محاضراته بل في دائرة ضيقة كان كبلر جزءًا منها. فانجذب كبلر إلى هذه الأفكار، ومنذ ذلك الوقت لم يتوقف عن الكفاح بغية اعتراف العالم بنظام كوبرنيكوس.

ظل هدف حياته هو ترسيمه كاهنًا لوثريًّا، فكان يطمح إلى حياة يكرسها للبحث عن الله، ولكنه مقتنع أيضًا أن الرياضيات وعلم الفلك يتيحان التقرب من الله والتغني بعظمته. ولكن قبيل إنهاء دراسته تلقى عرضًا قلب حياته؛ فقد اقترحت عليه كلية إنجيلية في مدينة غراتس منصب معلم رياضيات. تردد كبلر في قبول هذا العرض فهو لم يفكر قط في أن يصبح عالم فلك، فرؤيته قاصرة ولا يستطيع أن يتفرغ لمراقبة السماء، ولكن ما شغف به في نظرية مركزية الشمس للكون هي النظرة الجديدة التي تطرحها للخليقة، إلا أنه اعتبر من الجبن أن يرفض العرض المقدم له. فدفعه حبه للمغامرة بلا شك إلى غراتس، فترك الكلية بإرادة حازمة بإنهاء دراسته لعلم اللاهوت، ولكنه كان مخطئًا بهذا الشأن، فلم يصبح كاهنًا بل كرس ما تبقى من حياته منذ ذلك الوقت لعلم الفلك.

(٣) فن طرح الأسئلة المهمة

في غراتس لم يكن الصلح بين الطوائف موجودًا. فقد تأسست الكلية التي عينت كبلر في عام ١٥٩٤ لتنافس مؤسسة مماثلة لكن يديرها اليسوعيون. ولم تعْرض الكلية على عالم اللاهوت والفلك تدريس الرياضيات فقط بل عهدت إليه أيضًا بمهمة إعداد التقويم السنوي، وهو تقويم فلكي حقيقي مزود بتنبؤات تنجيمية. وفي هذا الصدد أظهر كبلر أنه على قدر المهمة. فقد تنبأ أن يحدث في عام ١٥٩٥ موجة برد وغزو عثماني وقد تحقق التوقعان. فيحكي كبلر أنه بسبب البرد القارس في ذلك الشتاء كانت أنوف سكان الألب تسقط إذا حاول أحدهم التمخط.

يؤمن كبلر بالتنجيم بكونه اتحادًا وثيقًا بين الكائنات والعالم السماوي؛ فمنح ثقته «للمواضيع المتعلقة بالنجوم» التي من المفترض أن تحدد صفات الشخص وفقًا لتاريخ ميلاده وساعته. ويعد هذا الاعتقاد بلا شك مظهرًا من مظاهر حبه للتناغم السماوي. وتشهد على ذلك أيضًا التحليلات النجمية التي قام بها لصفاته الخاصة وصفات أعضاء أسرته. وفي المقابل لا يعتقد كبلر أنه يمكن لحالات القِران السماوية المتعاقبة أن تجيب عن الأسئلة الملتوية والشخصية لكل فرد. فلا يختلف موقفه كثيرًا عن العديد من المؤمنين حاليًّا، فهم يشعرون بوجود إلهي في السماء، ولكنهم يرفضون أن يؤمنوا بإله مستعد للتدخل في صالحنا كلما لجأنا إليه؛ سواء للتأثير على تطور مرض ما أو على نتيجة لقاء رياضي. وفي النهايةِ اللهُ هو إله الجميع، فماذا يفعل إذا وجَّه إليه الفريق المنافس الدعاء ذاته؟ وأخيرًا حتى إذا كان كبلر سعيدًا بأن توقعاته تتحقق فهو لا يرى فيها إلا مجرد صدفة.

ونظرًا لعدم شعور كبلر بالراحة الكاملة في غراتس؛ حيث لم يلقَ تعليمه إلا نجاحًا فاترًا، انخرط في التأمل وفي بحث يعود الفضل فيه إلى القدم. فقد فتحت اكتشافاته الباب أمام العلم الحديث، ولكنه لن يتخطى أبدًا هذا الباب بنفسه.

بدأت مسيرة كبلر المهنية في علم الفلك بصورة سيئة، فعندما وجه أنظاره إلى السماء لينتزع أسرارها طرح سؤالين «سيئين»، سؤالين يطرحهما فيلسوف أو عالم لاهوت لا عالم فلك. فتساءل كبلر لماذا يوجد ستة كواكب، فلكونه مناصرًا لكوبرنيكوس عن اقتناع قام بحساب الأرض في هذه القائمة. وكان يريد أيضًا أن يعرف لماذا تبلغ المسافات بين الكواكب القِيَم التي حددها كوبرنيكوس (جدول ٦-١).

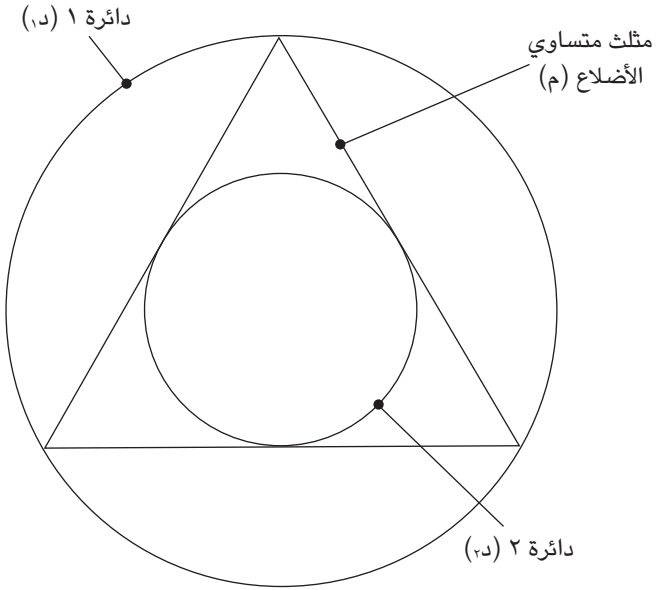
لا تعد أسئلة كبلر من وجهة نظر الباحث الحديث ذات مغزًى. فقد تكثفت سحابة جزيئية ضخمة مكونة من غاز وأتربة منذ أكثر من أربعة آلاف عام، فأوجدت الشمس

والكواكب والأجسام الأصغر حجمًا مثل «الكويكبات» والمذنَّبات. فمن يغامر بكتابة التاريخ المفصل لِحَدَث معقد وعشوائي للغاية؟ من يستطيع أن يفسر ببساطة لماذا توجد ثمانية كواكب؟ في عام ٢٠٠٦، فقدَ بلوتو الذي تم اكتشافه في عام ١٩٣٠ صفة الكوكب في أعقاب مؤتمر للاتحاد الفلكي الدولي، فصار في نهاية النقاش المحتدم «كوكبًا قزمًا»، فاستُبدلت بأهداف الخالق محاضر الاتحاد الفلكي الدولي ...

كيف يستطيع كبلر أن يعرف إذا كان السؤال ذا مغزًى أم لا؟ ليس باستطاعته أن يعرف ذلك بالتحديد، فبالتدريج أعد الإنسان لنفسه قائمة بالأسئلة التي تقبل الطبيعة الإجابة عنها. ويتعين أيضًا طرحها بلغة خاصة وهي الرياضيات؛ وقد أدرك جاليليو ذلك في هذا العصر. واليوم نظمنا حوارنا مع الطبيعة بإعداد ما أُطلق عليه المنهج العلمي، فندرس الكون والظواهر الحياتية، ومن أجل الإعلان عن ملاحظاتنا نتخيل نظريات قابلة للاختبار التجريبي. فتُسمى الأسئلة التي نطرحها على الطبيعة تجارب أو ملاحظات، ومن أجل إعداد النظريات نستعين بالرياضيات التي ما زلنا نتساءل حتى اليوم عن مصدر فاعليتها الفائقة.[٤]

(٤) تناغم الكون

ينعكس تناغم الكون[٥] في هيكل النظام الشمسي. وفي يومٍ ما خلال محاضرة في الهندسة اعتقد كبلر أنه اكتشف الدليل. فإذا وضعنا مثلثًا متساوي الأضلاع داخل دائرة ثم وضعنا دائرة جديدة داخل المثلث، فتكون النسبة بين قطري الدائرتين مساوية للنسبة بين قطري مدار كلٍّ من زحل والمشتري (شكل ٩-١). وهذا هو بلا شك الدليل على الطابع الإلهي! وحاول كبلر وضع «مضلَّع متناسق» بين مدارات كل كوكبين متتاليين. ولكن سرعان ما تبددت أوهامه فيبتعد مدارا المريخ والمشتري أحدهما عن الآخر بمسافة كبيرة تجعل من المستحيل القيام بذلك. وفي المقابل عندما ترك كبلر السطح من أجل المساحة الثلاثية الأبعاد، وترك المضلَّعات المتناسقة من أجل بديلها الثلاثي الأبعاد «المجسمات الأفلاطونية»؛ كان يتوقع حلًّا. ففي مضلَّع متناسق تكون كل الزوايا والجوانب متماثلة. وتتخذ المجسمات الأفلاطونية الأشكال المتعددة الأوجه التي يُحترم فيها تشابه الزوايا والأوجه بنسبة متساوية، وتخضع لتحديد غير معروف من المضلَّعات، وعددها خمسة: رباعي الأوجُه، والمكعب ذو الستة أوجه، وثُمانيُّ الأوجُه، ومتعددُ الأوجهِ الاثنا عشري، وعشرينيُّ الأوجُه (شكل ٩-٢أ).

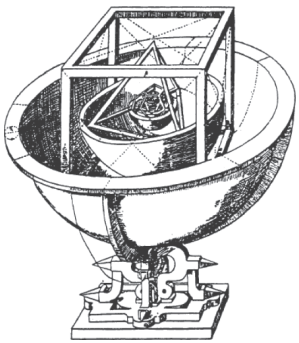


شكل ٩-١: تُساوي النسبةُ بين قطري مدارِ كلٍّ من زحل والمشتري تقريبًا النسبةَ بين قطري الدائرتين (د١) و(د٢)، بما أن (د٢) تقع داخل مثلثٍ متساوي الأضلاع (م) الذي يقع هو الآخر داخل (د١). وظن كبلر أنه وجد في ذلك مِفتاح التناغم السماوي؛ لأنه كان مثل أفلاطون يَعتبر أن الدائرة والكرة تجسِّدان الكمال.

صنع كبلر سطحًا كرويًّا خياليًّا حول كل مدار — فالمدارات من وجهة نظر كبلر وسابقيه دائرية. فحصل على ست كرات موحدة المركز، ووضع بين كل كرتين متتاليتين أحد المجسمات الأفلاطونية (شكل ٩-٢ب). وبما أنه لا يوجد إلا خمسة مجسمات مختلفة،[٦] اعتقد أنه أثبت أنه لا يمكن أن يوجد إلا ست كرات، ومن ثم ست كواكب. وُجد الحل وأوضح كبلر هيكل النظام الشمسي وكشف عن العظمة الإلهية.

وللأسف على الرغم من أن كبلر بذل قصارى جهده لكي يجعل نموذجه اللافت للانتباه مطابقًا لنموذجه السماوي، لم ينجح شيء؛ فكانت بعضُ الكرات كبيرةً جدًّا والبعضُ الآخر صغيرًا جدًّا، فلا نستطيع وضع مجسم أفلاطوني بسهولة في كل فاصل. كان الفشل جليًّا إلا لهذا الفلكي الغريب الذي يريد أن يفرض على السماء حلمه في التناغم. ففي عام ١٥٩٦ أعلن عن اكتشافه في كتاب بعنوان «لغز الكون»، وأوضح

(أ)



(ب)

شكل ٩-٢: الأشكال الخمسة المتعددة الأوجه المحدبة التي يُطلق عليها عادةً المجسمات المتكاملة أو الأفلاطونية (أ). تداخل الكرات الكوكبية وفقًا لكبلر. تدخُل كرةُ عطارد في ثُمانيِّ الأوجهِ، وكراتُ الزهرةِ والأرضِ والمريخِ والمشتري، في عشرينيِّ الأوجُه ومتعددِ الأوجه الاثنا عشريِّ ورباعيِّ الأوجه والمكعبِ الذي يدخل هو الآخر في كرة المشتري (ب).

مؤلِّفه أنه ممزق بين نزعتين متناقضتين: فمن ناحية يبدي التزامه بفلسفة أفلاطون، ومن ناحية أخرى يعد ثوريًّا شجاعًا عندما أيَّد نظام كوبرنيكوس. ويقترح كبلر في هذا العمل أنه إذا كانت الكواكب تدور حول الشمس، فذلك يعني أن نجمنا يمارس عليها تأثيرًا فيزيائيًّا ذا طبيعة مجهولة.

في نهاية حياته يظل كبلر يبحث عن تحسين هذا التداخل الغريب للدمى الروسية، وسيظل الوحيد الذي يؤمن بها. وإذا كان قد توقَّف عند هذه النقطة، فربما صار مثلَ هؤلاء الغرباء الذين يقضون أوقاتهم في تأمل التحليل العددي للأهرامات، وفي دحض نظرية النسبية، أو في إثبات مبرهنة فيرما الأخيرة دون أن يعرفوا أن ذلك تم بالفعل

اليوم.[٧] ولكن يعد كبلر من طينة أخرى. فعلى الرغم من أنه يَعتبر السماء طلاسم إلهية، فهو عالم فلك حقيقي.

(٥) كبلر يلتقي بتيخو براهي

في غراتس ظل كبلر في منأًى عن علم الفلك الذي يقوم على المراقبة. ولكن تبدلت الأمور بفعل ضغط الأحداث، فبعد حركة الإصلاح المضاد تغير المناخ السياسي والديني تدريجيًّا. وحل الحزبُ الكاثوليكي محلَّ البروتستانتية. فيتعين على كبلر مغادرةُ غراتس، فكانت فرصة له؛ لأن تيخو براهي كان مجبَرًا أيضًا على مغادرة مدينته، وهكذا يلتقي الرجلان.

في جزيرة هفين تدهورت الأوضاع تدريجيًّا في المرصد المبهر الذي أنشأه تيخو. فعلى مدار الأعوام تراكمت العداوات لمالك أورانيبرج من بين مزارعي هفين. فقد كان يطلب من أتباعه الكثير ليس إلا لبناء المرصد وصيانته. أثار تيخو أيضًا سخط البلاط الملكي؛ فقد أوقف كريستيان الرابع ملك الدنمارك الجديد المنحة المالية التي كان تيخو يحصل عليها كل عام. ولكن لا مجال للاستسلام لدى هذا النبيل الريفي. ففي عام ١٥٩٧ غادر الجزيرة التي صنع منها جنة علم الفلك ومطهرًا لأتباعه، على حد قول البعض. وفي نهاية مسيرة مضطربة وصل إلى براغ، ولإبقائه هناك أهداه الإمبراطورُ رودولف الثاني (١٥٥٢–١٦١٢)، المولع بالعلوم والسحر، لقبَ الرياضي الإمبراطوري، وشيَّد له مكانًا مرتفعًا في قصر بناتكي بالقرب من براغ. وكانت فرصةً لتيخو لبناء أورنيبرج جديد منذ ١٥٩٩.

قرأ تيخو «لغز الكون»، وهو كتاب يثبت أن كبلر قد فهم عمل بطليموس وكوبرنيكوس، وبهذه الطريقة أيضًا أثبت عالِم الفلك الألماني الشاب قيمته. وعلى أي حال، كتب تيخو إلى كبلر يهنئه ويقترح عليه أن يلحق به في براغ ليكون مساعده، وكان تيخو براهي يعتقد أن كبلر سيستطيع أن يبلور كل الملاحظات التي جمعها خلال فترات طويلة لتصبح بناءً صلبًا. ولكن فرض تيخو شرطًا وحيدًا قبل التعيين: يجب على كبلر أن يتبنى النظام الذي ألفه تيخو، والذي يكون فيه مركزُ الكون نصفَ أرضي ونصفَ شمسي (شكل ٦-٣).

وافق كبلر على الاقتراح وفرَّ من غراتس؛ حيث كان وضع الإنجيليين يزداد سوءًا.

كان أول لقاء بين تيخو براهي، الذي يبلغ من العمر ٥٣ عامًا، ويوهانس كبلر، الذي يبلغ ٢٨ عامًا في يوم ٤ فبراير ١٦٠٠. وبالرغم من غطرسته، يستطيع تيخو الحكم

على الأشخاص. فلم يكن يعهد بمهام الملاحظة إلى كبلر الذي يفتقد إلى نفاذ البصيرة، بل طلب منه أن يواجه التحدي المستمر الذي يمثله كوكب المريخ المتمرد الذي يتعنت في إبداء عدم انتظامه مقارنةً بالتقويمات الفلكية التي يعدها تيخو. فمن خلال المعطيات المجمعة كُلف كبلر بتحديد مدار يكون مطابقًا للملاحظة. وقام عالم الفلك الدنماركي لونجومونتانوس، الذي كان مسئولًا حينئذٍ عن مسار المريخ، بالتخلي عن مكانه لكبلر وكرَّس عمله إلى إبداعات القمر. وكان اختيار تيخو في مصلحة كبلر، ففيما يتعلق بالقمر كان من الممكن أن يقوم كبلر بلا شك بعمل هائل، ولكنه لم يكن سيحصل على كل ما أفادته به دراسة مدار المريخ.

يعد تيخو براهي أكبر عالِم فلك يعتمد على المراقبة منذ بطليموس، فقد حمل تقنية المراقبة بالعين المجردة إلى مستوًى لا يُقارن. ومن جانبه، سيصبح يوهانس كبلر أحد أكبر علماء الفلك النظريين على مدار كل العصور. فالأول يدافع عن نظام غير حقيقي تكون فيه الأرض مركز الكون ويكره أن يعلن عن نتائجه خوفًا من سرقتها، ولا يُعتبر الثاني، المبشر بنظرية مركزية الشمس للكون، إلا مساعدًا ماهرًا. فكيف يمكن لهذين الرجلين أن يتفاهَما؟ كانا يتشاجران بلا انقطاع، ولكن يملك كبلر القدرة على التأقلم مع الظروف، فكان مستعدًّا للمعاناة في سبيل إنهاء معركة حياته، وهي فك رموز الرسالة التي أخفاها الخالق في السماء. وسيجعل كبلر من هذا الشقاق بينه وبين تيخو تعاونًا حقيقيًّا ومثمرًا. فلولا تيخو لَكَانَ كبلر قد ظل على هامش علم الفلك، فإن كتاب «لغز الكون» قد نشر بعض الأفكار المحفزة، لكنه لم يعلن عن أي اكتشاف. ولكن في المقابل بفضل عالم الفلك الدنماركي، استفاد عالِم اللاهوت الشابُّ من أحدث معطيات المراقبة، ومن ثم يستطيع إبراز كل قدراته.

(٦) وريث تيخو

فجأةً حدثت الكارثة. تُوفي تيخو براهي في ٢٤ أكتوبر ١٦٠١ بعد وجبة دسمة.[٨] وكانت نتائج هذه الوفاة مفيدة لكبلر؛ فورِث لقب الرياضي الإمبراطوري، واستحوذ على المعطيات التي جمعها تيخو لدراستها بطريقته. لكن حاول ورثة النبيل الريفي الدنماركي منْعه من ذلك ولكن بلا جدوى، فكانوا يخشون أن يستخدم كبلر ملاحظات تيخو لدعم نظام كوبرنيكوس، وكانوا محقين في ذلك. كانت معطيات ملاحظات تيخو أفضل ما يمكن أن يحلم به كبلر، فقد تم تجميعها على مدار الأعوام، ومن شأنها أن تخبره بكل ما يريد

معرفته عن مدار المريخ. لكن المسائل الرياضية التي يمتلكها كبلر كانت بدائية فبدت المهمة مستحيلة، فهي تحتاج إلى شخص مثل كبلر للقيام بها بنجاح.[٩]

يظل تحديد مدار المريخ عملًا بطوليًّا لا مثيل له في صفحات التاريخ. فقد قام كبلر بحساباتٍ لا نهاية لها. فلم تظهر الكسور العشرية إلا في عام ١٥٨٥، ولم يكن معمولًا بها بعد. ولكن لم يكن ذلك عائقًا؛ فقد استخدم كبلر بدلًا من الكسور العشرية بعض النسب بين رقمين صحيحين وكبيرين. لم يكن ذلك كل ما في الأمر، ففي ذلك العصر «كانت الحسابات المثلثية الروتينية منذ ظهور الآلات الحاسبة الصغيرة تتطلب ساعات من العمل وتحشد فِرقًا من الحاسبين البشريين.»[١٠] ولم يكن كبلر يملك هذه الأدوات المساعدة، فهو يعمل بمفرده. ولكنه سينتقم لاحقًا بطريقته عندما يعرض في كتاب «علم الفلك الجديد» كل تفاصيل مشروعه، وسيجعل من قرَّائه مساعديه الحقيقيين في عمله الشاق، فلن يخفي عنهم شيئًا؛ سواء العذاب الذي شعر به أو المآزق التي ضل فيها.

(٧) زاوية ثماني دقائق

حُدد مدار المريخ كاملًا على مراحل مقارنةً بالإجراءات التي قام بها تيخو. وحتى يومنا هذا يسير علماء الفلك الذين يكتشفون مذنَّبًا جديدًا على نهج كبلر، فيضعون افتراضًا منطقيًّا لشكل المدار، ثم يستخدمون مواقع متتالية للجسم السماوي المُكتشف حديثًا من أجل تحديد موقعه في الفضاء بصورة مناسبة. وإذا لم يكن الشكل المفترض للمسار متفقًا مع الملاحظات، يجب استبعاد الافتراض.

بدأ كبلر بتحديد خطوط طول الكوكب بطول مساره، وشعر براحة بالغة عندما قارن حساباته مع ملاحظات تيخو. وتطابقت القيم المحسوبة مع القيم التي لاحظها عالم الفلك الدنماركي باختلاف زاوية دقيقتين. فإن فارق دقيقتين لا يمثل إلا الجزء الخامس عشر من القطر الظاهري للقرص القمري. ولا أهمية لذلك؛ نظرًا لكل الفخاخ التي يخْبَؤُها تحديد مواقع الكوكب.

لم تكن الأمور بهذه السهولة فيما يتعلق بخطوط طول المريخ. فيبلغ الفارق زاوية ثماني دقائق. وفي الحقيقة لا يزال الفارق ضئيلًا. فنحن يمكننا أن نسجل باستمرار فارق درجة أو درجتين قوسيتين بين موقع كوكب ما وفقًا لحسابات بطليموس والموقع الذي تظهره المراقبة. ويستطيع كبلر أن يبدي رضاه، لا سيما أن كوبرنيكوس لم يبلِ بلاءً أفضل من بطليموس فيما يتعلق بالدقة. لكن لا يستطيع كبلر أن يقر بأن تيخو

ارتكب خطأ مماثلًا خلال المراقبة. هل يبلغ الفارق دقيقتين؟ لنفترض ذلك. لكن من غير الحقيقي أن يكون الفارق ثماني دقائق. بدأ كبلر عمله من نقطة الصفر، فلا بد أن يكون الافتراض الذي وضعه لشكل المسار خاطئًا فاستبعده.[١١]

في كتاب «لغز الكون» أعلن كبلر عن افتراض كون الشمس محركة الكواكب، ولاستغلال ذلك انطلق من فكرة أن سرعة أي كوكب تقل عندما تزيد المسافة بينه وبين الشمس. إنها ظاهرة نوعية كان من الممكن أن يلاحظها مَن سبقوا كبلر إذا لم يكونوا قد سَعَوا بشدة للاقتناع بأن حركة الكوكب كانت دائرية ومنتظمة حول الشمس.[١٢] وبالإضافة إلى ذلك عندما نقارن بين كواكب مختلفة نتحقق من أن أكثرها بعدًا هي الأقل سرعةً (جدول ٦-١). يبقى أن نستخلص من ذلك قانونًا نوعيًّا يشرح حركة أي كوكب حول الشمس.

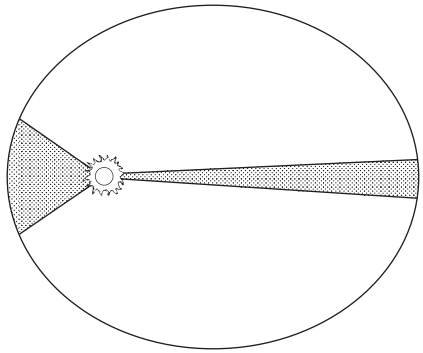
كان ما يحدث آنذاك تحديًا للخيال.

انطلق كبلر من قانون عن الحركة وضعه أرسطو وهو قانون أَثبت خطأَه لاحقًا كلٌّ من جاليليو ونيوتن.[١٣] واستنتج أن سرعة أي كوكب على مداره بطول مساره تختلف بتناسب عكسي مع المسافة بينه وبين الشمس. كانت هذه الصيغة خاطئة لأنها غير مكتملة،[١٤] ولكنها بالتأكيد أقرب إلى الحقيقة من قانون أرسطو الذي انطلق منه كبلر. وانطلاقًا من هذه العلاقة الوسيطة، وهي مأخوذ خاطئ، حدد كبلر قيمة الوقت الذي يستغرقه كوكبٌ ما ليقطع جزءًا من مداره، وانخرط في برهنة هندسية ارتكب خلالها خطأً أعاد ما كان مفقودًا في صيغة المأخوذ؛ مما جعل القانون الذي أعده مضبوطًا. وعُرف باسم قانون المساحات المتساوية، ويمثل النموذج الأول لقانونٍ عن الطبيعة يُصاغ بطريقة أنيقة وحديثة في آن واحد. ولأسباب الترابط المنطقي يحمل هذا القانون رقم اثنين من بين قوانين كبلر ويُسمى قانون كبلر الثاني أو قانون المساحات المتساوية:

> إن المساحات التي يغطيها نصف قطر المسافة بين الشمس والكوكب تكون بالتناسب مع الوقت المُستغرَق لقطع هذه المسافة.

أعلن كبلر عن قانون المساحات المتساوية في عام ١٦٠٩ في كتاب «علم الفلك الجديد». ويوضح الشكل ٩-٣ التفسير الهندسي لهذا القانون.

كيف استطاع كبلر إعداد قانون مضبوط في ظروف بهذه الصعوبة؟ هل هو الحدس أم الحظ؟ لن تكون أي إجابة عن هذا اللغز إلا جزئية، إلا أننا نستطيع أن نستخلص



شكل ٩-٣: تعبير تخطيطي لقانون كبلر الثاني. فعندما يتحرك أي كوكب في جزء من مداره، يغطي نصفُ قطر المسافة بين الشمس والكوكب بالطريقة ذاتها جزءًا من المساحة المسطحة التي يضمها المسار. فيتطابق جزءان متساويان من المساحة مع زمنين متساويين لقطع المسافة.

عِبرة من هذه القصة الغريبة. فإذا كانت الصيغة التي حددها كبلر لقانون المساحات المتساوية صحيحة، فربما يعود ذلك إلى أنها — مثل العديد من قوانين الطبيعة الأخرى — مكتوبة بلغة جميلة وبسيطة في آن واحد. فمَن هو مؤلفها الغامض؟ لماذا اختار الجمال والوضوح؟ إنه تساؤل يلاحقنا.

(٨) عودة إلى مدار المريخ

يسمح قانون المساحات المتساوية لكبلر بمعرفة السرعة التي تدور بها الأرض حول مدارها حتى إذا لم يكن يعلم شكله بالضبط.[١٥] ويبقى تحديد شكل مدار المريخ الأكثر امتدادًا عن طريق الاستعانة بملاحظات تيخو براهي بصورة أساسية. ولتحقيق ذلك يتعين على كبلر وضع افتراض لشكل مدار المريخ. وبعد محاولات عديدة مال إلى شكل القطع الناقص الذي تحتل الشمس إحدى بؤرتيه (شكل ٩-٤)، وكان هذا المصطلح الأخير من ابتكاره.[١٦] كان هذا الاختيار جيدًا مثل اختيار قانون المساحات المتساوية. فإذا فكر كبلر في القطع الناقص، فربما يكون ذلك لأن تعريف هذا المنحنى وخصائصه بسيطة للغاية. فينتمي القَطع الناقص، مثل القطعين الآخرين مخروطِيَّيِ الشكل، إلى

عائلة قريبة من الدائرة. إن شكل ٩-٥ الذي أعيد رسمه مرات عديدة هو نتاج لأعمال عالم الرياضيات اليوناني منخم (حوالي ٣٧٥–٣٢٥ قبل الميلاد)، ولكن كان أبولونيوس بيرغا (حوالي ٢٦٢–١٨٠ قبل الميلاد)، عالم رياضيات كبير من العصر الإغريقي، هو من قام بدراسة مطولة لهذه المنحنيات.

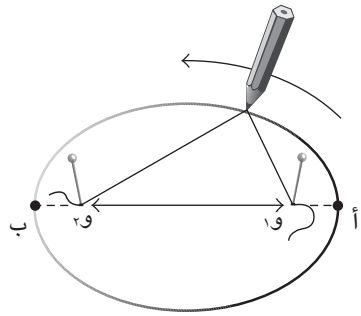
انتهى العمل بشأن كوكب المريخ في عام ١٦٠٦. وإذا كان كتاب «علم الفلك الجديد» الذي يعطي تقريرًا عن هذا العمل قد نُشر في عام ١٦٠٩، فذلك كان بسبب معارضة ورثة تيخو براهي الذين يشعرون بالإهانة من استخدام عالِمٍ لاهوتٍ شابٍّ لملاحظات الراحل بغية دعم نظام كوني يتعارض مع نظام تيخو. إلا أنه في كتاب لاحق بعنوان «ملخص علم الفلك الكوبرنيكي» طبق كبلر قانون المساحات المتساوية والقانون الأول على كل الكواكب:

> يأخذ مسار أي كوكب شكلَ قَطعٍ ناقصٍ تحتل الشمس إحدى بؤرتيه.

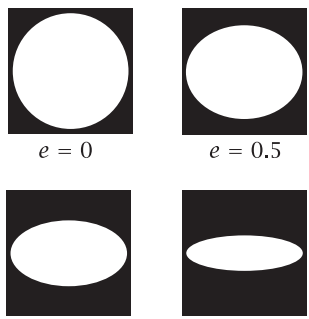
(٩) هل يدرك كبلر مدى أهمية عمله؟

في عام ١٦١١ اجتاح وباء مدمر براغ وأصاب زوجة كبلر الأولى وأحد أطفاله. وفي الوقت ذاته جُن جنون الإمبراطور، فقد كان رودولف الثاني مثقفًا ومتسامحًا ويحمي الفنون والعلوم بجمعه للمنجمين والكيميائيين حوله، ولكنه لم يعد يستطيع إحكام قبضته على البلاد، لدرجة أن أفراد عائلته بدءوا في تجزئة الإمبراطورية بفرحٍ، مضيفين بذلك ويلات الحرب الأهلية إلى الوباء. ففي العام ذاته اختطف أخو رودولف الثاني إقليم بوهيميا، وفي العام التالي خلفه في حكم الإمبراطورية باسم ماتياس الأول. فكان بقاء كبلر في براغ يمثل خطرًا، فاعتقد عالم الفلك للحظةٍ أنه قادر على العودة إلى مدينته الأصلية فورتمبيرغ، ولكنه يتعين عليه أن يكتفي بمنصب معلم رياضيات إقليمي في لينتز، حيث ظل أربعة عشر عامًا.

يمثل قانونا كبلر الأول والثاني كنزًا لعلم الفلك. فحتى ذلك الوقت كانت حركة الكواكب تُلاحظ ثم تُدون بدقة تعتمد على قيمة المراقب. وفجأة حصر عالم لاهوت مولع بعلم الفلك هذه الحركة المعقدة في علاقتين بسيطتين وأنيقتين، تحددان في آن واحد شكل المسار وسرعة الكوكب بطول مداره. إن ذلك الإنجاز لا يجعل فقط التوقعات أكثر دقة، لكنه يتنبأ أيضًا بما سيكون عليه علم الفلك والفيزياء[١٧] من الآن فصاعدًا: علوم



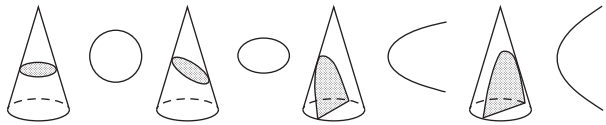
(أ)



(ب)

شكل ٩-٤: لرسم قطع ناقص على ورقة نغرس إبرتين عند نقطتين عشوائيتين (و١) و(و٢) ثم نثبت فيها طرفي خيط غير قابل للمد. وإذا قمنا بمد الخيط، كما يوضح الشكل، يرسم القلم بالضرورة قَطعًا ناقصًا تكون بؤرتاه نقطتي (و١) و(و٢). ويحدد تقاطع القَطع الناقص مع الخط المستقيم الذي يمر بنقطتي (أ) و(ب) المدار الكبير الذي يمر بالبؤرتين (شكل أ). وبتحديد طول الخيط، تحدد المسافة بين الإبرتين شكل القطع الناقص أو التباعد المركزي e على حد قول علماء الرياضيات (شكل ب).

دقيقة قابلة للصياغة الرياضية. ويتعارض هذا المفهوم مع مفهوم تيخو براهي الذي كان يفضل المراقبة على حساب أي تأمل.



شكل ٩-٥: نحصل على القطع المخروطي بتقاطع مخروط دائري مع مستوًى. ويتميز بتباعده المركزي. إن القطع الناقص الذي يبلغ تباعده المركزي صفرًا يصبح دائرة، بينما يميل القطع الناقص الذي يقترب تباعده المركزي من ١ إلى قطع مكافئ وهو منحنًى مفتوح مثل القطع الزائد.

وحتى إذا كانت هذه النتائج لا تخص إلا الكواكب، أثبت كبلر أن الساعة السماوية تدور بانتظام. فهل يدرك نجاحه؟ هل يدرك مدى أهمية اكتشافاته؟ في كتاب «علم الفلك الجديد» لم يتم إبراز قانونَيه بصورة واضحة، فهما مختفيان في وسط سرده المطول لأبحاثه. فيبدو أن كبلر صاحبُ كتاب لغز الكون وعالمُ اللاهوت الباحث عن التناغم السماوي؛ لا يعي إلى أي درجة يعد قانوناه التعبير الأصدق عن هذا التناغم. ولكننا قد نكون ننكر قيمته إذا تخيلنا أنه تخلى عن بحثه عن التناغم السماوي، فبعد أحداث عام ١٦١١ التي طردت كبلر من براغ وأشعرته بالحنين إلى ذويه، كان عام ١٦١٧ أكثر قسوة. ففي أثناء اضطراره للدفاع عن أمه في مواجهة اتهامها بممارسة أعمال السحر فقد ابنته كاترينا. فكان ذلك هو الوقت الذي اختاره لكتابة «تناغم الكون».

في غراتس كان كبلر قد استعان بالمجسمات الأفلاطونية لتفسير المسافات بين كل كوكب. واستمر في ذلك في كتاب «تناغم الكون»، فأضاف بصورة خاصة قواعد التناغم الموسيقي إلى الخصائص الهندسية للمضلعات المتناسقة ... فأحيانًا يعود كبلر بنشاط آلاف السنين إلى الوراء في عصر فيثاغورس رائد التناغم الموسيقي أو في عصر أفلاطون، وأحيانًا أخرى يكون سابقًا لعصره. ولا يسعنا إلا أن نعترف بفضل خلفاء كبلر ومؤرخي العلوم لتحليهم بالصبر في قراءة هذا الحشو المشوش؛ لأنه يخفي بداخله تِبْرَ ذهبٍ نقيًّا ورائعةً جديدة في علم الفلك والفيزياء اكتشفها كبلر في ١٦ مايو ١٦١٨:

> يتساوى مربع النسبة بين فترة دوران كوكبين مختلفين مع مكعب نسبة المحاور الكبيرة لمداريهما.

خلافًا للقانونين الأول والثاني، يسمح قانون كبلر الثالث بالمقارنة بين الكواكب، وهو لا يجيب بالطبع عن السؤال الذي يشغل بال كبلر حول عدد الكواكب، ولكن بساطته ملحوظة بما أن صيغته لم تذكر حجم الكوكب ولا كتلته.

يمكن التعبير عن القانون الثالث بطريقة أخرى: «فيما يتعلق بكل الكواكب تكون النسبة بين مربع الفترات ومكعب المحاور الكبيرة متساوية.» ويظل هذا التساوي حتى إذا استبدلنا بـ «المحور الكبير» «نصف المحور الكبير»، فتكون النسبة دائمًا متساوية، أيًّا كانت الوحدة المختارة؛ سواء قسنا الفترات بالثواني أم بالأيام، وسواء قسنا نصف المحور الكبير بالمتر أم بالكيلومتر. وفي آخر عمود من جدول ٦-١ تُذكر الفترات بالأعوام ونصف المحور الكبير بالوحدات الفلكية، لدرجة أن التقرير يخصص رقم ١ للأرض. ونلاحظ أن جملة الكواكب تحترم القانون الثالث بطريقة مرضية للغاية.[١٨]

أين يجب البحث عن مصدر هذه الوحدة بين الكواكب؟ بالطبع نبحث في الشمس التي تعد جميع الكواكب أقمارًا لها. في المقابل لا ينطبق القانون الثالث إذا قارنا إيو بكوكب: فالأول قمر للمشتري بينما يدور الثاني حول الشمس. وإذا أردنا أن نطبق القانون الثالث فلا يمكننا مقارنة أقمار المشتري إلا فيما بينها، وكذلك القمر الأرضي لا يمكن مقارنته إلا بالأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض.[١٩]

سبَّب الاكتشاف الجديد سعادة غامرة لكبلر: «شعرتُ بحماسة مقدسة [...] كأني سَلَبتُ كئوس ذهب المصريين لأُقدِّم لإلهي قربانًا مقدسًا خارج الحدود المصرية [...] أكتب كتابًا ربما لن يجدَ قارئًا إلا بعد قرن من الزمان بما أن الله انتظر ستة آلاف عام[٢٠] [حتى استطاع البشر فك شفرات عمله البديع].»[٢١]

(١٠) نهاية الرحلة

غادر كبلر لينتز في عام ١٦٢٦، وفي نهاية حياته أخذ يتنقل من مدينة إلى أخرى. واستنفد موارده بسبب الصعوبات المالية التي مرت بها الإمبراطورية التي كانت مضطرَّة لمواجهة الأمراء المعترضين منذ ١٦١٨. فبسبب إغلاق معبد في براغ وإلغاء الشعائر البروتستانتية، اقتُحم قصر هرادكاني، وأُلقي ثلاثة ممثلين للإمبراطور ماتياس من نافذة القصر. كان هذا الحدث بمنزلة بداية حرب الثلاثين عامًا، وهو صراع ديني وسياسي في آن واحد. وتورط العديد من القوى الأوروبية في هذا النزاع، وارتكب المرتزقة في أوروبا أعمالًا وحشية.

بحث كبلر في ظل هذه الظروف عن ملجأ جديد وعن ناشرين مستعدين لنشر آخر أعماله. وفي نوفمبر ١٦٣٠ وصل إلى ريغنسبورغ منهكًا ومريضًا لا يقوى على النهوض، فوافته المنية في ١٥ نوفمبر. وحُفر على قبره بيتان من الشعر ألفهما بنفسه:

كنت أمسح السماء واليوم أقيس ظلال الأرض
تنتمي روحي للسماء ولكن يرقد هنا ظل جسدي.

وبعد عدة أعوام دُمرت المقبرة التي كان يرقد فيها كبلر؛ فالحرب لا ترحم الأحياء، فكيف تحترم الأموات؟

الفصل العاشر

السقوط سيكون أكثر قوة

(١) سقوط الأجسام

تتحرك كرة النار بسرعة كبيرة في اتجاه الشمال الشرقي وتخلف وراءها أثرًا ضوئيًّا طويلًا يتوارى سريعًا، وفجأة تنقسم إلى عشرات الأجزاء. شعرت ميشيل ناب بصدمة قوية في منزلها في بيكسكيل بالقرب من نيويورك، وعندما سارعت إلى النافذة أدركت حجم الخسائر؛ كان هيكل سيارتها به ثقب كبير. تم إخطار الشرطة التي اكتشفت هوية الجاني: حجر أسود يزن عشرة كيلوجرامات مطمور في الأسفلت، عند مؤخرة سيارتها. وسرعان ما قام أحد جيرانها بتحديد هوية القذيفة فهي نيزك وتدل فوهة التجويف التي خلفتها في هيكل السيارة على سرعتها الهائلة.

في هذا اليوم من عام ١٩٩٢ قامت ميشيل ناب بصفقة جيدة؛ فقد باعت في المزاد الحجر الواقع من السماء وحطام السيارة بأسعار خيالية.

لم يكن سقوط النيازك بالشيء النادر، فقد شهده أسلافنا طوال حقبة ما قبل التاريخ ثم على مدار التاريخ. ومن وجهة نظر الميكانيكا فقط، فإن هذا النيزك الذي سقط على الأرض ليس إلا مثالًا على سقوط الأجسام، وهي ظاهرة عادية جدًّا، لكن لم تستطع قَط العصور القديمة أو الوسطى أن تصفها بدقة.

إذا كنا نحرص على الحياة فجميعنا يعرف جيدًا أنه من الأفضل السقوط من نافذة من الطابق الأرضي بدلًا من الطابق السادس للمبنى. فالقطط على سبيل المثال، تلك البهلوانات بالفطرة، تسقط بغريزتها على أقدامها إذا سقطت من المزراب الذي تحتله عائلتها، وهي قدرة فطرية لأننا لم نرَ يومًا قطة تُعَلِّم هذه الحركة الصعبة لصغارها المصطفَّة أمامها بحكمة. إلا أن المزراب يجب ألا يكون على ارتفاع شاهق إذا أرادت أن

تخرج القطط الصغيرة من سقوطها سالمة. ومع اختلاف التناسب ينطبق الأمر ذاته على شخصنا العزيز، فنحن نعرف متى يمكننا القفز دون مخاطرة.

ومع ذلك ليست الأمور بهذه السهولة، فبلا شك كلما كان مكان القفز مرتفعًا زاد الخطر، ولكن لا يمكن اعتبار ذلك قاعدة صارمة، فنعرف جميعًا أنه يمكننا أن نُصاب بجرح إذا سقطنا على جذر مختبئ في العشب. وفي المقابل نعرف أمثلة مفزعة لطيارين اضطروا لترك طائرتهم التي ضلت طريقها دون أن تكون لديهم إمكانية استخدام مظلة، ومع ذلك ظلوا أحياء بعد سقوط غير معقول. وقد درس الجيش الألماني بعناية مثالًا تقليديًّا من هذا النوع حدث في ٢٣ مارس ١٩٤٤ خلال الحرب العالمية الثانية.

كان الرقيب نيكولا الكميد فردًا من طاقم قاذفة قنابل بريطانية احترقت في أثناء القتال ضد المدفعية الألمانية. ونظرًا لأنه كان عاجزًا عن الوصول إلى مظلته بسبب الحريق استسلم هذا البائس لفكرة القفز في الجو من ارتفاع ٦٠٠٠ متر. فاستغرق سقوطه في الجو دقيقة ونصف، وظل يسقط في خط مستقيم وسط أغصان غابة من أشجار الصنوبر المغطاة بالجليد. وهبط في النهاية على أرض مغطاة بطبقة من الجليد يبلغ سمكها أقل من ٥٠ سنتيمترًا. فأخضعه الألمان الذين اختطفوه إلى فحص دقيق، ولاحظوا أنه لم يكن يعاني إلا من خدوش سطحية وحروق أصابته إثر احتراق طائرته![1]

ليس الارتفاع الذي تم منه السقوط هو العامل الوحيد المؤثر، فعندما نريد تحديد سرعة سقوط حر، فإن حجم الجسم الساقط وشكله وكذلك طبيعة المكان المحيط كل ذلك يلعب دورًا مهمًّا؛ فإن ورقة شجر ميتة تسقط ببطء عن تفاحة ناضجة بدرجة كافية. وتفسر هذه الظروف إلى حد ما لماذا كان يتعين انتظار القرن السابع عشر حتى يكتشف جاليليو قانون سقوط الأجسام ويضع نظامًا للتعدد الظاهري للسلوك الملاحظ في أثناء السقوط الحر. ولم يشعر أحدٌ قط قبل جاليليو أن تنوع الظواهر الملاحَظة يخفي قانونًا صارمًا وبسيطًا في آن واحد، فإن هذا الاكتشاف الذي حدث بعد ألفيات عديدة كان من المفترض أن يقلب التاريخ رأسًا على عقب ويمهد الطريق للحداثة.

(٢) سقوط الأجسام: التمهيد

حتى إذا كنا نحب تمثيل جاليليو بأنه كان يُسقط أوزانًا من أعلى برج بيزا[2] يجب أن ندرك أنه نظرًا لعدم وجود كرونومتر كان من الصعب عليه القيام بقياسات دقيقة لحركة «الأجسام المتحركة»، كما كان يُطلق عليها في ذلك العصر. ويبلغ ارتفاع قمة

البرج ٥٤,٥ مترًا، فأي جسم يسقط من الطابق الأخير لا يستغرق أكثر من ثلاث ثوانٍ ليلمس الأرض. ومن الحقيقي أنه لقياس الفواصل الزمنية صنع جاليليو ساعة تعمل بالماء يعود نموذجها الأولي إلى القرن الثالث قبل الميلاد. وكان يلجأ أيضًا إلى طرق تنتمي إلى الفسيولوجيا البشرية مثل دقات النبض أو إلى تطبيق القواعد الموسيقية؛ فقد كان جاليليو عازفًا مثاليًّا للعود، وخلال تجاربه لم يكن يجد أيَّ صعوبة في غناء لحن وَعَدِّ قياسه. وعلى كل حال كانت الدقة محل شك، فكان يتعين على جاليليو إيجاد طريقة أخرى. وكانت الطرق المطروحة غير مجدية إذا كانت الحركة المدروسة سريعة. وواجهته مشكلة أخرى خطيرة؛ حتى وإن كان مفهوم السرعة بديهيًّا فقياسه ليس كذلك.

وعندما قام جاليليو العجوز، بعد محاكمته وإهانته وهو شبه كفيف، بتأليف كتاب «الخطاب حول علمين جديدين»؛ قام بعمل خلاصة لأبحاثه حول الحركة.[٣] وبما أن الرياضيات المعروفة في عصره كانت غير كافية، كان يلجأ أحيانًا إلى عمليات استدلال ملتوية، بل خاطئة.

بدأ جاليليو باستخدام المفاهيم الأرسطية، التي كانت تنص بصورة خاصة على أنه خلال السقوط الحر لجسمٍ ما، ينتقل الجسم من السرعة صفر إلى سرعة تظل ثابتة، وتُسمى في هذه الحالة سرعة منتظمة. وكان أرسطو يعتقد أن قيمة «السرعة الطبيعية» تزداد كلما كان الوزن ثقيلًا.[٤] ويحدث ذلك في الماء، ولكن يؤكد سمبليتشو في كتاب «الخطاب حول علمين جديدين» أننا نلاحظ ذلك في كل الأماكن، ولا سيما في الهواء.

سالفياتي: [...] فلتقلْ لي إذن يا سيد سمبليتشو إذا كنت تقرُّ بأن الجسم الثقيل عندما يسقط تكون له سرعة محددة؛ أي إنها لا تزيد ولا تقل إلا بفعل العنف أو أي عقبة أخرى.

إذا كان سالفياتي يتحدث عن «عنف» فهو يشير إلى مفهوم أرسطو عن الميكانيكا، فهو كان يميز بين «الحركة الطبيعية» — ومثال ذلك السقوط الحر — و«الحركة العنيفة». وفي الحالة الأخيرة تقوم قوة بتحويل الجسم عن حركته الطبيعية: إذا لم يكن الحصَان يجرُّ العربة فهي ستتوقف على الفور.

تسببت سذاجة سمبليتشو في تعرضه مرة أخرى إلى الخداع. وبما أنه بَبْغاءُ أرسطيٌّ أخذ يردد كل كلمة في جملة سالفياتي دون أن يشكَّ في الفخ الذي ينصبه له خصمه، ولم يدرك ذلك إلا عندما بدأ محاوِرُه في الحديث من جديد.

سالفياتي: إذا كان لدينا جسمان متحركان لكلٍّ منهما سرعة طبيعية غير مساوية لسرعة الجسم الآخر، فمن الواضح أنه عندما نربط الأبطأ بالأسرع ستقل سرعة الجسم

الأسرع جزئيًّا بفعل الجسم الأبطأ، وستزيد سرعة الجسم الأبطأ جزئيًّا بفعل الجسم الأسرع. ألستَ متفقًا معي في هذه النقطة؟

سمبليتشو: في رأيي، لا يمكن حدوث غير ذلك.

يستفيد سالفياتي بخجل من هذا الموقف، فكان أهم ما قاله: فلنستكمل التسلسل المنطقي. رأينا للتو أن السرعة الطبيعية لحجرين مربوطين معًا أقل من سرعة الحجر الأثقل إذا كان بمفرده. ولكن لا يمكن التوفيق بين هذا التأكيد وقاعدة أخرى صاغها أرسطو تنص على أن سرعة الحجر تزداد كلما زاد حجمه. هكذا تكون الرؤية الأرسطية لسقوط الأجسام متعارضة! انتهى الفخ دون أن يعقبه رد.

هناك الكثير مما يقال عن حجة سالفياتي. فإذا سقط الحَجَران في الوقت ذاته في محيط مادي كثيف بقدر كافٍ مثل الماء، فسرعان ما يكتسبان سرعة منتظمة تعتمد على وزنيهما، وهو ما يشبه ما يدافع عنه أرسطو. لكن ربما لا يستطيع سالفياتي استخدام حجته للتهكم على الفيلسوف اليوناني؛ فيعرف الجميع أن سرعة جسم متحرك في الهواء أو في الماء تعتمد أيضًا على شكله. وأفضل من يعرفون ذلك هم المهندسون الذين يصنعون الغواصات أو سيارات فورمولا ١ السريعة. فإذا ربط سالفياتي حجرين معًا وقاس سرعتهما في الماء، فيمكنه أن يلاحظ أن سرعتهما المشتركة لا تنتج فقط عن سرعة مكوناتهما.[٥]

لكننا نشعر بالرضا التام من الاستنتاج المؤقت الذي توصل إليه سالفياتي- جاليليو.

سالفياتي: [...] وحينئذٍ [...] أتتني فكرة أنه إذا ألغينا تمامًا مقاومة المكان المحيط، فستسقط كل الأجسام بالسرعة ذاتها.

سمبليتشو: [...] لن أصدق أبدًا [...] أنه حتى في الفراغ إذا كانت الحركة ممكنة،[٦] فإن قطعة من الحرير ستسقط بسرعة مساوية لسرعة قطعة من الرصاص.

يتحلى جاليليو-سالفياتي بنفاذ البصيرة بصورة ملحوظة، لكن لم تنتهِ مهمته؛ فيتعين عليه تحديد الصيغة الصحيحة لقانون سقوط الأجسام، ليحل محل تأكيدات أرسطو البالية.

(٣) الفلسفة مكتوبة بلغة الرياضيات

يخطو جاليليو خطوة مهمة في الفصل الذي يخصصه في كتاب «الخطاب حول علمين جديدين» إلى اكتشافه لقانون سقوط الأجسام. فبينما يسعى أرسطو إلى صياغته بلغة

الحياة اليومية، يصوغه جاليليو في قالب رياضي. ففي كتابه ساجياتوري «الفاحص» الذي صدر في ١٦٢٣، كتب اعترافًا حقيقيًّا: «إن الفلسفة موجودة في هذا الكتاب الشاسع المفتوح أبديًّا أمام أعيننا — وأقصد الكون — لكن لا يمكننا قراءته قبل تعلُّمِ اللغة، والتأقلمِ على الرموز التي تُكتب بها؛ فهي مكتوبة بلغة رياضية وحروفها هي مثلثات ودوائرَ وأشكال هندسية أخرى، وكلها وسائل دونها لا يستطيع الإنسان أن يفهم كلمة واحدة، ودونها نضلُّ بلا جدوى في متاهة مظلمة.»

يعد هذا الإدراك لأهمية الرياضيات جوهريًّا، لكننا قد نخطئ إذا نسبناه إلى جاليليو فقط؛ فهو يعود على الأقل إلى فيثاغورس أو إلى أتباعه ممثلي مدرسته (الفصل الخامس). فعندما تَحقَّقَ هذا الإدراكُ أَثَارَ صدمةً كبيرة، فمن وجهة نظر أتباع فيثاغورس «كل شيء رقم»، بل «كل شيء رقم صحيح». وقد تمخض هذا المفهوم عن تجربتين مميزتين على أقل تقدير.

تتعلق التجربة الأولى بعلم الأصوات، فإن وترَيْ قيثارة من نوع مماثل ومشدودين بقوة متساوية، يُصدران ألحانًا متناغمة، شريطة أن تكون بين أطوالهما نسبة بسيطة: على سبيل المثال يكون الفاصل بينهما جواب النغمة أو الدرجة الخامسة أو الثالثة من السلم الموسيقي؛ حيث يكون طول كلٍّ منها بنسبة ١:٢ و٢:٣ و٤:٥. ولنا أن ندرك دهشة أتباع فيثاغورس عندما أدركوا الظاهرة، فإنَّ تدخُّل الأرقام الصحيحة في التناغم الموسيقي يربط بين فيزياء الأصوات وكيفية إدراكنا لها.

كانت هناك مفاجأة ثانية في انتظار فيثاغورس أو تلاميذه، وتتعلق بخاصية غريبة للمثلثات القائمة، فإذا كان الضلعان المتاخمان للزاوية القائمة بطول ٣ و٤، يكون طول الوتر ٥. إنها «مبرهنة فيثاغورس» التي نسبت إليه بما أن $٣^٢ + ٤^٢ = ٥^٢$. ونتحقق من أن ذلك ينطبق على عدد غير محدود من مجموعات أخرى مكونة من ثلاثة أرقام صحيحة، وخاصةً (٥، ١٢، ١٣) و(٧، ٢٤، ٢٥)، مما يربط بين الهندسة وعلم الحساب، ويخص أيضًا العالم الفيزيائي بما أن الهندسة وليدة المسح، لدرجة أنها في عصر فيثاغورس كان يمكن اعتبارها علمًا تجريبيًّا أكثر من علم الحساب.

إن ظهور الأرقام الصحيحة في الموسيقى والهندسة قد بهر أتباع فيثاغورس، مما يسمح بتخيل سبب إعطائهم لها أهميةً كبيرة. ففي زمنٍ كثرت فيه الآلهة، لا عجب إذا رأينا أتباع فيثاغورس يوجهون ميولهم الخفية إلى الأرقام.

وقام آخرون غير جاليليو بصياغة بعض قوانين الطبيعة في قالب رياضي؛ فقد أثبت كبلر بصورة واضحة عبر قوانينه الثلاثة أن الرياضيات تمثل لغة خطاب مميزة لمن يريد

فك رموز الساعة السماوية. ولكن مبدأ جاليليو يمتد إلى ما هو أبعد من ذلك، فقد أعلن عن اتحاد الرياضيات والعلوم الدقيقة ملتزمًا بذلك بالمهمة التي حددها سلفًا؛ وهي أن يثبت أمام العالم أن أتباع أرسطو مخطئون. وقد بدأ عمله بدراسة ما أسماه بـ «الحركة الطبيعية للأجسام الثقيلة»، وهي حركة جسم في أثناء سقوطه الحر، وللتوصل إلى ذلك استلزم جاليليو أن يُعبر عن القانون المنتظر بصورة بسيطة، فاستعان بما نسميه اليوم مبدأ البساطة. وكان جاليليو محقًّا في ذلك، فإن قانون سقوط الأجسام بسيط.

وهناك الكثير ما يمكن قوله حول مبدأ البساطة، فهو لا يقوم إلا على حكم مسبق فقط. ومن الحقيقي أن العديد من الاكتشافات لم تكن ممكنة إلا لأن عالمًا قد ابتكر هذا المبدأ بوعي أو دونه، ومن الحقيقي أيضًا أن الطبيعة تنقذنا في كثير من الأحيان، فيبدو أنها تحب البساطة، ولكن في النهاية يُستنتَج أيُّ قانون دائمًا من التجربة؛ سواء بطريقة مباشرة أم غير مباشرة. وذلك لا يمكن أن يحدث إلا إذا كانت التجربة ذاتها بسيطة بالقدر الكافي، وهو مفهوم غامض إلى حدٍّ جعلَه موضع جدل لا ينتهي. لكن نظرًا للقيود التي يخضع لها أي قانون، فقد نسجت الطبيعة بالفعل شبكة من القوانين البسيطة. ويعتقد الكثيرون أن قوانين الطبيعة موجودة بصورة مختلفة عن الطريقة التي يفهمها بها الكائن الحي، وهم مناصرو المذهب الواقعي ويمثلون الغالبية العظمى من العلماء، ولديهم أيضًا حجج قوية للاندهاش من هذه البساطة.

ويرى من يرفض المذهب الواقعي أن قوانين الطبيعة لا توجد إلا بفضل عمل العقل الإنساني الذي يمثله العالِم. وكما يقول مارتن جاردنر بسخرية: «لا عجب أن يستطيع فلاسفةٌ تبنِّيَ رأي مماثل بما أنه لا توجد أي فكرة غريبة لم يدافع عنها ميتافيزيقيٌّ في يوم من الأيام.»[٧] ويعبر أويلر عن الفكرة ذاتها بقوة ووضوح قائلًا: «عندما يثير عقلي في روحي إحساس شجرة أو منزل، أنطِق بشجاعة أنه يوجد بالفعل خارجي شجرة أو منزل، أعرف حتى مكانهما أو حجمهما أو خصائص أخرى عنهما؛ لذا لا نجد إنسانًا أو حيوانًا يشكك في هذه الحقيقة، وإذا أراد فلاح أن يشكك في ذلك، فلو قال على سبيل المثال إنه لا يؤمن بوجود القاضي الإقطاعي، فأيُّ امرئ كان أمامه سيعتبره مجنونًا عن حق، لكن إذا عبر فيلسوف عن تلك الأحاسيس، فهو يريد أن يعجب الناس بعقله وثقافته اللذين يتجاوزان عقل الشعب وثقافته.» إن مثل هذه المواقف تسيء لمناصري العلوم الإنسانية، ولكنها تعد ميزة غالبية ممارسي العلوم الدقيقة على الأقل عندما يعملون في مختبرهم أو عندما يقومون بالبحث الرياضي بالورقة والقلم. وإذا بدلوا رأيهم يكون

ذلك في نهاية المطاف عندما يتوقفون عن التفكير في فلسفة العلوم؛ فيشبهون في ذلك هؤلاء المفكرين المقتنعين بأن حياتهم وأفكارهم كلها خاضعة لحتمية مطلقة، لكنهم على الرغم من ذلك عندما يكونون متأخرين، يَجرون للحاق بالقطار، وهو سلوك ليس غريبًا أو متعارضًا. ويعد هذا النقاش مهمًّا فيتعلق التحدي بمكانة الإنسان في الكون.

منذ بضعة أعوام ظهرت حركة جديدة، وتجمع مناصروها تحت راية النسبية الإدراكية وهم يرون أن صحة أي تأكيد علمي أو خطأه يكون نسبيًّا للفرد أو الجماعة التي تدافع عنه، ويسعون أيضًا «إلى إثبات أنه لا وجود للمعرفة الموضوعية، وأنها تعكس دائمًا الأفكار السائدة للثقافة التي أنتجتها، وبعبارة أخرى [هم] ينكرون المذهب التجريبي. وربما لن تكون الحقيقة الفيزيائية إلا بناءً اجتماعيًّا وثقافيًّا، حتى حينما يتعلق الأمر بملاحظة دوران الأرض. ونظرًا لسخط [عالم الفيزياء الأمريكي] آلان سوكال من هذه اللغة الخطابية قام بخدعة: نشر مقالًا ثريًّا بالمعنى الذي يقصدونه، وملأه عن عمد بأمور فظيعة ولا سيما في مجال الفيزياء، فتلقَّى العديدَ من التهاني، وبعد ذلك اعترف بالخدعة في مجلة أخرى.»[٨] أهان هذا الفعل بصورة خاصة مناصري النسبية الإدراكية وعددًا من المفكرين المنضمين لهذا المذهب. فيمكننا تصوير الملك عاريًا لكن من غير المستحسن نشر هذه الصور. أما العلماء فقد انهمروا في الضحك. وبسبب هذه الحادثة قام سوكال وزميله بريكمون بتأليف كتاب «خدع فكرية»، الذي يروي تفاصيل الخدعة ويحدد فكرهما، فقد هاجما كلَّ من يُغرِق الهوة السحيقة لفكره في محيط لغة علمية مزيفة.

في موقف مناصري الواقعية الإدراكية تعد الكلمة المفتاحية هي كلمة «اجتماعي»، فيبحث هذا التيار الفكري عن ربط النشاط والثقافة البشريَّيْن بالعلوم الاجتماعية. فلا أحد يشكك في أن هيكل المجتمع قد لعب دورًا كبيرًا في تاريخ العلوم، ولكن عندما يسعى بعض أعضاء هذا التيار لإخضاع محتوى المعرفة العلمية لأغراضهم، فذلك هو قمة السخرية. إنها بدعة لا بد أن تختفي مثل سابقاتها ولن يأسف أحد لذلك.

(٤) الحركة المتسارعة بصورة منتظمة

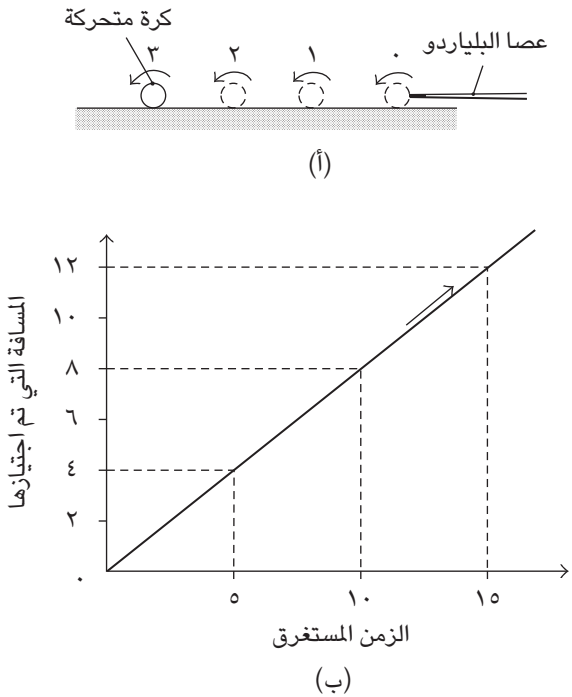
قام جاليليو بخطوة مهمة عندما بحث عن قانون بسيط، ولكن ذلك لم يكن آخر الصعاب التي واجهها، فقد تساءل حول الأشكال المختلفة التي يمكن أن يأخذها قانون سقوط الأجسام.

كان اختياره الأول خاطئًا؛ فقد اقترح أن السرعة تزيد بالتناسب ليس مع الزمن المستغرق بل مع المسافة التي تم اجتيازها منذ بداية السقوط. ولكن عندما حلل جاليليو هذا النوع من الحركة اكتشف أن ذلك مستحيل! فإذا كانت السرعة تزيد بالتناسب مع المسافة، فإن أي جسم متحرك غير معلق بشيء فوق الأرض سيظل معلقًا في الهواء، ولن يأخذ في السقوط إلا إذا أعطيناه عند إسقاطه سرعة مبدئية، كما نفعل مع قطعة الورق اللاصقة عندما نحاول بشدة التخلص منها بتحريك الإصبع الذي تلتصق به.[٩] وتوضح هذه المحاولة المخفقة لجاليليو أحد القيود اللامتناهية التي تخضع لها الطبيعة؛ فتظهر القوانين التي وضعتها تماسكًا عجيبًا.

وبعد هذا الإخفاق لم ييأس جاليليو، فوضع افتراضًا جديدًا وكان بسيطًا مثل سابقه، فأقر أن الجسم المتحرك في أثناء السقوط الحر يكتسب حركة متسارعة بصورة منتظمة. ويعرف الجميع مبدأ تسارع جسم متحرك، فهو يُستخدم في كل مرة تتغير فيها سرعة جسم متحرك. وفي لغة الحياة اليومية من يقول «تسارُع» يقصد «زيادة سرعة». ولكن يستخدم الفيزيائي هذا المصطلح حتى إذا قلَّت السرعة، «فالتسارُع يعكس تغيرًا إيجابيًّا أو سلبيًّا للسرعة.» ولكن لا يكفي التعريف النوعي فيتعين على العالم الإيطالي أن يحدد تعريفًا كميًّا للتسارع.

إذا كان جاليليو بالفعل يُسقِط أجسامًا متحركة من أعلى البرج، فقد كانت سرعتها صفرًا في الوقت الذي يتركها في الفراغ بفتح يده، ثم يحدث بالضرورة التسارعُ بما أن كل جسم متحرك في أثناء سقوطه يتحرك سريعًا جدًّا بدرجة تجعل من الصعب قياس هذه السرعة. وكان أتباع أرسطو يسلمون بهذه النقطة بسرور، لكنهم كما رأينا يعتقدون أن الجسم يكتسب فورًا السرعة المنتظمة التي تميز السقوط بأكمله. إن الحركة ذاتَ السرعةِ المنتظمة هي حركة كرات البلياردو، ففي هذه الحالة تزيد المسافة بالتناسب مع الزمن المستغرق (شكل ١٠-١).

وبذلك يقترح جاليليو أنه خلال السقوط الحر تكون السرعة، وليست المسافة، هي التي تزيد بالتناسب مع الزمن المستغرق. ولنتخيل أن السرعة التي كانت صفرًا في البداية تصبح ١٠ أمتار في الثانية بعد الثانية الأولى، ثم تبلغ ٢٠ مترًا في الثانية بنهاية الثانية التالية، ثم ٣٠ مترًا في الثانية بنهاية الثانية الثالثة وهكذا.[١٠] وهو ما أسماه جاليليو بـ «الحركة المتسارعة بصورة طبيعية (منتظمة)»، ويعد التشابه مع الحركة المنتظمة واضحًا (جدول ١٠-١). فإذا اعتبرنا السرعة ثابتة في أثناء الحركة المنتظمة،



شكل ١٠-١: تتدحرج كرة البلياردو على الطاولة بسرعة ثابتة بعد تلقيها للدفعة اللازمة. ونشير إلى موقعها في أوقات ٠ و١ و٢ و٣ ... (أ). وتزيد المسافة التي تسيرها الكرة بالتناسب مع الزمن المستغرق. ويتم تمثيل المسافة وفقًا للزمن على الرسم البياني بخط مستقيم (ب). وتكون المقاييس عشوائية.

فمن الطبيعي أن يكون الأمر ذاته مع الحركة المتسارعة بصورة منتظمة. واختار جاليليو أيضًا من بين التعريفات الممكنة للتسارع.

تبقى مقارنة الحركة الحقيقية لجسم متحرك في أثناء السقوط الحر مع الحركة المتسارعة بصورة منتظمة. فهل تتشابه هاتان الحركتان؟ عندما حرص جاليليو على الإجابة عن هذا السؤال اصطدم بعائقين اعترضا طريقه.

للتحقق من صحة افتراضه كان يتعين على جاليليو أن يختار، وأن يقيس على الأقل عاملين يميزان حركة جسم متحرك حقيقي: المسافة التي تم اجتيازها، والزمن المستغرق

أو السرعة.[١١] ولكن كما رأينا سابقًا يعد قياس السرعة صعبًا للغاية. فقد حاول العالِم مرارًا وتكرارًا الاستعانة بأثر الكرة عندما تصل إلى نهاية سقوطها، فوضع شمعًا على الأرض وتحقق من أن التشوه الناتج عن الكرة يزيد كلما زادت السرعة، لكن تظل العلاقة بين العاملين نوعية بحتة. فكان جاليليو مجبرًا على هذه الاقتراحات غير المعقولة، وفي هذه الظروف كان من الأفضل أن يعكف على تحديد المسافات والزمن المستغرق خلال السقوط. ويمثل قياس الوقت أيضًا صعوبة، ولكن على الرغم من جدية العراقيل استطاع جاليليو تخطيها؛ فقد كان فيزيائيًّا مجربًا بلا نظير.

إذا كان جاليليو يريد التأكد من أن الأجسام المتحركة في أثناء سقوطها الحر تكتسب حركة متسارعة بصورة منتظمة، كان ينبغي عليه أولًا أن يحلل النسبة بين المسافة والزمن والسرعة خلال هذه الحركة. ولم يقم أحد قبله بذلك، وكان اللجوء إلى الرياضيات حتميًّا. كان التحدي كبيرًا لجاليليو، فقد كان يجيد بسهولة الهندسة أكثر من الجبر؛ مما جعل مهمته أكثر تعقيدًا.

جدول ١٠-١: أوجه الشبه بين الحركة المنتظمة والحركة المتسارعة بصورة منتظمة. ففي الحالة الثانية يؤدي التسارع الدور ذاته الذي تلعبه السرعة في الحالة الأولى. وفي الحركة المنتظمة تكون السرعة ثابتة وفقًا لبديهتنا. وبالتشابه يكون التسارع ثابتًا في الحركة المتسارعة بصورة منتظمة.

الحركة المنتظمة	الحركة المتسارعة بصورة طبيعية (منتظمة)
تتناسب المسافة التي تم اجتيازها طرديًّا مع الزمن المستغرق.	تتناسب السرعة طرديًّا مع الزمن المستغرق.
تكون السرعة ثابتة.	يكون التسارع ثابتًا.

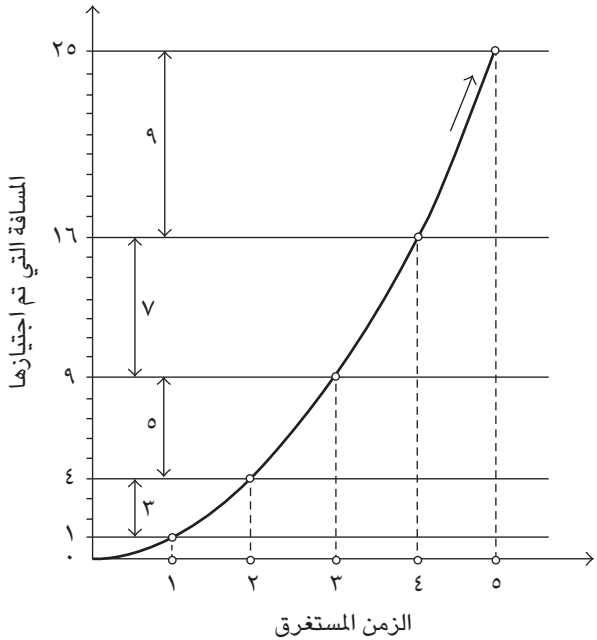
قبل ظهور «الحسابات غير متناهية الصغر» التي يرجع الفضل فيها إلى نيوتن ولايبنتس، كان من الصعب أن نبرهن على عامل يتغير باستمرار خلال الحركة مثل السرعة. فكانت الصعوبات بالتأكيد ذات طابع رياضي ولكن أيضًا ذات طابع فلسفي. ففي كتاب «الخطاب» نجد دحضًا لاعتراضات من جانب سمبليتشو تتسم تحديدًا بهذا الطابع، فنظرًا لأنه كان يدافع بقوة عن أفكار أرسطو، كان يبحث عن كل نقاط الضعف

في استدلال سالفياتي، فقد كانت الحجج التي يقدمها تدفع بقوة إلى التفكير في متناقضات زينون التي وصلت إلينا بفضل أرسطو، وأشهرها متناقضة أخيل والسلحفاة.

كان أخيل بطل الإلياذة يمثل لدى اليونانيين نموذج الراكض السريع، فوضعه زينون في سباق مع سلحفاة وهي نموذج البطء. لم يكن أحد يشك في نتيجة المواجهة؛ فإن أخيل الذي يجري ١٠ أمتار في الثانية منح خصمه أفضلية أن يسبقه بـ ٩٠ مترًا، لا يهم إذا كانت وحدات الطول تدل على مفارقة واضحة. وكانت السلحفاة تسير بعناء مترًا في الثانية، وهي سلحفاة سريعة جدًّا ... يرى زينون أن جوهر المتناقضة يكمن في إثبات أن أخيل لن يستطيع أبدًا اللحاق بالسلحفاة، فعندما يصل إلى النقطة التي كانت السلحفاة قد بدأت منها تكون هي قد تقدمت تسعة أمتار، فيتعين على بطل طروادة أن يركض تسعة أمتار أخرى قبل أن يصل إلى النقطة التي غادرتها السلحفاة للتو، ولكنها تكون قد تقدمت تسعين سنتيمترًا. فإذا تابعنا التسلسل المنطقي فسنستنتج في النهاية أن أخيل لن يلحق أبدًا بالسلحفاة: ففي كل مرة يصل فيها إلى النقطة التي كانت تحتلها السلحفاة سابقًا تكون هي قد غادرتها. وهو ما رد عليه تلميذ يوناني حديث بأن أخيل يلحق بالسلحفاة بمجرد تجاوزه ١٠٠ متر. وأضاف عالم رياضيات معاصر أنه إذا اتبعنا طريقة زينون يحتاج أخيل إلى (٩ ثوانٍ + ٠,٩ ثانية + ٠,٠٠٩ ثانية + ٠,٠٠٠٩ ثانية ...) = ١٠ ثوانٍ للتوصل إلى ذلك.

لا نعرف تحديدًا ما يريد زينون إثباته عبر هذه المتناقضة، فتختلف الآراء في هذا الشأن، فهو لم يكن يستطيع أن ينكر أن أخيل شخصيًّا سيلحق بلا مشقة بسلحفاة حية، إلا أن قصته الرمزية تحتوي على درس أخلاقي. ولم يكن من البديهي لليونانيين أن يفترضوا المساحة والزمن القابلين للقسمة اللانهائية، وهم لا يألفون أيضًا بسهولة عمليات الجمع التي تحتوي على عدد لا متناهٍ من العناصر مثل (٩ + ٠,٩ + ٠,٠٠٩). أما في يومنا هذا فلم تعدْ هذه العملية تمثل أي صعوبة، ونقرُّ أن مجموع عدد لا متناهٍ من العناصر يمكن أن يأخذ قيمة متناهية.

وبالرغم من هذه العراقيل توصل جاليليو إلى استنتاج اختبره بالوسائل الرياضية البدائية التي كان يمتلكها، فأثبت بصعوبة أنه خلال الحركة المتسارعة بصورة منتظمة إذا سار الجسم المتحرك مترًا خلال الثانية الأولى، فهو يتحرك ثلاثة أمتار في نهاية الثانية التالية ثم خمسة أمتار خلال الثانية الثالثة: فتكون المسافات التي تم اجتيازها خلال كل وحدة زمنية فيما بينها كتسلسل الأرقام الفردية (١، ٣، ٥، ٧، ٩، ١١، ...) وتفترض

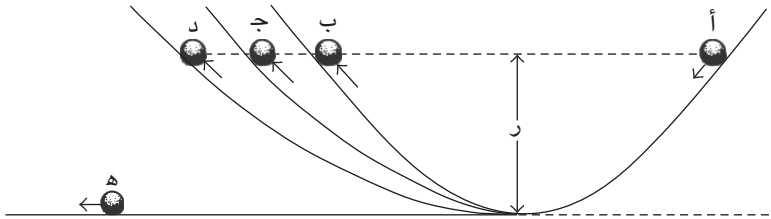


شكل ١٠-٢: إن الجسم المتحرك الذي يسير مترًا في الثانية الأولى خلال الحركة المتسارعة بصورة «طبيعية» أو منتظمة يتحرك ٣ أمتار ثم ٥ أمتار ثم ٧ أمتار خلال الثواني التالية ... وينتج عن ذلك أن يتحرك الجسم بالترتيب ١، ٤، ٩، ١٦، ... مترًا خلال ١، ٢، ٣، ٤، ... ثوانٍ؛ ومن ثم تزيد المسافات مثل مربع الزمن المستغرق.

هذه النتيجة أنْ تزيد المسافات التي يجتازها جسم متحرك في أثناء سقوطه الحر مثل مربع الزمن المستغرق (شكل ١٠-٢). فتعد هذه الخاصية مستقلة عن وحدات الطول والزمن المختارة، لدرجة أن جاليليو استطاع في البداية التحقق منها باستخدام ساعة من صناعته.

(٥) السطح المائل

ليس التحقق المبدئي هو ما يحتاج إليه جاليليو، بل هو يريد أن يقوم بسلسلة من التجارب التي من شأنها أن تعطي إجابة واضحة عن السؤال المطروح: هل تتسم



شكل ١٠-٣: تعد الكرة التي تسقط من ارتفاع ما (ر) بطول سطح مائل قادرةً على بلوغ مستوًى أعلى من (ر)، إذا كان يوجد لدينا سطح مائل (ب) بعد (أ) ويكون اتجاهه مقابلًا لاتجاه (أ). وإذا استبدلنا بالسطح (ب) أسطُحًا أخرى (جـ) و(د)، وهي أقل ميلًا، تبتعد الكرة خلال صعودها تدريجيًّا عن نقطة انطلاقها. وأخيرًا قد تبتعد الكرة بصورة لا متناهية وتصبح حركتها منتظمة عندما يصبح السطح الأخير (هـ) أفقيًّا. وفي الحقيقة تؤدي مقاومة الهواء باستمرار إلى إبطاء جريان الكرة؛ مما يزيد تعقيد التجربة.

الأجسام المتحركة بالفعل بحركة متسارعة بصورة منتظمة؟ لا تزال الصعوبة التجريبية الأساسية قائمة. ففي القرن السابع عشر كان من الصعب القيام بقياسات دقيقة مع أجسام متحركة في أثناء سقوطها الحر.

في ظرف مماثل يظهر المجرب القدير. ففكر جاليليو في أن يستبدل بالحجر الذي يسقط سقوطًا حرًّا كرات تتدحرج على سطح مائل، فهل تتسم هي الأخرى بحركة متسارعة بصورة منتظمة؟ إذا لم يكن السطح إلا مائلًا قليلًا فيستطيع جاليليو أن يتحقق من ذلك بصورة مباشرة؛ لأن سرعة الجسم تكون أقل والقياسات أسهل. ولتعديل ظروف التجربة يستطيع جاليليو أيضًا أن يغير زاوية السطح مقارنة بالخط الأفقي.

فلنعترف أنه قد يكون من السهل أن نبدي استياءنا من حجج جاليليو عندما يبرر لماذا استبدل بالأجسام المتحركة التي تسقط سقوطًا حرًّا كراتٍ تتدحرج على سطح مائل. ولكن دعونا لا نكن متشددين وندع بالأحرى الإثبات المفصل للأجيال التي تَلَتْ جاليليو.

كانت نتائج التجارب مُرضية تمامًا، فقد لاحظ جاليليو أن الطبيعة قد اختارت الحركة المتسارعة بصورة منتظمة. ولم يكن ذلك كل ما في الأمر، فأظهرت التجارب أن الكرات التي تختلف أوزانها والتي تتدحرج على السطح المائل ذاته لها تسارع مماثل. وها هو تشابه جديد بين السقوط الحر والسطح المائل: ليس للوزن أي تأثير.

لم تكن النتيجة الأخيرة أقل شأنًا: تستمر الحركة المستقيمة على سطح أفقي بصورة لا متناهية شريطة أن نستطيع تجنب مقاومة الهواء (شكل ١٠-٣): يكتسب أي جسم غير خاضع لقوة ما حركة مستقيمة منتظمة. واستخدم جاليليو «مبدأ العطالة» استخدامًا ملحوظًا؛ ففي تعاليم أرسطو تمثل حركة القذائف نقطة ضعف بصفة خاصة. لم ينتهِ كفاحه.

(٦) أرسطو والعالم الفيزيائي: لم تعد الكلمات كافية

في كلٍّ من رؤية القرون الوسطى والرؤية الأرسطية للكون هناك فرق واضح جدًّا بين عالم ما تحت القمر أو العالم الأرضي من ناحية، والعالم السماوي من ناحية أخرى، فتتكون المادة التي نجدها على كوكب الأرض من أربعة عناصر؛ وهي: التراب والماء والهواء والنار.[١٢] ولا تتشابه العناصر مع المواد التي تستقي منها اسمها. فقد كان القدماء يعتبرون المياه التي نشربها خليطًا للعناصر الأربعة يكون فيه عنصر الماء هو السائد.

ويتوافق كل عنصر مع منطقة مختلفة من عالم ما تحت القمر؛ فتحتل النار القمة فوق الهواء، ويكون كوكب الأرض هو مملكة عنصر الأرض، بينما يقع الماء بين الهواء والأرض. وإذا ابتعد أي عنصر عن مجاله يسعى إلى اللحاق به: إنها الحركة الطبيعية المُشار إليها أعلاه. وإذا أسقطنا حجرًا فسيمر بالنار أو الهواء أو الماء ليصل إلى الأرض، أو بالأحرى المكان الذي خصصته له الطبيعة. ويمتص الماءُ الذي يغلي كميةً محددة من النار؛ مما يسمح له بالارتفاع في صورة بخار فوق الإناء. أما الأشياء التي تملأ العالم السماوي فتتكون من مادة غير معروفة على الأرض، وهي «العنصر الخامس». وهكذا يضع هذا الافتراض عقبة أخرى لا يمكن تخطِّيها بين العالم السماوي والعالم الأرضي، اللذين يختلفان في الشكل الذي تأخذه الحركة الطبيعية في كلٍّ منهما. فبينما تكون الحركة الطبيعية رأسية في العالم الأرضي[١٣] تكون دائرية في العالم السماوي.

لا تمتلك العناصر الكيميائية الحالية صفات مشتركة كثيرة مع العناصر لدى القدماء، التي يمكننا أن نقربها بسهولة، مما يطلق عليه الفيزيائيون اليوم الحالة الصلبة والسائلة والغازية للمادة، والتي يمكن أن نضيف إليها أيضًا الحالة الغازية والأيونية في آن واحد مثل النار. فنجد هكذا أربع حالات للمادة مثلما كانت توجد أربع حالات لدى

القدماء، فهي بالفعل الحالات الأربع التي ألهمت إيمبيدوكلي س (حوالي ٤٨٤–٤٢٤ قبل الميلاد) مؤلف نظرية العناصر الأربعة.[١٤]

تقوم فيزياء أرسطو بنوع من التصنيف للحقائق المتاحة للعقل، فلا غبار على الفصل بين العالم السماوي وعالم ما تحت القمر، فقد كان الأمر يتطلب شجاعة مفرطة للتفكير في أن العالم الأرضي لا يقتصر فقط على كوكبنا ومجاله الجوي، وأن العالم السماوي لا يختلف عن العالم الأرضي إلا ببعده وعدم إمكانية الوصول إليه، ويتطلب الأمر أيضًا في النهاية شجاعة لإدراك أن العالم السماوي يتكون من مواد لا نجدها حتى على الأرض. ومنذ القرن التاسع عشر عندما استطاع علماء الفلك الفيزيائيون تحليل الأطياف البصرية للشمس والنجوم، وجدوا آثار العناصر الكيميائية ذاتها والجزيئات ذاتها الموجودة على الأرض، واكتشفوا أيضًا على الشمس عنصرًا مجهولًا؛ وهو الهيليوم الذي لم يُعترف بوجوده على كوكبنا إلا بعد عدة أعوام. فيبدو أن قوانين الفيزياء والكيمياء الأرضية تسود الكون بأكمله. لكن كان رد فعل القدماء طبيعيًّا، فكيف لا نفهم أنهم نصبوا حاجزًا لا يُخترق بين تجربتنا اليومية والظواهر الغريبة التي تحدث في السماء؟

عندما ننظر إلى النظرية الأرسطية للحركة عن قرب، نجدها لا تخلو من الصعوبات، فماذا عن الكرة التي نطلقها رأسيًّا في الهواء؟ هل يجب أن نقر بأنها ما دامت تصعد فهي تنفذ حركة عنيفة تتحول إلى حركة طبيعية بمجرد بلوغ قمة المسار؟ ولإنقاذ الموقف هل من المقبول أن نبتكر مفهوم «الحركة المختلطة» الذي تخيله تلاميذ أرسطو؟

قام جاليليو بتدريس فيزياء أرسطو فترات طويلة. وفي وقت تأليفه لكتاب «الخطاب»، وهو شبه فاقد للبصر، كان أول إعلان له عن معارضته لأرسطو قد مر عليه فترة طويلة. فيرى الفيلسوف اليوناني أن حركة السهم عنيفة، إلا أنه يسقط رأسيًّا بمجرد انتهاء اتصاله بحبل القوس. وفي هذه الظروف يتطلب حتى تعريف الحركة العنيفة أن يخضع السهم لقوة ما بطول مساره، مما لا يتفق كثيرًا مع البديهة، لكن الفيلسوف الذي لا يعرف كيف يخرج من هذا المأزق لا يكون جديرًا بهذا اللقب. فبدلًا من أن يستبعد نظريته أكد أنه بمجرد ترك السهم للقوس يقوم الهواء بمهمة الحبل ويدفع السهم بطريقة ما. لا يخاطر أرسطو بشيء؛ فلا أحد يستطيع التحقق من صحة خدعته الفكرية.

وبما أن جاليليو يكافح ضد المذهب الأرسطي، فيتعين عليه أن يكون قادرًا على أن يجد حلًّا لمتناقضة السهم أو القذيفة بصورة عامة، مما قاده إلى اكتشاف كبير. فبفضل

القيام بتجارب جديدة بِكُرات تغادر أفقيًّا سطحًا مائلًا بفعل حارفة هواء، أثبت جاليليو أن القذيفة ترسم قطعًا مكافئًا، أحد الأشكال المخروطية لأبولونيوس. وفي بعض الحالات الخاصة، ولا سيما حالة السقوط الحر، يكون المسار رأسيًّا.[١٥] فبفضل العالِم الإيطالي أصبحت التفرقة بين الحركة الطبيعية والعنيفة غير ضرورية.

وبفضل فهمه الجديد لعلم القذائف، وضع جاليليو جداول لجنود المدفعية، حافرًا بذلك اسمه في القائمة الطويلة التي تضم العلماء الذين ساهموا في جيش سيدهم أو بلدهم أو البلد المضيف لهم. ويندرج في هذه القائمة أرشميدس وعلماء أوائل آخرون عاشوا في النصف الأول من القرن العشرين لمساهمتهم في مشروع مانهاتن المخصص لصناعة القنبلتين اللتين دمرتا هيروشيما ونجازاكي.

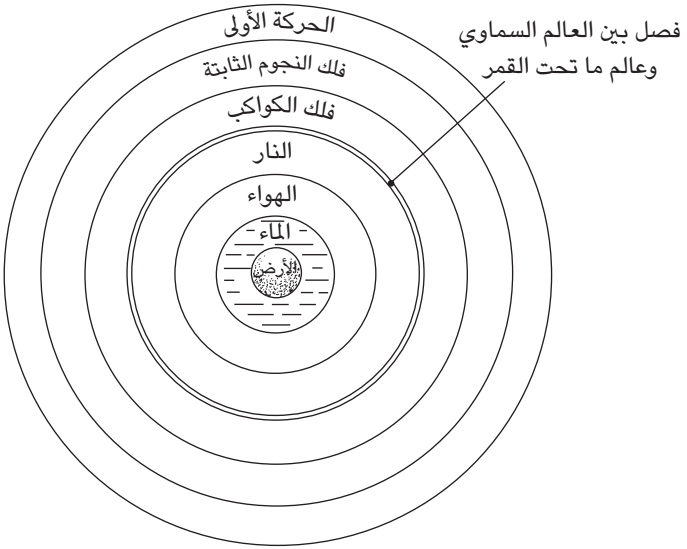
(٧) فيزياء أرسطو ليست خاطئة بأكملها

بدراسته للحركة هدم جاليليو أثرًا من آثار عصره: فيزياء أرسطو، لكن تعاليم الفيلسوف اليوناني لم تكن خاطئة بأكملها. فعندما تكون مقاومة المكان المحيط كبيرة جدًّا، تتحول الحركة سريعًا من التسارع الذي كانت عليه في البداية إلى حركة منتظمة، وهو ما يحدث مع الحجر الذي يسقط في مستنقع، فإنْ سقط في الهواء يمكن تجاهل مقاومة الهواء، فيبدأ الجسم في الحركة المتسارعة بصورة منتظمة. وإذا سقط من ارتفاع كبير، فتزيد المقاومة سريعًا مع السرعة ويصبح دورها أكبر. وإذا امتد السقوط يقل التسارع، لدرجة أن السرعة تجد صعوبة في الزيادة، وتصبح الحركة منتظمة. وهو ما يعد في مصلحة أرسطو نوعًا ما. وفي هذا الوقت تكون سرعة الجسم قد بلغت قيمة قصوى تختلف من جسم لآخر، خلافًا لتسارع السقوط الحر (جدول ١٠-٢). فعندما يحتفظ جسم ما بالوزن ذاته مع تغيير شكله، يمكن أن تتغير السرعة القصوى بنسب كبيرة. وهو ما يسمح باستخدام المظلات، فهي شريط قماشي لا يوفر إلا مقاومة ضئيلة للهواء عندما يكون مطويًّا في حقيبة، ولكنه يبطئ بصورة كبيرة من السقوط بمجرد بسطه. وكما يبين لنا الجدول، يستطيع الإنسان أن يبلغ سرعة ٢٢٥ كيلومترًا في الساعة في أثناء سقوطه الحر، ولكن عندما يبسط ذراعيه وقدميه أفقيًّا يمكنه أن يُهدئ كثيرًا من سرعة سقوطه؛ مما يسمح للقافزين بالمظلات أن يلحق بهم زملاؤهم الذين هبطوا بعدهم فيمسكون بعضُهم بيد بعض ويرسمون أشكالًا عابرة في كبد السماء.

وفي المقابل إذا أسقطنا في الوقت ذاته قطعة رصاص وريشة عصفور في نطاق مكان قمْنا بعزله مسبقًا، فسيبلغ كلٌّ منهما الأرض في الوقت ذاته. ويرجع الفضل إلى

جدول ١٠-٢: السرعات القصوى لأجسام متباينة في أثناء السقوط الحر في الهواء (بينيديك، ٢٠٠٠).

الجسم	الوزن	مساحة مقابلة لمقاومة الهواء	ارتفاع السقوط الذي تبلغ عنده السرعة حدها الأقصى (متر)	السرعة القصوى (متر/ثانية)	السرعة القصوى (كيلومتر/ساعة)
نقطة مطر قطرها ١ ملِّيمتر	٤ ملِّيجرامات	٣ ملِّيمترات مربعة	٢,١	٦,٥	٢٣,٥
حبة بَرَد قطرها ١ سنتيمتر	٤ جرامات	٠,٣ سنتيمتر مربع	٢١	٢٠	٧٢
رصاصة طائشة	١٤ جرامًا	٠,٢ سنتيمتر مربع	١١٠	٤٧	١٧٠
إنسان	٧٥ كيلوجرامًا	٠,٦ متر مربع	٢٠٠	٦٣	٢٢٥
قنبلة	٥٠٠ كيلوجرام	٠,٢ متر مربع	٤٠٠٠	٢٨٠	١٠٠٠



شكل ١٠-٤: يتكون عالم ما تحت القمر من أربعة عناصر؛ وهي: التراب والماء والهواء والنار، بينما يكون العالم السماوي هو عالم الأجرام السماوية والعنصر الخامس.

عالم مثل جاليليو في فصل الأمور الجوهرية عن الثانوية، فالجوهري هو أنه في أثناء سقوط جسم متحرك في الفراغ يظل التسارع ثابتًا ولا علاقة له أيضًا بالوزن، وهو ما سنطلق عليه لاحقًا الكتلة. أما الأمر الثانوي فهو تأثير مقاومة المكان المحيط، وهو أكثر تعقيدًا. فلا يمكن للعلم أن يتقدم إلا بفضل من يعرفون الفصل بين الخير والشر.

(٨) ماذا عن الدائرة؟

قسم أرسطو العالَمَ إلى عالمٍ سماوي وعالمِ ما تحت القمر، بينما أمضى جاليليو حياته في مكافحة مفاهيم الفيلسوف اليوناني، ففي عالم ما تحت القمر شن هجومًا على الميكانيكا الأرسطية للحركة الطبيعية والعنيفة، وفي العالم السماوي جازف بحياته للنهوض بنظام كوبرنيكوس. ولكنه ظل تلميذًا لأرسطو في نقطة ما؛ فكان ينسب إلى الأجرام السماوية مسارات دائرية، فلم يلفت نظره القطع الناقص الذي اكتشفه كبلر.

استند جاليليو إلى الحركة الدائرية المنتظمة التي تتسم بمسار دائري وسرعة ثابتة، واعتقد أنها الحركة الظاهرية للنجوم وحركة الكواكب حول الشمس. فهل يتعين عليه أن يقوم بتقريبها من الحركة المستقيمة المنتظمة أو الحركة المتسارعة بصورة منتظمة، وهي حركة الأجسام الثقيلة خلال سقوطها الحر؟ لم يكن هذا الإيطالي يملك إجابة واضحة عن هذا السؤال الدقيق، فتقترب الحركة الدائرية المنتظمة من كلٍّ من الحركة المستقيمة المنتظمة التي تتخذ السرعة خلالها قيمة ثابتة، وأيضًا الحركة المتسارعة بصورة منتظمة التي يتغير خلالها اتجاه السرعة. ويبقى لجاليليو معيار حاسم لكي يستطيع أن يمنح للحركة الدائرية المنتظمة مكانة لا جدال عليها في الميكانيكا التي يسعى إلى وضعها. وفي غضون ذلك صنف جاليليو الحركة الدائرية المنتظمة مع الحركة المستقيمة المنتظمة، وأقر أن أي جسم تكون له إحدى هاتين الحركتين يظل على حالته من الحركة.

يدل هذا التردد على ضرورة إيجاد خلاصة أخرى في المستقبل.

الفصل الحادي عشر

فليكن نيوتن!

كانت الطبيعة وقوانينها غارقة في الظلام، فقال الله: فليكن نيوتن! وأصبح كل شيء نورًا.

ألكسندر بوب، عن إسحاق نيوتن

(١) المحاضرة المفقودة لريتشارد فينمان

يعد الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فينمان (١٩١٨–١٩٨٨) شخصية مختلفة تمامًا عن صورة العالِم المشتَّت التي نتخيلها للعلماء، فقد نال جائزة نوبل عام ١٩٦٥ لأعماله بشأن نظرية التفاعل بين الشحنات الكهربائية والموجات الكهرومغناطيسية، وأصدر نسخة أصلية لميكانيكا الكم، وكانت إسهاماته في فهم الجسيمات الأولية كبيرة. وقد اعتنى أيضًا بالهيليوم السائل الذي يكتسب عندما يقترب من الصفر المطلق خصائصَ مختلفة جدًّا عن تلك التي نلاحظها في السوائل العادية. وبعيدًا عن مجال الأبحاث عُرف فينمان بأنه ناشر للمعرفة ذو موهبة كبيرة، وبأنه أيضًا معلم لا مثيل له. وقد ألف كتاب «محاضرات فينمان عن الفيزياء»، وهو أشهر كتاب عن الفيزياء العامة.[١] وجلب أسلوبُه في التواصل والتعليم رياحَ التجديد في الفيزياء وترك انطباعًا لدى مئات الفيزيائيين في كافة أرجاء العالم. ففي الولايات المتحدة كان فينمان معروفًا من الجميع، وبمصطلحات اليوم يمكن أن نقول إنه كان «معروفًا على مستوى الإعلام». وكان يحب تجربة حظه في أدوار جديدة، ففي سيرته الذاتية يقص فينمان أنه زاول مهنتين في آن واحد: رسام وعازف على آلة البونجو، ويفتخر بالحديث عن خبراته باعتباره عالمَ أحياءٍ جزئيًّا هاويًا أو مراقبًا لسلوك النمل.

كان نشر كتاب «محاضرات فينمان» أمرًا معقدًا. فقد وافق فينمان على إعطاء مجموعة محاضرات لطلبة العامين الأول والثاني في الفيزياء في معهد كالتيك.[٢] وكُلف روبرت ليتون وماثيو ساندس بتسجيلها وإعداد كتاب جاهز للطبع، وأصبحا بذلك مؤلفين مشتركين. ولأسباب عديدة أغفلا بعض المحاضرات التي ألقاها فينمان. وبعد عدة سنوات عثر كلٌّ من جوديث وديفيد جودشتاين على تسجيلاتِ إحدى المحاضرات المستبعدة[٣] وبعد مجهود شاقٍّ في إعادة نقلها قررا نشرها بعنوان مثير: «المحاضرة المفقودة لفينمان». وفي هذه المناسبة كان فينمان يرتدي عباءة نيوتن.

يوضح فينمان في محاضرته كيف يمكن استنتاج قوانين كبلر الثلاثة من قوانين نيوتن الثلاثة التي تعد الدعائم الثلاثة التي تقوم عليها الفيزياء. وما يلاحظ هو أن الرياضيات التي يستخدمها فينمان تعد بدائية ولا تشير إلا إلى عاملين مقترنين بوصف الحركة (السرعة والتسارع) وتحليلها بطول المحورين، ويُضاف إلى ذلك خصائص القطع المخروطي مثل البؤرة والمحور الكبير. وتعد هذه المفاهيم في مستوى طالب المدرسة، وفي هذا الإطار تعد برهنة فينمان بدائية، لكن مثلما يؤكد بنفسه «بدائية» لا تعني «سهلة». وما قد يدهش القارئ هو أن محاضرة فينمان تختلف بصورة كبيرة عن العرض الذي تركه لنا نيوتن في كتاب «المبادئ». فهل كان فينمان يعاني من جنون العظمة؟

كان الهدف من وراء تأليف كتاب «المبادئ» هو إرساء أسس الميكانيكا وصياغة قانون الجاذبية[٤] الكونية. فمن وجهة النظر التاريخية كان نشره ردًّا على سؤال لم يكن نيوتن الوحيد الذي تساءله.[٥] فإذا افترضنا أن الشمس تمارس على الكواكب قوة تتناقص تدريجيًّا $(1/r^2)$؛ أي تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة، فهل تستجيب هذه الكواكب ذاتها لقوانين كبلر الثلاثة؟ يتضح أن نيوتن لا يجيب عن هذا السؤال بل عن السؤال المقابل له.[٦] وهكذا يترك نيوتن الباب مواربًا، فإذا اكتفينا بالتفسير المقيد لكتاب «المبادئ» فليس من المستبعد أن تأخذ المدارات الكوكبية أشكالًا أخرى. لكن عندما صدر الكتاب لم يكن أحد ساذجًا ولم يشكك أحد في صحة قانون الجاذبية.

أما فينمان فيجيب مباشرة عن السؤال المطروح فيوضح أنه في ظل وجود نقطة ثابتة تصدر عنها قوة $1/r^2$ يرسم الجسم المتحرك قطعًا ناقصًا، أو بصورة أعم يرسم شكلًا مخروطيًّا تختلط إحدى بؤره مع النقطة الثابتة. وبعبارة أخرى انطلق فينمان من استنتاج نيوتن للوصول إلى الافتراض الذي انطلق منه نيوتن: فكان استدلال فينمان يسير في الاتجاه المعاكس لاستدلال نيوتن. وقد يتخيل البعض أنه على الرغم من أن

الإثباتين سارا في اتجاه معاكس فإنهما سلكا الطريق ذاته، ولكن لم يكن ذلك صحيحًا. فخلافًا لنيوتن الذي كان يريد أن يبرر صحة قانون الجاذبية أمام القراء، كان فينمان يحظى بحرية كاملة ولم يكن يسعى إلا إلى تثقيف مستمعيه وتسليتهم، وبذلك نفهم بصورة أفضل الطابع الخاص الذي أعطاه لمحاضرته.

ونذكر في البداية أن برهنة فينمان تعد أنيقة بصورة كبيرة فهي تبرز خاصية ملحوظة لحركة كوكب يخضع لقوانين كبلر.[٧] لكن فينمان كان لديه سبب أقوى يجعله لا يكرر برهنة نيوتن مثلما وردت في كتاب «المبادئ».

ففي العصر الذي ألف فيه نيوتن كتابه كان قد أرسى بالفعل أسس الحسابات اللانهائية في الصغر، وهي فرع الرياضيات الأكثر تلاؤمًا مع دراسة الميكانيكا السماوية التي ظل متربعًا على عرشها حتى نهاية القرن التاسع عشر.[٨] إلا أن نيوتن المبتكر، نيوتن مخترع الحسابات اللانهائية في الصغر، لجأ فقط إلى هندسة إقليدس لإثبات التناقص في $1/r^2$. فلماذا لا يستخدم نيوتن الوسائل التي ابتكرها بنفسه؟ ربما لأنه كان يجعل من الهندسة ملكة الرياضيات، ولأنه يعلم جيدًا خصائص الأشكال المخروطية، لدرجة أن فينمان لم يستطع خلال محاضرته أن يجاريه في هذا المجال. ويمكننا أن نتفهم هذا الموقف بسهولة بما أن المعارف الجديدة تزداد كل يوم في حين تندثر تدريجيًّا فروع أخرى من المعرفة أكثر قدمًا. وبذلك حتى لو كان فينمان قد أراد إعادة إنتاج خطوات نيوتن لكان قد واجه عراقيل. وفي النهاية، إنه لمن الطبيعي أن يستعين بخصائص للقطع الناقص يعرفها طلبة المدرسة بصورة أفضل.

وللحفاظ على هيبته ولأنه كان يتمتع بموهبة لا مثيل لها في العرض[٩] كان فينمان مناسبًا للغاية لتبسيط رائعة نيوتن لأكبر عدد من القراء. «إن برهنة نيوتن على قانون القطع الناقص هي الخط المشترك بين العصور القديمة والحديثة، نقطة الذروة للثورة العلمية. وهي تعد أيضًا أحد أبهر الإنجازات البشرية على غرار سيمفونيات بتهوفن أو مسرحيات شكسبير أو قبة كنيسة سيستين التي رسمها مايكل أنجلو. إنها ليست مجرد قمة من قمم تاريخ العلوم، ولكنها أيضًا برهنة حاسمة لملاحظة مذهلة: تخضع الطبيعة للرياضيات.[١٠] وشغلت هذه البرهنة بال كل المفكرين الذين أعقبوا نيوتن.»[١١]

(٢) نيوتن المتوحد

تتلخص حياة نيوتن في طفولته الصعبة وفي نشاطه الفكري وفي صراعات تتعلق بأولوية اكتشافاته وفي وظيفته كرقيب في دار سك العملة ثم رئيس لها، وهي مهمة أداها بضمير ومهارة. كانت طفولة نيوتن بائسة، فهي بلا شك السبب في طباعه الحادة. فقد وجده من اقترب منه أحيانًا كتومًا وأحيانا أخرى طموحًا ونهمًا للمجاملات ولا يستطيع تحمل المعارضة؛ فقد اتهم المقربين إليه بالتآمر ضده ودليله كان محادثات لم يكن لها وجود قط. وبما أنه لا يتمتع بحس فكاهي ومتوحد ودائم القلق، فقد أظهر بعض صفات الشخصية الوسواسية، فكان يقيم بصعوبة علاقات مع الآخرين، على سبيل المثال عندما يعرب عن امتنانه لهم. وتعرض مرتين على الأقل لاضطرابات نفسية حادة ولكن هذه الأزمات لم تمنعه من بلوغ سن أربعة وثمانين عامًا.[١٢] وفي المسائل الدينية كانت وجهات نظره تحمل نوعًا من الهرطقة، فقد كان نيوتن متشددًا؛ ففي نهاية حياته كان يتفاخر بأنه ظل عفيفًا. وفي النصف الثاني من حياته بدأ طبعه يلين بعض الشيء واعتنى بصورة أكبر بمظهره. وتتلخص حياته العاطفية في حب عابر في فترة الشباب لزميلة قديمة في اللعب، وفي صداقة حميمة مع عالم رياضيات شاب وفيزيائي من جنيف يدعى نيكولا فاتيو دويليه (١٦٦٤–١٧٥٣). لا تجذب هاتان النادرتان الاهتمام إذا كان لدى المؤرخ أحداث أكثر متعة يريد الإشارة إليها. ويجدر بالذكر أن حياة نيوتن الخاصة تتوارى تمامًا خلف اكتشافاته حتى إذا كان نشاطه العلمي البحت لا يشغل إلا جزءًا محدودًا من حياته.

كان السبب في الطفولة البائسة التي قضاها الرياضي والفيزيائي والكيميائي وعالم الفلك واللاهوت الإنجليزي إسحاق نيوتن (١٦٤٢–١٧٢٧) هو الموت المبكر لوالده الذي وافته المنية قبل مولده بثلاثة أشهر. وكانت أسرة نيوتن تمتلك قصر ولثورب الصغير في مقاطعة لينكولنشاير. ووفقًا لما قاله عن نفسه، كان نيوتن سابقًا لأوانه. لم يكن ذلك هو ما أفسد طفولته، بل كان السبب بالأحرى هو أنه عندما بلغ الثالثة من عمره تزوجت أمه من الراعي الموقر برناباس سميث «خادم رعية» في قرية مجاورة لولثورب. وبطريقة لا تتفق تمامًا مع المسيحية، رفض رجل الكنيسة أن تصطحب آنا والدة نيوتن ابنها معها، فتركت إسحاق في ولثورب في رعاية جدته. وخلال أعوام الفرقة أنجبت أمه أختين وأخًا في بيت الراعي، مما زاد من شعور الهجر الذي شعر به الابن الأكبر. ولم تعد آنا وأبناؤها الثلاثة من منزل سميث إلا بعد موت الراعي. وخلال سنوات المراهقة كانت

لدى نيوتن الفرصة ليظهر عيوبه بمعاملته السيئة لوالدته أو لإخوته أو لخادمي القصر. وخلال حياته بعد البلوغ برز السلوك السلبي لنيوتن بطريقتين متعارضتين تمامًا، فمع تردده في نشر نتيجة أبحاثه أو إعلانها كان يشترط أن يعترف منافسوه بأسبقية أعماله، فتسبب هذا الموقف في صراعات لا تنتهي بشأن أولوية اكتشافاته التي كان نيوتن يتطلب في آن واحد أن تظل في منأًى عن فضول الآخرين، وأن يشهد الجميع بعظمتها.

(٣) في تلك الأيام البعيدة في فترة شبابي …

«في العام ذاته [١٦٦٦] بدأتُ أتساءل إذا كانت الجاذبية لا تمتد حتى مدار القمر […] فانطلاقًا من قاعدة كبلر التي [تربط بين مربع] فترة دوران الكواكب ومكعب المسافة بينها والشمس، استنتجت أن القوى التي تحافظ على الكواكب في مساراتها تقل مثل مربع المسافة؛ فقد أثبتت لي المقارنة بين القوة القادرة على الحفاظ على القمر في مداره والجاذبية على سطح الأرض أنه يوجد اتفاق. حدث كل ذلك خلال السنوات التي تفشَّى فيها الطاعون؛ أي في ١٦٦٥ و١٦٦٦؛ لأنه في تلك الأيام البعيدة في فترة شبابي كان إبداعي وحبي للرياضيات والفلسفة أقوى من أي فترة أخرى تالية في حياتي.»

يصعب مقاومة جمال هذه السطور التي كتبها نيوتن، فقد وردت في مذكرة مجموعة تسمى بورتسماوث يُعتقد أنها تعود إلى عام ١٧١٤، وتشير إلى «السنوات الإعجازية» التي تبدأ تقريبًا من ١٦٦٤ وحتى ١٦٦٧. ففي هذا الوقت كان نيوتن يعمل أحيانًا في كامبريدج وأحيانًا أخرى في ولثورب التي احتمى بها خلال فترتَي تفشي وباء الطاعون. وفي هذا الوقت كرس نفسه فقط «للفلسفة الطبيعية» أو كما نسميها الآن العلم. وفي هذه الفترة قام باكتشافاتٍ كبرى بدأت باستحداث منهج التفاضل، وهو ليس إلا نسخة نيوتن للحسابات اللانهائية في الصغر، حتى تصل إلى تفكيك الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف. ويعود أيضًا اختراع «ثنائي الحد لنيوتن» والمنظار العاكس إلى هذا العصر.[١٣]

لكن يحظى اكتشاف قانون الجاذبية الكونية بطابع خاص؛ لأنه يجمع عالم ما تحت القمر والعالم السماوي تحت سلطة واحدة (الفصل العاشر). إن الثقالة المسئولة عن سقوط تفاحة في حديقة ولثورب والتأثير الغامض الذي يُبقي القمر على مداره لهما اسم واحد وهو الجاذبية.

سمع الجميع عن «تفاحة نيوتن»، فقد ذكر هذه النادرة جون كوندويت زوج كاترين ابنة أخته: «في عام ١٦٦٦ غادر [نيوتن] كامبريدج من جديد […] ليتوجه إلى

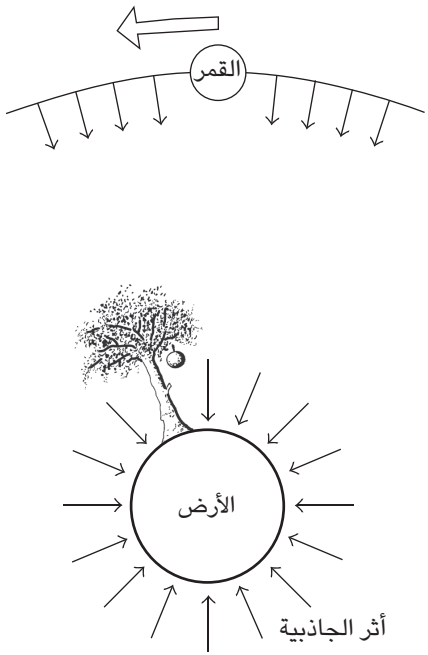
والدته في لينكولنشاير، وفي يوم ما، كان يتأمل في الحديقة فأتته فكرة أن قدرة الجاذبية (التي دفعت بتفاحة من الشجرة إلى الأرض) لا تقتصر على مسافة معينة من الأرض، ولكن هذه القدرة يجب أن تمتد بعيدًا عما يمكننا تصوره عادةً، فلماذا لا تمتد إلى أبعد من القمر؟»[١٤]

يعد هذا الكلام معقولًا، ولكنه لا يعني أنه بمجرد سقوط التفاحة على رأس نيوتن طرأت نظرية الجاذبية في ذهنه في لمح البصر. فتعد هذه الرؤية للاكتشاف ساخرة ومهينة في آن واحد. فتذكرنا نادرة التفاحة على الأكثر بأنه في نهاية تفكير عميق ومطول يمكن لعقل نشيط أن يجد إجابة عن سؤال صعب في الوقت الذي يُهدِّئ من يقظته المثارة لفترة الطويلة وينخرط في تأمل حر. وتوجد العديد من الشواهد التي تدعم هذه الحقيقة النفسية. أما التفاحة ذاتها فهي تمثل رمزًا مميزًا للحياة الريفية التي عاشها نيوتن خلال سنوات الطاعون.

تُرجِع العديد من المصادر التاريخية فكرة الجاذبية إلى عام ١٦٦٦. ولكن يبقى سؤال في هذا الصدد لكنه ليس ذا أهمية كبيرة في النهاية: لماذا ترك نيوتن أبحاثه عن الجاذبية مبكرًا جدًّا؟ سنرى لاحقًا تفسيرًا معقولًا جدًّا لهذا التوقف الذي فرضه نيوتن على نفسه، والذي يجب ألا يدهشنا لدى مفكر متشكك وغامض مثله. فخلال كل اكتشافات نيوتن بلغت نزاعات الأولوية ذروتها، وهو ظرف لم يساعد في توضيح تاريخ اكتشاف الجاذبية الكونية، ولكن الأهم من ذلك هو تقدير مدى أهمية هذه الاكتشافات.

بداية من أفلاطون وحتى جاليليو، كان العالَم السماوي منفصلًا تمامًا عن عالمِ ما تحت القمر، ففي صمت السماء يسود الإتقان الذي ترمز إليه كلٌّ من الدائرة والكرة، وكانت الحركة دائرية، وكان التغير مجهولًا، والأجسامُ أيضًا غيرَ قابلة للتغيير. وكان سقوط الأجسام حركة مخصصة للمجال الأرضي الذي يعد ملجأً التغيير والانحدار والموت. ولكن جمَع نيوتن السماء والأرض وأخضعهما لسلطة واحدة؛ وهي الجاذبية، بالإضافة إلى ثلاثة قوانين مشتركة تسود الحركة. فيعد نيوتن أول الموحدين، وربما أكبر هؤلاء الذين يمكن أن يُنتَفَع من علومهم، فقد ربط بين علم القذائف وحركة الأجرام السماوية. وبعده، ربط ماكسويل بين البصريات وانتشار موجات الراديو، وقرَّب أينشتاين بين الميكانيكا والكهرومغناطيسية ... وبما أن نيوتن كان أول من قام بخطوة التوحيد، فهو بلا شكٍّ صاحبُ المهمة الأصعب.

في كتابه «مبادئ نيوتن للقارئ العادي»،[١٥] حاول شاندراسخار إعادة إنتاج ما قام به نيوتن، فاستعان بشواهد مختلفة ولكنه استوحى أيضًا من بعض مخطوطات نيوتن.

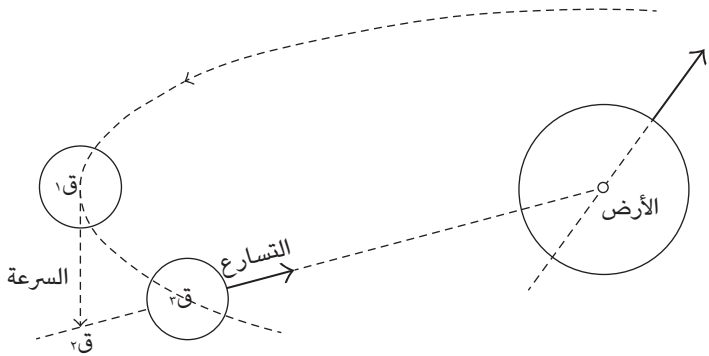


شكل ١١-١: نَعزي سقوط الأجسام ومسار القذائف على الأرض إلى آثار الثقالة. وكانت فكرة نيوتن العظيمة هي أن ننسب حركة القمر إلى المصدر ذاته. ثم يرجِع سلوك كل الأجرام السماوية إلى سبب وحيد؛ وهو الجاذبية الكونية.

ومنعًا لحدوث أي مفارقات، نعود في الجزء التالي لنتحدث بحرية عن هذا الكتاب الذي يحاول إعادة إنتاج أفكار نيوتن على غرار الكُتَّاب القدماء الذين لا يخشون أن يضعوا أقوالًا خيالية على لسان صناع التاريخ.

(٤) إعادة إنتاجٍ خيالي للخطوات الأولية لنيوتن

كانت فكرة نيوتن عظيمة؛ فقد تساءل إذا كانت آثار الجاذبية تمتد حتى مدار القمر (شكل ١١-١). فهل يخضع قمرنا إلى السلطة ذاتها التي تخضع لها التفاحة عند سقوطها من الشجرة أو الحصاة بعد قذفها؟ يتسارع القمر مثل التفاحة والحصاة. ويثبت نيوتن أن التسارع يحدث بمجرد أن يصبح المسار غير مستقيم، وهو احتمال



شكل ١١-٢: بتقريبٍ أولي يقوم القمر بحركة دائرية منتظمة (ق١). فلو لم تكن الأرض موجودة لكان القمر قد قام بحركة مستقيمة (ق٢)، ولكن تحت تأثير الجاذبية يلتوي مساره. ويُرجع نيوتن سبب هذا التقوُّس إلى وجود تسارع موجَّه إلى مركز الأرض (ق٣).

رفض جاليليو التفكير فيه.[١٦] فإذا كان نيوتن محقًّا فيتسارع القمر في اتجاه كوكبنا مثل تسارُع التفاحة والقذيفة نحو الأرض (شكل ١١-٢).

إذا كانت آثار الجاذبية تمتد حتى القمر، فهي تمتد إلى ما هو أبعد من ذلك، فهي السبب في حركة الكواكب والأقمار التي تدور حول المشتري، وإلا فقد يصبح افتراض خضوع القمر للجاذبية الأرضية بلا معنًى ولا جمال. تلك كانت قناعة نيوتن، وقد تكون إذن قوانين كبلر ملمحًا من ملامح هذه الهيمنة، فهي الأداة الوحيدة التي كان يمتلكها نيوتن لدعم افتراضه، ويجب أن يستند إليها حتى إذا كانت القوانين الثلاثة لا تتعلق إلا بالكواكب التي تدور حول الشمس.

انطلاقًا من أن مسارات الكواكب تكون دائرية تقريبًا، يستطيع نيوتن مقارنة تسارُع كلٍّ منها، بما أن الأمر يتعلق بتسارع مرتبط بالحركة الدائرية المنتظمة. ولكن يُثبت نيوتن، انطلاقًا من بعض الاعتبارات الهندسية البسيطة، أنه فيما يتعلق بالكواكب يتطلب قانون كبلر الثالث أن يتناسب تسارع الكوكب بالضرورة عكسيًّا مع مربع المسافة بينه وبين الشمس (جدول ١١-١). فإذا كانت الجاذبية هي السبب في قوانين كبلر، فهي تتجلى عبر هذه العلاقة $1/r^2$.

جدول ١١-١: يستند هذا الجدول إلى المعطيات الواردة في جدول ٦-١، ويبسط وضع كواكب النظام الشمسي بتمثيل المدارات دائريًّا (فتمثل إذن المسافة إلى الشمس نصف قطر المسار) وتمثيل التسارع بأنه نتيجة لحركة دائرية منتظمة. ويوضح العمود الأخير أن ناتج ضرب التسارع في عكس المسافة إلى الشمس له قيمة متساوية لدى كل الكواكب، مما يجعلنا نقول من جديد إن تسارعات الكواكب تعد ذات علاقة عكسية مع عكس مربع المسافة بين الكوكب والشمس، أو كما يُتعارف عليها $1/r^2$.

الكوكب	المسافة إلى الشمس بملايين الكيلومترات	الفترة الفلكية	متوسط التسارع بملِّيمتر مربع/ثانية	ناتج ضرب التسارع المعبر عنه بملِّيمتر مربع/ثانية في مربع المسافة المقيس بالوحدات الفلكية
عطارد	٥٧,٨	٨٨ يومًا	٣٩,٥	٥,٩٢
الزهرة	١٠٨,١	٢٢٥ يومًا	١١,٣	٥,٩١
الأرض	١٤٩,٧	٣٦٥ يومًا = سنة	٥,٩	٥,٩٠
المريخ	٢٢٧,٧	سنة و٣٢٢ يومًا	٢,٥٥	٥,٩٢
المشتري	٧٧٧,٦	١١ سنة و٣١٥ يومًا	٠,٢٢	٥,٩٦
زحل	١٤٢٥	٢٩ سنة و١٦٧ يومًا	٠,٠٦٥	٥,٩١

لا يزال كل ذلك في طور التأمل، وإذا أراد نيوتن أن يجتاز هذه المرحلة، فيتعين عليه أن يعود لثنائية الأرض والقمر واكتشاف مؤشرات جديدة تفترض امتداد سلطة الثقالة حتى مدار القمر، فالثقالة مسئولة عن حركة القذائف على سطح الأرض، وهي تعد جزءًا من حياتنا اليومية، فكيف نتحقق من أن الأمر يتعلق بملمحٍ لظاهرة عامة قد تكون بصفة خاصة سببًا في دوران القمر؟

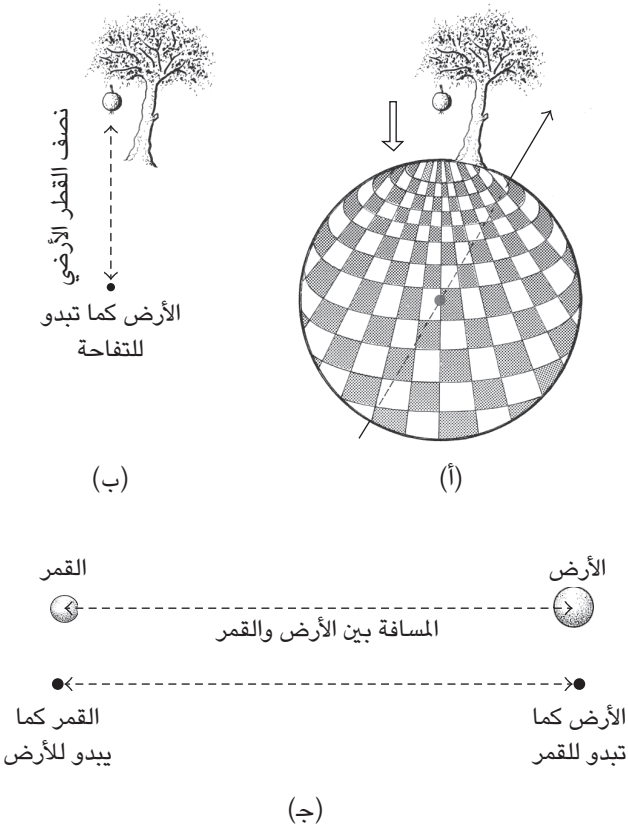
يخضع الجسم المتحرك على سطح الأرض في أثناء سقوطه الحر، بالإضافة إلى القذيفة، إلى تسارع g، وهذا التسارع متساوٍ لدى كل الأجسام وموجَّه إلى مركز الأرض.

وعلى سطح كوكبنا تساوي g ٩,٨١ أمتار مربعة/ثانية؛ مما يعني أن أي جسم خلال سقوطه الحر يعبر ٥ أمتار خلال الثانية الأولى، أو بصورة أدق ٩,٨١ أمتار مقسومة على اثنين. أما فيما يتعلق بتسارع القمر a_L على مداره، فهو أيضًا موجَّه إلى مركز الأرض ولكنه أكثر ضعفًا؛ فوفقًا لشكل ١١-٢ «لا يسقط القمر نحو الأرض» إلا ١,٤ ملِّيمتر في الثانية.[١٧] فهل يعدُّ البعد مسئولًا عن هذا التفاوت الكبير؟ وكان لدى نيوتن وسيلة لتجربة فكرته: يكون ناتج ضرب التسارع في مربع مسافة الكوكب إلى الشمس ذا قيمة ثابتة لكل الكواكب مثلما يشهد على ذلك العمود الأخير من جدول ١١-١. وإذا كان نيوتن محقًّا، فيتعين أن يكون الأمر كذلك إذا قمنا بمقارنة التفاحة بالقمر، ولكن في هذه الحالة يتوقف الأمر على المسافة التي تفصلهما عن الأرض.

تطورت الأمور منذ تجارب جاليليو حول سقوط الأجسام، فيعرف نيوتن جيدًا القيمة الرقمية لكلٍّ من g وa_L على حد سواء، ولا يجهل أيضًا القيمة الرقمية لقطر الأرض R وقطر المسافة بين الأرض والقمر R_{TL}. وتؤكد هذه المعطيات صحة افتراضه: فإن ناتج gR^2 و$a_L(R_{TL})^2$ متساويان بفرق ١٠٪، ولا يمكنه أن يأمل في أفضل من ذلك بما أن المعطيات التي يستخدمها كانت غير مؤكدة. ولم يكن يُعترف بعدُ بكونية الجاذبية، ولكن يستطيع نيوتن أن يخطو خطوات إلى الأمام، فليس من المحظور أن يتخيل أن الدوران القمري والتفاحة التي تسقط في حديقة ولثورب يخضعان لقوة مصدرها الوحيد هو الجاذبية. وهكذا انتزع نيوتن من الطبيعة سرًّا مذهلًا!

لكن لم يكن ذلك هو ما حدث مما أثار سخط نيوتن فترك فجأةً دراساته عن الجاذبية. فماذا حدث؟ تصعب الإجابة عن هذا السؤال ولكن يقدم البعض التفسير التالي:

عندما تساءل نيوتن إذا كانت الجاذبية تمارس قوتها على الأجرام السماوية فقد تخيل بالضرورة أن كل نجم يمارس على كل النجوم المحيطة به قوة تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بينها، فالقمر يخضع لتأثير الأرض وأيضًا لتأثير الشمس وكل الكواكب. وفي حالة الثمرة الواقعة من الشجر أو قطرة المياه التي يدفعها الشلال تتعقد الأمور فيتعين عليهما الخضوع بصورة منفردة لجاذبية كل أجزاء كوكبنا، فإن ما نسميه وزن التفاحة ينتج بلا شك عن تأثير كل هذه العوامل المساهمة (شكل ١١-٣أ). وبمقارنة gR^2 و$a_L(R_{TL})^2$ يؤكد نيوتن ضمنيًّا أن مجموع العوامل المساهمة «الجاذبة» التي تمارسها الأرض على التفاحة ثابت، حتى إذا تقلصت الأرض إلى نقطة وحيدة تقع في



شكل ١١-٣: يخضع الجسم المتحرك في أثناء سقوطه الحر إلى قوة في اتجاه الأرض، وإذا نسبنا هذه القوة إلى تأثير الجاذبية فمن المنطقي أن نعتبرها نتيجة للعديد من المساهمات الناتجة عن كل مكونات الكرة الأرضية. ووفقًا لهذا التفسير ينتج وزن الجسم عن تجاذب كل مكونات حجم الأرض (أ). ففي البداية عندما أراد نيوتن مقارنة تأثير الأرض على التفاحة بتأثيرها على القمر اصطدم بالضرورة بصعوبة، فقد كان يتعين عليه إثبات أن القوة التي تخضع لها التفاحة ثابتة حتى لو كانت كل كتلة الأرض متجمعة في مركزها (ب). وفي حالة القوة التي تمارسها الأرض على القمر يمكن التغاضي عن هذه المشكلة، فينتج عن التفاوت بين نصف قطر الأجرام السماوية والمسافة التي تفصلها تغير المسافة بصورة بسيطة من نقطة عشوائية على القمر إلى نقطة عشوائية على الأرض (جـ).

مركز كوكبنا (شكل ١١-٣ب). فكان ذلك تخمينًا ربما لم يكن باستطاعة نيوتن إثباته خلال حادثة التفاحة، وربما كان يتعين عليه إرجاء الإجابة إلى وقت لاحق.

لا تُطرح هذه المشكلة بالحدة ذاتها في حالة القوة التي تمارسها الأرض على القمر: يقل نصف قطر كلٍّ من الأرض والقمر عن ٦٤٠٠ و١٧٥٠ كيلومترًا بالترتيب، بينما يبلغ متوسط المسافة بين الأرض والقمر ٣٨٠٠٠٠ كيلومتر، فينتج عن التفاوت بين نصف قطر الأجرام السماوية والمسافة التي تفصلها، تَغَيُّرُ المسافة بصورة بسيطة من نقطة عشوائية على القمر إلى نقطة عشوائية على الأرض (شكل ١١-٣ج).

وفقط في عام ١٦٨٥ برهن نيوتن على التخمين الذي كان قد أوقف عمله. «فيما يتعلق بأي شيء يقع خارج جرم سماوي كروي، يكون تأثير الجاذبية هو ذاته، حتى إذا كانت كتلة هذا الجسم متجمعة في مركزه.»[١٨] وقد تم التحقق من هذه «المبرهنة الرائعة» تحديدًا لأن قوة الجاذبية تقل مثل $1/r^2$ ولا شيء غير ذلك. ويرد هذا الاعتماد على المسافة في مجالات أخرى في الفيزياء، ولا سيما في حالة القوة بين شحنتين كهربائيتين وكثافة مصدر ضوء.

(٥) مقابل ٤٠ شلِنًا

حتى لو كان نيوتن لم ينشر كتاب المبادئ لكان اكتشاف الجاذبية الكونية قد تم في وقت لاحق. فقد كانت الفكرة «في طور التحضير» منذ صياغة كبلر لقوانينه الثلاثة. ولكن لا يتمثل مفهوم الاكتشاف في مجرد إدراك واقعة علمية جديدة، بل هو مظهر لأسلوب فريد وهو أسلوب مكتشفه بالإضافة إلى الظروف المحيطة بالاكتشاف، وتساهم كل هذه العناصر التي تبدو كأنها ثانوية في تحويل تطور العقول بصورة مستمرة على مدار الأعوام بل القرون التي تلي الاكتشاف. ويمثل كتاب المبادئ أحد أهم الأعمال على مر العصور، بل إنه من آثار التاريخ. فإذا كانت الجاذبية قد ظهرت بصورة أكثر خفاء في ثقافتنا، فهل كانت ستترك أثرًا دائمًا في العقول مثل هذا الأثر الذي خلفه كتاب المبادئ؟

وفي نهاية السنوات الإعجازية ترك نيوتن الجاذبية وانخرط في أعمال غامضة تتعلق بعلم اللاهوت والتاريخ المقدس والسيمياء (الكيمياء القديمة)، ولكن في عام ١٦٨٤ تلقى إشارة دفعته إلى تكريس ذاته لمهمة ستترك أثرًا أبديًّا في الحضارة. وأتت هذه الإشارة من مجموعة من الزملاء والأصدقاء الذين كانوا يتساءلون عن الجاذبية مثل نيوتن، وكان اسمهم رن وهوك وهالي.

يعد السير كريستوفر رن (١٦٣٢–١٧٢٣) عالم رياضيات وفلك في المقام الأول، ولكنه فرض نفسه تدريجيًّا بصفته معماريًّا كبيرًا، ولا سيما حينما نتأمل التنظيم المدني للندن بعد الحريق الكبير الذي شهدته في عام ١٦٦٦. وكانت رائعته الكبرى هي إعادة بناء كنيسة القديس بولس.

وكان الفيزيائي وعالم الطبيعيات البريطاني روبرت هوك (١٦٣٥–١٧٠٣) هو القائم على الجمعية الملكية؛ مما يمثل عبئًا هائلًا؛ فخلال الاجتماع الأسبوعي للجمعية كان يتعين على هوك أن يقدم تجربتين أو ثلاث تجارب جديدة في أحد مجالات الفيزياء أو العلوم الطبيعية، وكان يجب عليه أن يستوحيها بنفسه من واقع الأحداث العلمية أو من أبحاثه أو أن ينفذها بناءً على طلب أي عضو من أعضاء الجمعية الملكية. وكما يقول وستفول: «كان هوك الإنسانَ الوحيد في العالم الذي يستطيع تنفيذ التحدي المستحيل — فضلًا عن مواجهته — الذي يفرضه هذا العبء غير المنطقي بصورة مناسبة تقريبًا.»[١٩] وبدلًا من أن توفر الجمعية الملكية، التي كانت دائمًا خزائنها خاوية، أجرًا مريحًا لموظفها يضمن له حياة كريمة؛ كانت لا تسدد له مستحقاته إلا بصورة غير منتظمة، ولكن لحسن حظ هذا الفقير كانت إعادة بناء لندن تمثل له مصدرًا لدخل إضافي.

حظي هوك بفرصة المراسلة مع نيوتن، لكن «كان هوك رجلًا ذا طباع حادة في عصرٍ كثر فيه هذا النوع من الرجال.» فهل نتعجب إذا كانت العلاقات بين القائم على الجمعية الملكية ومفكر كامبريدج المتوحد قد شهدت عواصف سريعًا؟ كانا قد تواجها من قبل إذ لا يزال نيوتن غير مشهور في شبابه، وكان قد أرسل إلى الجمعية الملكية نظرية ثورية عن الألوان؛ وهي اكتشاف يعود إلى فترة السنوات الإعجازية. وكانا أيضًا قد تراسلا في عام ١٦٧٩ عندما طلب هوك رأي نيوتن حول آرائه بشأن الجاذبية التي بدأت بالتأكيد تشغل بال المجتمع العلمي. وسيجد هوك تعويضًا في أعين الأجيال التالية عندما يعطي اسمه للقانون الأساسي للتشوهات المرنة.

ويعد عالم الفلك الشاب إدموند هالي الأكثر شهرة بين الأصدقاء الثلاثة؛ ويرجع ذلك خاصةً إلى المذنَّب الذي حمل اسمه، ولكن تاريخ العلوم يَدِين له بفضل أكبر من ذلك، فلولاه لما كان لكتاب المبادئ أن يُنشر أبدًا. ويختلف هالي عن هوك ونيوتن؛ فتُعد حياته نموذجًا للنجاح. فبسبب شغفه بعلم الفلك منذ نعومة أظافره تميز بنضج مبكر وملحوظ في كل المجالات؛ فهو عالم بارز ولكنه يثير أيضًا الاحترام والإعجاب لمهارته في الهندسة واهتمامه بالتاريخ الروماني.

ففي خلال اجتماع للجمعية الملكية عُقد في يناير ١٦٨٤، ناقش كلٌّ من رن وهوك وهالي قوانين كبلر، وادعى هوك مقدرته على استنتاجها من خلال قانون جاذبية يقوم على $1/r^2$. وأقر هالي أنه حاول القيام بذلك لكن دون جدوى. وتَشكك رن في ادعاءات هوك، فاقترح أن يحصل مَن يكون قادرًا على تقديم هذه البرهنة خلال شهرين على مكافأة قدرها ٤٠ شِلِنًا، وهو مبلغ كبير في ذلك العصر، لكن لم يستطع أحد مواجهة هذا التحدي. وفي شهر أغسطس من العام ذاته قام هالي الذي كان حينئذٍ في كامبريدج بزيارة نيوتن وعرض عليه المشكلة، وسأله تحديدًا عن شكل مسار جسم متحرك خاضع لقوة تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة. وعندما أكد نيوتن أنه سيكون قطعًا ناقصًا، أعرب هالي عن سعادته وسأله كيف علم ذلك، وعندما رد نيوتن بأنه كان قد أثبت ذلك بنفسه، طلب هالي رؤية الحسابات، فبدأ نيوتن حينئذٍ في البحث في أدراجه ولكن بلا نتيجة، فوعد هالي بإعادة كتابة كل شيء وإرسال الإثبات الكامل له.

إن الورقة التي فقدها نيوتن لا تزال لدينا حتى الآن؛ فلم يكن نيوتن يحب نشر النتائج التي توصل إليها بلا تروٍّ. ولكنه أوفى بوعده وأعاد النظر في إثباته وأرسل في شهر نوفمبر إلى هالي نصًّا مكونًا من تسع صفحات.[٢٠]

بزيارته لنيوتن تسبب هالي في إطلاق عمليةٍ ذات اتجاه واحد، فقد أشعل فتيل كتابة العمل الذي يُطلق عليه اسم «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، ونختصره باسم «المبادئ». فمنذ زيارة هالي انقطع نيوتن تقريبًا عن المجتمع الإنساني. فمنذ أغسطس ١٦٨٤ حتى ربيع ١٦٨٦ لم يكن له وجود إلا عبر كتاب المبادئ [...] ولاحظ [مساعده الذي يحمل اسم العائلة ذاته] السلوك الشارد لرجل غريب الأطوار: «نظرًا لانهماكه الشديد وجدِّيته في دراساته كان يأكل القليل، بل في كثير من الأحيان ينسى تمامًا أن يأكل [...] وأحيانًا في أثناء قيامه بالتجول [في الحديقة] يتوقف فجأة ويعود ويصعد الدرج جاريًا مثل أرشميدس قائلًا وجدتها! فينخرط في الكتابة واقفًا أمام مكتبه دون أن يضيع لحظة ليجر مقعدًا للجلوس.»[٢١] وبتأليف كتاب المبادئ وضع نيوتن حدًّا لفترة التجارب التي لا نهاية لها، فترك السيمياء التي لن يتبقى منها شيء، وترك بحثًا تاريخيًّا لن يثمر عن نتيجة في سبيل أثر من آثار الفكر الإنساني. فإذا كان هالي لم يذهب إلى كامبريدج، فهل كان نيوتن سيكتب «المبادئ»؟

(٦) المبادئ

قام هالي بزيارة نيوتن في أغسطس ١٦٨٤. وبعد ثلاثة أعوام ذهب كتاب المبادئ إلى المطبعة، فكان هالي قد أقنع أعضاء الجمعية الملكية بالموافقة على نشره، فقد قرأ المخطوط وصوَّبه، وفي النهاية قام بتمويل نشر العمل على نفقته الخاصة. لم يكن وضع نيوتن المالي سيئًا على الإطلاق ولكنه كان بخيلًا، فربما كان يبحث في نشر كتابه عن اعتراف كان يرفض أن يقدره بالمال. وفي النهاية هدَّأ هالي من تشكُّك هوك الذي كان يَعتبر أن نيوتن قد سرق منه فكرة قوة الجاذبية التي تقوم على $1/r^2$.

يبدأ كتاب المبادئ بعدد من التعريفات، ولا سيما تعريف الكتلة والقوة، وبصياغة قوانين نيوتن الثلاثة التي تمثل منذ ذلك الوقت الأساسَ الخالد للفيزياء التقليدية (جدول ١١-٢).

جدول ١١-٢: قوانين نيوتن الثلاثة وفقًا لترجمة الماركيزة دي شاتليه (فيما يلي تعد الاستشهادات من كتاب المبادئ من الترجمة التي قامت بها الماركيزة دي شاتليه إلى اللغة الفرنسية).

القانون الأول

يظل كل جسم في حالة السكون أو الحركة المنتظمة على خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة ما وتجبره على تغيير حالته.

القانون الثاني

إن التغيرات التي تطرأ على الحركة تتناسب مع احظي هوك بفرصة المراسلة مع نيوتنلقوة المحركة، وتحدث في الخط المستقيم الذي نُقلت فيه هذه القوة.

القانون الثالث

لكل قوةِ فعلٍ قوةُ ردِّ فعلٍ مساويةٌ لها في المقدار ومعاكسةٌ لها في الاتجاه. وهذا يعني أن تأثير الجسمين أحدِهما على الآخر يكون دائمًا متساويًا وفي اتجاهات متناقضة.

يُعرف القانون الأول أيضًا باسم «مبدأ العطالة»، وكان جاليليو قد صاغه بالتجربة (الفصل العاشر).

لا يتعلق الأمر هنا بتحليل هذه القوانين بل بإبراز أهميتها التي تشبه المسلَّمات التي يقوم عليها كتاب «العناصر» لإقليدس. وبهذا الشكل المذكور هنا تفتقد هذه القوانين إلى الدقة، ولن يظهر معناها بصورة كاملة إلا عندما يستخدمها نيوتن لحل بعض مسائل الميكانيكا، وسبب هذا الغموض بسيط، فقد سعى نيوتن إلى الحفاظ على ما يعرضه في إطار الهندسة فقط وتجنب الرموز الرياضية، ولكن القانون الثاني يطرح مفهومًا؛ وهو «تغير الحركة» الذي لا يتضح معناه إلا في إطار الحسابات اللانهائية في الصغر.[٢٢]

إذا كان من الممكن التعبير عن قوانين نيوتن بواسطة الرموز الرياضية، فلا يمكننا في المقابل التحقق منها بالتجربة دون أن نقع في فخ المنطق الدائري. ولا تنتج الصعوبة فقط عن شكل القوانين الثلاثة، بل أيضًا عن التعريفات التي تسبقها. فكان أول تعريف قام به هو تعريف الكتلة التي أسماها في البداية كمية المواد:

التعريف الأول

تُقاس كمية المواد بحساب الكثافة والحجم معًا.

ويعني ذلك أن كمية المواد تساوي ناتج عاملَين آخرين. وفي المقابل فإن الكثافة ليست محددة، ولكن لا ضرر في ذلك، فيريد نيوتن أن يُفهَم، ويرفض أن يحاصره فخ منطقي. وقد تحول كتاب المبادئ من مجرد إجابة عن سؤال هالي، كما كان مُرادًا له في البداية، إلى أطروحة حقيقية.

لا تكفي قوانين الحركة لوصف كون نيوتن، فأصبح من اللازم صياغة قانون الجاذبية الكونية.

(٧) الجاذبية الكونية

نلجأ اليوم للرموز الرياضية لتقديم قانونٍ ما في الفيزياء، ولكننا لا نجد ما يشبه ذلك في كتاب المبادئ، فتخلو التعريفات والاقتراحات والمبرهنات الواردة من الرموز الرياضية. ولا يبسط ذلك قراءة العمل ولكن نيوتن لا يعنيه هذا الأمر، وفي المقابل تكمن أهمية كتاب المبادئ في أن مؤلفه لم يكن يجب عليه أن يتوقف أمام الاعتبارات الصغيرة، بل كان يكفيه أن يحرص على دقتها وتنوع الظواهر التي يصفها، وهو ما يعدُّ بلا شك أحدَ الأسباب التي جعلت نيوتن لا يصوغ قانون الجاذبية الكونية، ولكنه قسم محتواه على

أجزاء متعددة من الكتاب. ويتركز جزء كبير من القانون في صيغة موجزة في اقتراح من الكتاب الثالث:

الاقتراح السابع

تنتمي الجاذبية لكل الأجسام وتتناسب مع كمية المواد التي يحتوي عليها كل جسم.

ليس لدينا التحفظ الذي أبداه نيوتن إزاء استخدام الرموز الرياضية، لدرجة أنه يمكننا ترجمة الاقتراح السابع في شكل:

$$\text{Force gravifique} \sim mm'/r^2$$

وتدل علامة ~ على التناسب. إن ما يؤكده نيوتن هو أن أي جرمين سماويين يمارِس كلٌّ منهما على الآخر قوةَ تجاذب تتناسب طرديًّا مع كتلتيهما التي يرمز لها بـ m وm' وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما r. ولتحليل حركة الأجرام السماوية لا يعد نص هذا القانون كافيًا، وهنا يبدأ العمل بقوانين نيوتن الثلاثة.

على الأرض تكون القذيفة أو الجسم في أثناء السقوط الحر خاضعًا لقوةٍ تتناسب مع كتلته؛ فإن الصخرة التي تنفصل عن منحدر تنجذب إلى الأرض بصورة أقوى من التفاحة: وهذا ما تُعلمنا إياه قوة الجاذبية. لكن يؤكد قانون نيوتن الثاني بصفة خاصة أن «عطالة» جسم تُقاس وفقًا لكتلته. وبما أن كتلة الصخرة أكبر من كتلة التفاحة فيكون تسارع الصخرة أصعب من تسارع التفاحة، فتوجد إذن مساواة. وإن ما يعدُّ فريدًا هو أن هذه المساواة مضبوطة، لدرجة أن كل الأجسام على سطح كوكبنا تخضع للتسارع ذاته. فكان جاليليو محقًّا! فلو كان كتاب المبادئ لم يتناول إلا السقوط الحر، لما كان هناك مجال للحديث عن كتلةٍ أو قوة، ولكن عندما يتعلق الأمر بإطلاق قذيفة أو تحريك خزانة تظهر من جديد أهمية العطالة.

عندما نمزج بين قانون الجاذبية وقانون نيوتن الثالث نلاحظ نتيجة أخرى مهمة؛ فإن التأثير الذي تمارسه الأرض على القمر تصاحبه قوة بكثافة مساوية، ويكون القمر هو سبب هذه القوة التي تؤثر بدورها على الأرض. فليس القمر هو الذي يدور حول الأرض بل في الحقيقة يرسم النجمان قطعًا ناقصًا حول مركز الجاذبية المشترك، وهو ما ينطبق أيضًا على الشمس والكواكب. فإذا كان يبدو أن الأرض في الحالة الأولى والشمس

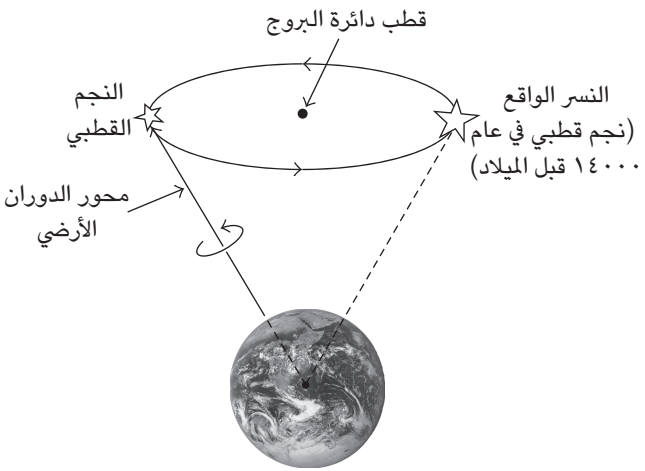
في الحالة الثانية ثابتتان، فذلك لأن عطالتهما تتجاوز بصورة كبيرة عطالة أقمار كلٍّ منهما. ويُضاف إلى ذلك أيضًا كونية الجاذبية التي لا يمكننا التغاضي عنها، فعندما نذكرها نشير إلى أن كل كتلة تخضع لقوة ناتجة عن مجموع مساهمات الكتل الأخرى، سواء أكانت قريبة أم بعيدة.

لا يكفي إصدار قانون أساسي فيتعين بعد ذلك تطبيقه وفقًا للمواد التي يتألف منها قلبًا وقالبًا. وفي كتاب المبادئ بدأ نيوتن في التنفيذ، فسعى إلى أن يثبت أن العالم السماوي يخضع بالكامل للمواد الأربعة التي نص عليها. ولم تكتفِ إميلي لوتونلييه دي بروتيل أو الماركيزة دي شاتليه (١٧٠٦–١٧٤٩)، وهي أديبة فرنسية بارزة من عصر المعرفة، بترجمة كتاب المبادئ، ولكنها كتبت أيضًا ملخصًا لغزوات نيوتن الفلكية التي أعدت قائمة بها، وحللت نجاحات نيوتن بالترتيب عندما فسر حركة الكواكب وشكل كوكب الأرض المسطح عند القطب بالإضافة إلى اكتشاف هيبارخوس: «مبادرة الاعتدالين»؛ وهي تسمية خادعة يُقصد بها التغير المنتظم لاتجاه محور الأرض (شكل ١١-٤). ويوضح نيوتن أن مبادرة الاعتدالين تنتج عن الانتفاخ الاستوائي للأرض فيتحرك كوكبنا مثل الدوامة على غرار المدار القمري الذي يتجلى رقصه في ارتداد العقد. وليس ذلك كل ما في الأمر، بل تشير الماركيزة دي شاتليه أيضًا إلى نجاحات نيوتن عندما فكك آلية المد والجزر وفسر حركة قمر الأرض والأقمار الأخرى، بالإضافة إلى مسارات المذنبات.

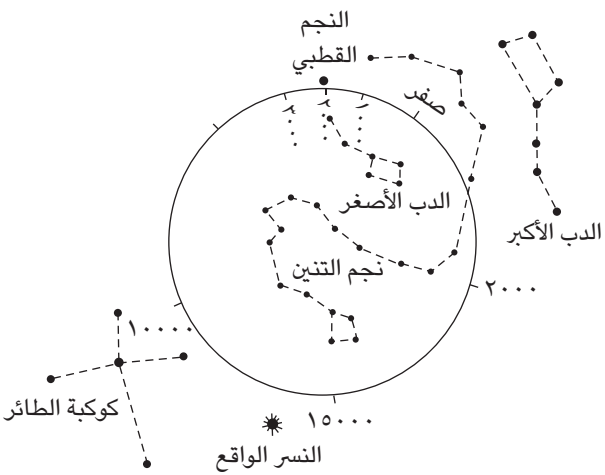
(٨) توازن ديناميكي

يعد إرث نيوتن ضخمًا. وكان جاليليو قد فرض على سطح الأرض وكبلر على العالم السماوي بعض القوانين البسيطة، وبفضلهما دخلت الرياضيات في وصف العالم. وفجأة يكتشف نيوتن في نهاية القرن السابع عشر مفتاح فهم العالَمين السماوي والأرضي، الذي يتلخص في أربعة قوانين، تفتح الثلاثة الأولى منها الباب أمام الميكانيكا النيوتنية بينما يضبط قانون الجاذبية الكونية الحركة السماوية.

كان من سبقوا نيوتن يريدون أن يروا في السماء تناغمًا هندسيًّا لا مجال فيه للحركة. وكانت دوائر أفلاطون وأرسطو وأفلاك التدوير البطلمية والمجسمات الأفلاطونية لكبلر تحجب بتعقيدها المملِّ عجزَها عن إظهار الخطوط العريضة للبناء السماوي. ولكن استبدل نيوتن فجأةً بهذه المحاولات الغريبة البساطة والتوازن. وكان توازن العالم السماوي ديناميكيًّا بدلًا من أن يكون ساكنًا في جوهره، فإن مفاتيح نيوتن الأربعة



(أ)



(ب)

شكل ١١-٤: يشير المحور الأرضي إلى القطب السماوي القريب من النجم القطبي، ولكنه ليس موقعًا ثابتًا؛ فتشبه حركة الأرض الدوامة التي يرسم محورها شكلًا مخروطيًّا (أ). ويرسم تقاطعها مع القبة السماوية في ٢٦٠٠٠ عام دائرةً، هي المكان الهندسي لكل الأقطاب السماوية المتتالية (ب).

تضبط حركة الكواكب والأقمار. إنه أهم دروس نيوتن.[٢٣] ومنذ ذلك الوقت بسطت الجاذبية سيطرتها ووطدتها، فالنجوم والمجرات ومجموعات المجرات تخضع لقوة الجاذبية، وبالإضافة إلى ذلك يرجع السبب في كروية الأجرام السماوية الضخمة إلى الجاذبية، وهي أيضًا التي تفرض على النجوم ضغطًا هائلًا لكي تخرج منها طاقة نووية فتعطيها بريقها. وأخيرًا لكي نعود لنقاش الفصل الأول يعد التفاعل بين القمر والمحيط هو المسئول عن إبطاء دوران الأرض تدريجيًّا وإبعاد القمر.

(٩) نيوتن المؤمن هو أبو الحتمية الفلسفية

بعد مجيء نيوتن على الأرض تغير كل شيء؛ فقد علم الناس أن حركة النجوم تعتمد على قوانين الحركة الثلاثة وقانون الجاذبية. وإذا كان شكلها بسيطًا فإن استعمالها ليس كذلك. وكانت مشكلة حركة القمر هي النشاط الذهني الوحيد الذي أرهق نيوتن كثيرًا على حد قوله.

تطغى تعاليم نيوتن على الإطار الأنيق للميكانيكا السماوية، فقد فسر المد والجزر وحركة القذائف والصواريخ. فسر كل شيء …

كان ذلك على الأقل هو ما اعتقده فلاسفة عصر المعرفة الذين يميلون للتعميمات المفرطة. ولكنْ لكل سيطرة حدود، وكل سلطة تصطدم في يوم ما بسلطات منافسة، فتوجد قوًى أخرى في الطبيعة غير الجاذبية، فالقوة الكهربائية تمنح الذرة خصائصها الكيميائية، وتسيطر أيضًا قوًى أخرى على مكونات النواة الذرية والجزيئات الأولية. ونظرًا لاقتناعه بقدرة الإنسان في يومٍ ما على التنبؤ بالحركة المستقبلية لكل النجوم الملحوظة بدقة بالغة، أعرب الرياضي بيير سيمون دي لابلاس (١٧٤٩–١٨٢٧) في جملة واحدة عن الاحتياج إلى التعميم الذي تتصف به العقول الفلسفية: «إن العقل الذي يعرف لمدةٍ محددة كل القوى التي تزخر بها الطبيعة، ووضْع كل الكائنات التي تتألف منها إذا كان ذكيًّا بدرجة تكفي لتحليل هذه المعطيات؛ فسيجمع في صيغة واحدة حركة أكبر الأجسام في الكون وحركة أخف ذرة: لن يوجد مجال لما هو غير مؤكد عنده، وسيكون المستقبل والماضي حاضرَين أمام عينيه على حد سواء.» فينتقل لابلاس بلا أدني صعوبة من «أكبر الأجسام» إلى «أخف ذرة»، بينما لم يكن أحد في عصره يستطيع أن يؤكد أن القوى التي تحكم الصغر غير المحدود تخضع لمبادئ الجاذبية ذاتها، ثم يؤكد أن كل قوانين الطبيعة تخضع لحتمية صارمة تنص على أنه إذا كانت الشروط الأولية محددة

— كيف؟ — فسيكون التطور المستقبلي معروفًا. وقد تحول هذا الموقف العلمي لدى بعض العلماء والفلاسفة خلال القرن التاسع عشر إلى حتمية علمية تستلزم أن تخضع حتى الأفكار والأعمال الإنسانية إلى سلسلة سببية مماثلة لتلك التي تحدد حركة القذائف.

واليوم مثل الأمس ينظر الكثيرون إلى العلم نظرة خاطئة. فإن النشاط العلمي هو فكٌّ لرموز الطلاسم السماوية والأرضية، وبفضله نعرف هيئة الكون بصورة أفضل، ولكنه إذا كان يمنحنا سلطة ما على العالم، فإنه لا يخبرنا لماذا يكون العالم على الحالة التي نراه بها ولا ما يدور وراء الكواليس. ويكره البعض هذه السلطة، فربما يفضلون عودة مستحيلة إلى الوراء. ولا يستطيع العلم أن يوفر كل شيء للإنسان، ولكن الجهل والظلمات بالتأكيد بديل أسوأ.

الورثة

الفصل الثاني عشر

يجب اتخاذ تدابير

(١) هل يمكن أن يتورط الفيلسوف في أمر مشبوه؟

في اليوم الثاني من أيام «حوار حول أكبر نظامين للعالم»، فند جاليليو كل الحجج التقليدية التي يتشبث بها من يعارضون دوران الأرض. فخلافًا لأرسطو، أكد أن الجسم المتحرك الذي يقع من أعلى صاري سفينة يسقط عموديًّا وينهي سقوطه عند أسفل الصاري، سواء أكانت السفينة متوقفة أو متحركة، ويعد ذلك نقطة مهمة في الحجاج، وإذا كان صحيحًا فهو لا يثبت أن الأرض تتحرك، ولكنه يحث على إعادة التفكير في موقف أتباع أرسطو. ولكن في أثناء الجدل الذي أثاره عملُ جاليليو لم يفكر أحد في اللحاق بأول مركب، ولم يتسلق أحد الصاري الكبير للتحقق مما يؤكده العالم الإيطالي القادم من بيزا. وفي عصر النهضة والعصور القديمة على حد سواء، كان الفيلسوف يصارع بواسطة الكلمات لأنها سلاحه الوحيد، ويتخذ الاستشهادات درعًا وحيدًا، ولكنه لم يكن يتنازل ويتحقق من تأكيداته. فهل نحن متأكدون من أن الأوضاع قد تغيرت؟

(٢) الملاحظة الأولى لمرور كوكب

بعد ردة جاليليو في عام ١٦٣٣، كان يتعين الانتظار سبعة أعوام لكي يثبت الفيلسوف ورجل الدين الفرنسي بيير جاسندي (١٥٩٢–١٦٥٥) أن العالم الإيطالي كان محقًّا. فقد تسلق جاسندي بنفسه — أو بواسطة أحد أفراد الطاقم — قمة صاري سفينة وأسقط وزنًا. وكما أكد جاليليو أنهى الجسم المتحرك سقوطه عند أسفل الصاري سواء أكانت السفينة متوقفة أو متحركة.

في عام ١٦٢١ شهد جاسندي ظاهرة نادرة جدًّا في المقاطعة التي ولد بها؛ فقد شهد منظرًا ملونًا يحدث في الجزء الشمالي من السماء الليلية فأسماه الفجر الشمالي عندما علم أن هذا الضوء ليس ظاهرة محلية، ولكنه شوهد في أجزاء مختلفة من فرنسا، وحتى في حلب أيضًا. فهل نتعجب إذا كان جاسندي المبتكر قد تأمل في عام ١٦٣١ منظرًا لم يشهده أحد من قبله؛ وهو مرور عطارد أمام الشمس؟ وبما أن المناخ كان سيئًا وقت هذا المرور، لم يلاحظ جاسندي الشمس إلا لبرهة، ولكن يُعتبر ذلك نجاحًا. فقد رأى على القرص المضيء نقطة سوداء صغيرة جدًّا لا يمكن تشبيهها بالبقع الشمسية بما أنها تتحرك ببطء مقارنة بهذه البقع.

وفي هذا اليوم لم يشهد هذه الظاهرةَ إلا ثلاثةُ أشخاص، ولكن جاسندي هو الوحيد الذي ترك لنا تقريرًا مفصلًا عنها،[١] فبمعاينة التقويمات الفلكية التي أعدها كبلر، عَلِم بالحدوث الوشيك لهذه الظاهرة.

(٣) قانون خاطئ استُبعد لأسباب خاطئة

عندما أعد كبلر التقويم الفلكي لعام ١٦٣١، أدرك أن هذا العام سيشهد وقوع حدثين نادرين في آن واحد تقريبًا.

ففي السابع من نوفمبر سنشهد مرورًا لعطارد، فسوف يمر الكوكب أمام الشمس، وهو ما يعد بمنزلة كسوف، باختلاف أن قرص الكوكب صغير للغاية ولا يستطيع حجب القرص الشمسي. وبعد شهر سيتكرر المشهد، ولكن القائم بهذا الدور سيكون كوكب الزهرة — وهو الكوكب الآخِر — الوحيد الذي يمكنه أن يقع بين الشمس والأرض. وإذا كان مرور عطارد يحدث ١٣ أو ١٤ مرة في القرن، فإن مرور الزهرة أمام القرص الشمسي يعد أكثر ندرة؛ فقد تفصل ٨ أعوام بين مرورين للزهرة، ولكن عقب هذين المرورين يتعين أن ننتظر أكثر من مائة عام قبل أن توافق آلهة الحب من جديد على إظهار ظلها (جدول ١٢-١ وملحق د).

يعد المروران المتزامنان لعطارد والزهرة شديدَي الندرة. فيتعين أن ينتظر الجنس البشري ٦٧١ قرنًا قبل أن يشهد هذا المنظر إذا لم ينتحر قبل هذا الأوان.

عندما تنبأ كبلر بهذين المرورين، فإنه قد قام بعمل بطولي يرجع الفضل فيه لجودة «جداوله الرودولفينية».[٢] ويجب عدم التقليل من شأن جودة الجداول الفلكية التي كان يمتلكها علماء الفلك في عصر النهضة — ويشهد كريستوفر كولومبوس في صالحهم

جدول ١٢-١: تقويم بمرور كوكب الزهرة من عام ١٦٠٠ إلى ٢٣٠٠.

٧ ديسمبر ١٦٣١	٩ ديسمبر ١٨٧٤	١١ ديسمبر ٢١١٧
٤ ديسمبر ١٦٣٩	٦ ديسمبر ١٨٨٢	٨ ديسمبر ٢١٢٥
٦ يونيو ١٧٦١	٨ يونيو ٢٠٠٤	١١ يونيو ٢٢٤٧
٣ يونيو ١٧٦٩	٦ يونيو ٢٠١٢	٩ يونيو ٢٢٥٥

(الفصل الثامن). ولكن أي جدول يعتمد بصورة أساسية على ملاحظة الظواهر السماوية التي لا يمكن أن تكون دقتها مطلقة، وكان كبلر أول من اعترف بذلك؛ فهو لم يكتفِ بإعلان المرورين المتزامنين لكل مراسليه، بل طلب منهم أيضًا أن يتأهبوا وراء أدواتهم قبل الموعد المحدد بيوم، وأن يظلوا يومًا آخر في حالة تأخر الحدث. وبما أن حساباته تشير إلى أن مرور الزهرة لن يكون مرئيًّا في أوروبا، نظرًا لغياب الشمس في وقت المرور، سعى كبلر إلى إبلاغ كل بحارة أعالي البحار وكل سكان العالم الجديد الذين قد يهمهم الأمر، وفي بداية القرن السابع عشر لم يكن عددهم كبيرًا.

إذا كان كبلر مهتمًّا بحالات المرور، فذلك لسبب وجيه؛ فنظرًا لتحمسه الدائم للقوانين المتعلقة بالتحليل العددي اقترح أن أحجام الكواكب تتناسب مباشرةً مع المسافة بينها وبين الشمس. وإذا كانت هذه العلاقة صحيحة، فهي تذكِّر بالقانون الثالث الذي استنتجه كبلر بعد عمل دءوب من ملاحظات تيخو ومن حساباته الخاصة. وحتى ذلك الوقت لم تسمح أي ملاحظة بتحديد حجم الكواكب، لدرجة أن العلاقة بين الأحجام والمسافة إلى الشمس كانت نتاجًا لتخيل كبلر الذي لا يكف عن العمل أبدًا.[٣] فعندما نراقب كوكبًا بالعين المجردة أو بتليسكوب رديء يصعب تحديد حجمه.[٤] وفي المقابل، يمثل المرور إمكانية أفضل لقياس القطر الزاوي للكوكب، فإن ظِلَّه ينفصل إلى أخيلةِ ظِل على القرص المضيء للشمس. ويوفر مرورًا ١٦٣١ لكبلر فرصة رائعة للتحقق من شرعية اعتباراته بشأن حجم الكواكب، ففرح لأنه سيراقب أقراص عطارد والزهرة ومقارنة حجميهما مع حجم الأرض المعروف جيدًا. ولكن كان للقدَر رأيٌ آخر؛ فقد توفي كبلر في ١٥ نوفمبر ١٦٣٠.

كانت التقويمات الفلكية لكبلر صحيحة، فقد حدث مرور الزهرة في أوروبا في الليلة من ٦ إلى ٧ ديسمبر ١٦٣١، وعلى حد علمنا لم يشهده أي إنسان. أما مرور عطارد فقد

حدث في اليوم والساعة المحددين، ونظرًا للظروف المناخية غير المواتية أوشك جاسندي أن يُحرم من المنظر الموعود.

ولكي يستطيع جاسندي قياس قطر عطارد استعان بتليسكوب يعرض صورة الشمس على سطح عاكِس وُضع على مسافة محددة من العدسة. ورسم على السطح العاكس شبكة دائرية من الخطوط التي ستسمح له عند حدوث الظاهرة بقياس قرص عطارد. ولكن للأسف في الخامس من نوفمبر؛ أي قبل يومين من حدوث المرور، كان الجو ممطرًا، وفي السادس من نوفمبر في عشية اليوم المُقدر كان الجو غائمًا، ولم يكن من المتوقع أن يطرأ أي تحسن. وكان جاسندي يعلم جيدًا أن الجداول ليست أكيدة، فربما يكون المرور قد حدث بالفعل. وفي صباح السابع من نوفمبر ظهرت الشمس لبرهة بين السحب، فرأى جاسندي بقعًا شمسية، ورأى أيضًا دائرة سوداء صغيرة لم تكن موجودة في الأيام السابقة على حدِّ ما يتذكره. ثم حجبت السحب المشهد من جديد، ولكنها عندما انقشعت كانت النقطة السوداء قد تحركت مقارنة بالبقع، وهكذا شهد جاسندي مرور عطارد!

ولقياس حجم الكوكب عدَّل جاسندي من وضع السطح العاكس لكي تملأ صورة الشمس بالكامل شبكة الخطوط والعلامات المرسومة لهذا الغرض؛ مما يسمح لجاسندي بتحديد القطر الزاوي لعطارد° بـ ٢٠″؛ ٢٠ ثانية قوسية. ويتضح أن عالِمَي الفلك اللذين شاهدا المرور في الوقت ذاته قد حصل كلٌّ منهما على قياس مختلف؛ الأول ٢٥″ والثاني ١٨″. ونظرًا لصعوبات المراقبة، تعد القياسات الثلاثة متماسكة للغاية، ولكنها صادمة جدًّا لعلماء الفلك. فيبدو عطارد كمسخ كوكب! والسبب في ذلك بسيط، ففي بداية القرن السابع عشر كانت قيمة المسافة بين الأرض والشمس (١٥٠ مليون كيلومتر) غيرَ مقدرة جيدًا. ويصبح هذا الوضع مزعجًا كلما حلت المسافة بين الأرض والشمس محل الوحدات الفلكية (الفصل السادس). ففي النظام الشمسي تمثل الوحداتُ الفلكيةُ المسافةَ المرجعيةَ لكل مقاييس الطول.

نسب كبلر للمسافة بين الأرض والشمس قيمة أصغر سبع مرات من قيمتها الحقيقية. وإذا اعتبرنا تقديره صحيحًا، فإن مراقبة جاسندي لن تنسب إلى عطارد إلا نصف قطرٍ قيمتُه ٣٥٠ كيلومترًا، وهو لاشيْءٌ مقارنة بنصف قطر الأرض (٦٤٠٠ كيلومتر) والقمر (١٧٤٠ كيلومترًا).[٦] وظل قانون المسافات لكبلر قائمًا لفترة طويلة، لكنه استُبعِد لأسباب خاطئة، ولكن هذا الفشل سيعلن نهاية هذا القانون.

(٤) رائد علم الفلك البريطاني الصغير السن

ولتهدئة الغضب الناتج عن عدم رؤية مرور الزهرة في ١٦٣١ حظي علماء الفلك في القرن السابع عشر بفرصة ثانية، ولكن كان غالبيتهم يجهلها. فوفقًا للجداول الرودولفينية لن يحدث المرور التالي للزهرة قبل السادس من يونيو ١٧٦١. كان ذلك خطأً سارَع بتصويبه عبقري بريطاني شاب توفي في سن صغيرة، ويُدعى جيريميا هوروكس (حوالي ١٦١٨–١٦٤١)، فمن خلال العديد من الملاحظات التي قام بها بواسطة أداة بدائية استنتج هوروكس أنه في ١٦٣٩ سيحدث مرور آخر في الرابع والعشرين من نوفمبر.[٧] وفي هذا اليوم كان هوروكس وأحد أصدقائه، تاجر أقمشة يُدعى ويليام كرابتري وهو الآخر مولع بعلم الفلك، هما الوحيدين اللذين شاهدا مرور الزهرة، وقد أتاحت المراقبة لهوروكس أن يلاحظ أن القطر الظاهري للكوكب يبلغ خلال المرور دقيقة قوسية واحدة، وهو ما يعد تقريبًا ممتازًا من الحقيقة، ولكنه تقدير أقل بكثير مما كان منتظرًا على أساس القيمة التي كانت منسوبة آنذاك للوحدة الفلكية.

إن كان هوروكس يُعتبر رائد علم الفلك البريطاني، فلنا أن نتخيل ما قد تكون عليه مكانته الحالية إن لم يكن قد توفي فجأةً في ٣ يناير ١٦٤١ في سن ٢٢ عامًا تقريبًا. ولا أهمية لهذا التاريخ في حد ذاته إن لم نكن نحن الذين نعرفه! وفي الواقع لا نعرف تحديدًا متى وُلد ولا نملك إلا القليل من التفاصيل عن حياته. وفي المقابل لدينا معلومات أفضل عن اكتشافاته الفلكية. ففي سن ١٧ أو ١٨ حدد بصورة صحيحة شكل المدار القمري، وهو قطع ناقص تحتل الأرض إحدى بؤرتيه.

درس هوروكس في جامعة كامبريدج، ولكن نظرًا لقلة الموارد بلا شك اضطر لترك دراسته دون الحصول على درجة علمية. لم تكن توجد في كامبريدج في ذلك العصر محاضرات عن علم الفلك،[٨] بل تعليم اللغات والأدب التقليدي وعلم اللاهوت، فكان هوروكس يعلِّم نفسه بنفسه. فإن نجاحه في مثل هذه السن الصغيرة في تحديد شكل المسار القمري وإعداد تقويمات فلكية أكثرَ دقة من تقويمات كبلر؛ يثبت أنه يستحق لقب رائد عالم الفلك البريطاني عن جدارة.

ماذا كان يهدف جيريميا هوروكس من البحث الذي قام به حول مرور الزهرة؟ بالطبع كان هوروكس منساقًا وراء فضوله وحماسته أمام علم جديد، فكان يريد أن يثبت لنفسه أنه بالحسابات كان يمكنه التنبؤ بحدث فلكي شديد الندرة يكون هو أول من يراه. وكان يتعين عليه ألا يتنازل عن قياس القطر الظاهري لكوكب الزهرة، ولكن

كان ينبغي عليه أن يعتبر هذه النتيجة عاقبة من عواقب مشروعه وليس الهدف الأخير الذي ينشد الوصول إليه. وسوف تتغير الأمور مع هالي.

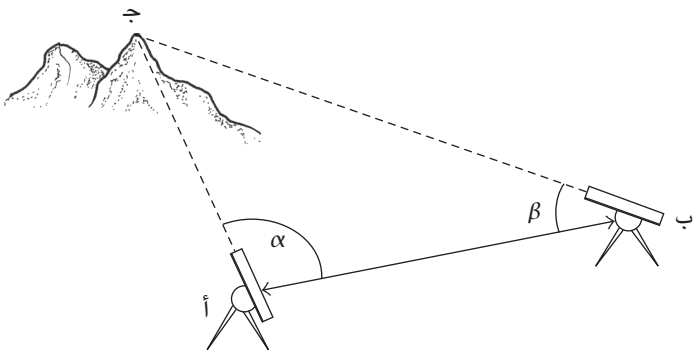
(٥) هالي يفكر في المستقبل

كان هالي اجتماعيًّا وكريمًا ويهتم بمن حوله، فهو مَن أرسل جون «خط الطول» هاريسون إلى جورج جراهام أكبر صانع ساعات في المملكة وأوصاه به، وهو من أقنع إسحاق نيوتن بنشر كتاب المبادئ وقام بتمويل النشر على نفقته الخاصة (الفصل الثامن والحادي عشر). وفي الحالتين بدلًا من أن يعمل لمصلحته الشخصية أبدى التزامًا نحو طرف ثالث وعمل لمستقبل العلم. ويرمز هذا الموقف إلى حياة هالي بأكملها، فهو أحد العلماء النادرين الذين لا يكترثون بتاريخ العلم، على افتراض أنه يوجد آخرون.

يفكر هالي أيضًا في تأثير العلم، فقد كان عمره عشرين عامًا فقط عندما سافر إلى جزيرة سانت هيلينا لكي يعد النجوم وكوكبات النجوم في سماء الجنوب. وعند عودته انتُخب في الجمعية الملكية، مما سمح له بالتعرف على نيوتن ومصادقته أيضًا. ويرى هالي في العلم عامل تقدُّم، وهو يسبق في هذه النقطة علماء القرن التاسع عشر. ولتحسين أحوال الملاحة أعد خريطة للمجال المغناطيسي الأرضي وصنع أيضًا جهاز كرة الأعماق، وهو جهاز غوص قديم يسمح باستكشاف عالم ما تحت الماء.

وكانت آخر صفاته هي أن إبداعه لا يقل مع الزمن؛ فقد كان يبلغ من العمر اثنين وستين عامًا عندما أعلن عن اكتشاف أساسي يمد هيكل النظام الشمسي لمسافات لم تكن بعدُ متخيلة. فحتى ذلك الوقت كانت الشمس والكواكب ونجومها تمثل أساس الكون ولم تكن النجوم الثابتة إلا نقاطًا مضيئة وثابتة ترصع القبة السماوية. ولكن لاحظ هالي أن بعض النجوم الأكثر بريقًا قد تحركت مقارنة بالمكان الذي كان بطليموس قد عهده في قائمة كان قد أعدها في القرن الثاني. ويفترض هذا الاكتشاف أن النجوم «الثابتة» لا تستحق هذا الاسم وأنها قد تتحرك على غرار أعضاء المجموعة الشمسية.

وفي عام ١٦٧٧ عندما كان هالي لا يزال في سانت هيلينا شهد مرورًا لعطارد، وبهذه المناسبة وردت له فكرة الاستعانة بحالات المرور لتحديد المسافة بين الأرض وعطارد أو بين الأرض والزهرة، مما قد يسمح له أيضًا بمعرفة قيمة الوحدة الفلكية. ولكنه لن يقدم مشروعه للجمعية الملكية إلا بعد أربعين عامًا، ولن يكون آنذاك مجال للحديث إلا عن مرور الزهرة، وهو الأكثر ملاءمة لتحديد قيمة الوحدة الفلكية. فإن دقة القياس كبيرة، لا سيما أن الكوكب المار يعد أكثر قربًا منا.



شكل ١٢-١: لقياس مسافة بعيدة يستعين المهندس أو الجغرافي بالتثليث، فيستهدف بالتوالي النقطتين (أ) و(ب) اللتين يعرف مسافتهما. ويسمح قياس الزاويتين المستهدفتين α وβ بتحديد المسافة بين (أ) و(جـ) وبين (ب) و(جـ).

ومن يعرف تاريخ ميلاد هالي ووفاته يستعجب أنه خصص فترة طويلة لحالات مرور الزهرة، فقد وُلد هالي في ١٦٥٦؛ أي بعد ١٧ عامًا من آخر مرور للزهرة في القرن السابع عشر، وتُوفي في عام ١٧٤٢؛ أي قبل ١٩ عامًا من أول مرور في القرن التالي. فعندما بدأ في التساؤل حول مرور الزهرة لم يكن هالي قد حظي من قبل برؤية حالة واحدة، وكان يعرف أنه لن يراه أبدًا ولكنه كان يفكر في المستقبل.

(٦) مشروع إدموند هالي

عندما يقرر أي مهندس على الأرض تحديد مسافة بعيدة مثل قمة جبل، فهو يستعين بطريقة التثليث، وهي بسيطة في مبدئها، فيكفي استهداف النقطة ذاتها لموقعين مختلفين وقياس المسافة التي تفصلهما وتسجيل الزاويتين المستهدفتين (شكل ١٢-١)، وتقوم الهندسة بالباقي بقدر معرفة خصائص المثلثات. ولكن حتى في موقف بهذه البساطة تُنصَب الفخاخ للمهندس، فيمكن لدرجة الحرارة أن تمدد أدواته ولضغط الهواء المتغير أن يتسبب في ثني مسار الضوء.

وعندما يتعلق الأمر بقياس مسافة نجم ينتمي للمجموعة الشمسية يظل المبدأ هو ذاته تقريبًا ولكن تتراكم الصعوبات. فنقر أن النقطتين المستهدفتين تقعان على

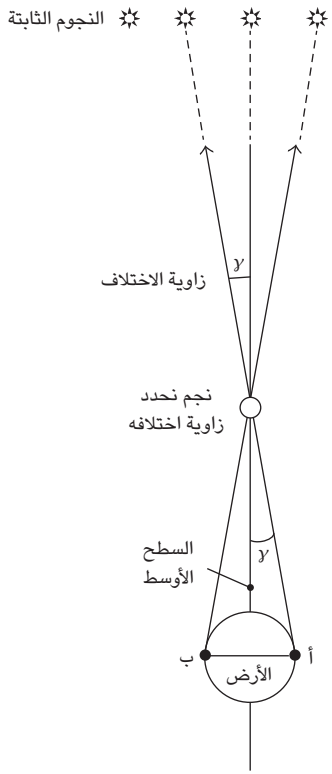
النقيض إحداهما من الأخرى، وأن النجم المُلاحَظ ينتمي للسطح الأوسط. وتحدد إذن زاوية γ الواردة في شكل ١٢-٢ ما نطلق عليه اسم «زاوية الاختلاف» للجسم السماوي المستهدف، وهي نصف التحرك الزاوي الظاهري لهذا الجسم على القبة السماوية. وفي الواقع يعد هذان الشرطان مقيديْن للغاية، لدرجة الاكتفاء باختيار نقاط بعيدة بعضها عن بعض، واستهداف نجم قريب بدرجة كافية من السطح الأوسط. ويسمح الحساب إذن بالحصول على زاوية الاختلاف التي نبحث عنها.

ونظرًا لقرب القمر يكون تحديد زاوية الاختلاف سهلًا نسبيًّا، ولقياسها كان هيبارخوس قد استعان بكسوف الشمس الذي حدث في ١٤ مارس ١٨٩ قبل الميلاد، وكان الكسوف كليًّا بالقرب من هلسبونت التي تُعرف حاليًّا بمضيق الدردنيل، بينما كان قرص القمر في الإسكندرية لا يحجب إلا ٤ / ٥ من القرص الشمسي. وبافتراض أن الشمس أبعد بكثير من القمر[٩] استنتج هيبارخوس أن المسافة بين الأرض والقمر هي بين ٧١ و٨٣ نصفَ قطرٍ أرضيٍّ، وهو ما يعد تقديرًا مهمًّا؛ نظرًا للوسائل التي كان يمتلكها.[١٠]

أما عن باقي أعضاء المجموعة الشمسية فتعد الأمور أكثر تعقيدًا. فربما سمح قياس زاوية الاختلاف الشمسية لهالي بتحديد قيمة الوحدة الفلكية بصورة مباشرة، ولكن الشمس بعيدة جدًّا بدرجة لا تجعل هذه الطريقة دقيقة. ومن جهة أخرى، فمن أجل قياس زاوية اختلافها ربما كان يتعين تحديد تحركها الظاهري مقارنةً بالنجوم الثابتة، ولكن يحجب وجود الشمس نجوم القبة السماوية فقط خلال حالات الكسوف الكلي النادرة جدًّا والقصيرة الأجل. وتعد الأمور أفضل فيما يتعلق بالكواكب بما أنها بطبيعة الحال مرئية في الليل.[١١]

عندما يكون كوكب الزهرة في «اقتران سفلي» مع الشمس، يكون أقرب كوكب للأرض.[١٢] وفي هذه الحالة يختفي الضوء الخافت للزهرة في ظل بريق الفرن الشمسي ما لم يحدث مرور. على النقيض من ذلك يمكن رؤية الكوكب بوضوحٍ أكبر عندما يمر أمام الشمس![١٣]

ولقياس الوحدة الفلكية يكون مرور الزهرة أكثر ملاءمة من مرور عطارد. فليكن كذلك! ولكن اختيار الزهرة له أهميته، فإن علماء الفلك الذين يخاطبهم هالي يجب أن ينتظروا حتى ١٧٦١ و١٧٦٩ حتى يحدث المرور التالي، وحتى ذلك الوقت يتعين عليهم التفكير في الرحلات الاستكشافية التي أعدها لهم هالي، فقد اختار مجموعةً من المواقع



شكل ١٢-٢: من أجل تحديد مسافة نجم قريب (القمر على سبيل المثال) في القرن السابع عشر والثامن عشر، كنا نقيس زاوية اختلافه γ؛ أي نصف تحركه الزاوي الظاهري عندما نمر من نقطة مستهدفة (أ) إلى النقطة (ب) التي تقع على النقيض بما أن الجسم السماوي يقع في السطح الأوسط. وكان التحرك الظاهري يُقاس مقارنة بالنجوم الثابتة. وفي الواقع كان البعض يكتفي باختيار النقطتين (أ) و(ب) بعيدتين إحداهما عن الأخرى.

الموزعة على جميع أنحاء العالم والملائمة لمراقبة حالات المرور القادمة، وقد انتقاها نظرًا لبُعدها ومُناخها الملائم للمراقبة، ولكونها مستعمرات لمختلف الأمم الأوروبية. وفي عام ١٧١٦، عندما أعلن إدموند هالي عن مشروعه بعد أن صار عالم الفلك الملكي، اقترح أن يتم إقامة تعاون ثقافي دولي.

(٧) تعاون دولي في عصر المعرفة

كنتم تذهبون إلى أماكن مليئة بالملل للتحقق
مما وجده نيوتن دون أن يبرح مكانه.

كتب فولتير هذه الأبيات إلى عالم الرياضيات والطبيعيات الفرنسي بيير لويس مورو دي موبرتويس (١٦٩٨–١٧٥٨)؛ فقد نظم رحلة استكشافية إلى لابي من أجل قياس تسطح الأرض الذي تنبأ به نيوتن. ويمكننا تطبيق هذه الأبيات أيضًا بصورة مباشرة على التعاون الذي أُقيم لمراقبة مرور عام ١٧٦١؛ لأن النتيجة لم تكن على مستوى الآمال، إلا أنه في هذه الحالة لم يكن الأمر يتعلق بالتحقق بل بالقياس.

كان للتعاون الدولي في عام ١٧٦١ وملحمة جون «خط الطول» هاريسون هدفٌ واحدٌ؛ وهو تطوير علم الفلك لاحتياجات الملاحة، ولكن إذا كان صاحب الفكرة فلكيًّا بريطانيًّا فإن أحد زملائه الفرنسيين جون نيكولا دوليل (١٦٨٨–١٧٦٨) هو من تولَّى المهمة. وبناء على دعوة بيير لوجران أمضى دوليل اثنين وعشرين عامًا في سان بطرسبرج؛ حيث شيَّد مرصدًا وأنشأ مدرسة لعلم الفلك. وترِد قصة التعاون الدولي الذي نسَّقه بصورة رائعة في كتاب «مرور الزهرة» لإلي مايور.

لم يتوقف التقدم الذي شهدته الميكانيكا السماوية وعلم الفلك المرصدي منذ أن عرض هالي مشروعه. وفيما يتعلق بمرور ١٧٦١، لاحظ دوليل أن تقييم هالي لمسارِ ظِلِّ الزهرة على القرص الشمسي كان خاطئًا؛ فسيكون المرور أقصر مما تخيله عالم الفلك الملكي، فيتعين إذن استبعاد بعض مواقع المراقبة التي كان يفضلها هالي. وفي المقابل أثبت دوليل أن تحديد مسارِ ظِلِّ الزهرة ليس له أهمية كبيرة، فيكفي أن نرصد بدقة اللحظتين اللتين يدخل الكوكب فيهما القرص الشمسي ويخرج منه. ولكن ملحمة جون «خط الطول» هاريسون كانت معاصرة لمرور ١٧٦١ (الفصل الثامن). وهذا يعني أن التحدي كبير؛ مما جعل دوليل يستعد للعملية منذ فترة طويلة. ففي عام ١٧٢٤؛ أي قبل مرور الزهرة أمام الشمس بسبعة وثلاثين عامًا، توجَّه دوليل إلى لندن للتحدث مع هالي ومع جلالة الملك إسحاق نيوتن بنفسه! وبعد أن نشر في عام ١٧٦٠ طريقة مراقبة المرور التي يطالب بها، أصبح دوليل المنسق غير الرسمي للتعاون الدولي المزمع إقامته. ومثل أي منشأة من هذا النوع يتعين أن تصطدم بعراقيل عدة مثل القومية المحدودة وأنانية قادة المهمة المستقبليين وصعوبة جمع الأموال، بالإضافة إلى أسوأ تعبير

عن الحماقة الإنسانية؛ وهي الحرب، وفي تلك الفترة كانت حرب السنوات السبع تدور رحاها من ١٧٥٦ إلى ١٧٦٣ بين فرنسا والنمسا وروسيا وولاية ساكسونيا والسويد وإسبانيا وبريطانيا العظمى التي تحالفت مع بروسيا وولاية هانوفر. وسيتمخض عن هذا الصراع بصورة خاصة تخلِّي فرنسا عن كل ممتلكاتها الأمريكية والهندية تقريبًا.

وباسم بريطانيا العظمى نظمت الجمعية الملكية رحلتين استكشافيتين، الأولى لجزيرة سانت هيلينا بقيادة عالم الفلك الموقَّر ماسكلاين، الذي سيظل في صفحات التاريخ العدوَّ اللدود لعائلة هاريسون. وفي يوم المرور كان الجو غائمًا ولم يكن ماسكلاين يستطيع رؤية الشمس ولا ظِلِّ الزهرة. وخلال هذه الرحلة اتصف في آنٍ واحد بغطرسته الأرستقراطية — فقد رفض أن يسافر على متن سفينة اقترحتها القيادة البحرية وغادر على سفينة خاصة — وبتناوله للكحول، وتشهد على ذلك النفقات الباهظة المخصصة لذلك من ميزانيته.

أما الرحلة الاستكشافية الثانية فقد استهدفت جزيرة سوماترا، ولكنها اصطدمت بعراقيل عدة، من بينها الالتقاء بفرقاطة فرنسية أوْدت بحياة أحد عشر بحَّارًا وألحقت بالسفينة خسائر ضخمة، مما أجبرها على العودة إلى ميناء بورتسماوث. وقد قضى هذا الحادث على أي رغبة بداخل قائد الرحلة شارل ماسون لاتخاذ طريق البحر مجددًا، ولكن تحت تهديد الجمعية الملكية رضخ في النهاية ووصل حتى رأس الرجاء الصالح، وعلم هناك أن الفرنسيين استولوا على المدينة التي ينوي الذهاب إليها، فقرر ماسون البقاء في رأس الرجاء الصالح؛ حيث يمكن أيضًا رؤية المرور منها. ومن حُسن حظه كانت السماء صافية في اليوم المُقدر، وكانت تلك هي المراقبة الوحيدة الكاملة لمرور الزهرة في نصف الكرة الجنوبي.

(٨) عام ١٧٦١ مثلما عاشه الفرنسيون

في رواية تاريخية مميزة تُسمى «موعد الزهرة» يقص جون بيير لومينيه حدثًا ذا دلالة بالغة من تاريخ العلوم: وهو تنظيم أربع رحلات استكشافية فرنسية تحت رعاية دوليل، وكُلفت هي الأخرى بمراقبة مرور الزهرة. واتجهت رحلتان منها إلى مواقع في المحيط الهندي، واتجهت الثالثة إلى سيبيريا، والأخيرة ذهبت إلى فيينا التي كانت حليفة لفرنسا خلال حرب السنوات السبع.

وكان الأب عالمُ الفلك ألكسندر جي بينجريه، الذي يعشق كوكب الزهرة أكثر من عشقه للعذراء والقديسين، يبلغ من العمر خمسين عامًا عندما أبحر إلى جزيرة رودريجز إحدى جزر ماسكارين، وهي أرخبيل يضم أيضًا جزيرتي موريشيوس وريونيون. وعلى الرغم من الحرب بين فرنسا وبريطانيا العظمى أعطت القيادة البحرية لبينجريه تصريحَ مرورٍ يعترف به كل قادة السفن البريطانية حتى يصل حامله إلى هدفه. وفي ٦ يونيو ١٧٦١؛ أيْ تاريخ مرور الزهرة، كان الجو غائمًا للأسف، ولم يستطع بينجريه تمييزَ ظِل الزهرة إلا لبرهة. وخلال أهم لحظتين؛ أي بداية المرور ونهايته، ظلت الشمس محجوبة عن نظره. وكانت رحلة العودة مليئة بالمخاطر، فعلى الرغم من تصريح المرور الذي يحمله، تعرَّض لهجوم سفينة حربية بريطانية. وللهروب منها نزل من السفينة في لشبونة وعاد إلى باريس عبر الطريق البري. وقد خصص بينجريه بقية حياته لتاريخ علم الفلك.

وتبدو مغامرات بينجريه كنزهة مدرسية مضطربة مقارنةً بالملحمة التي عاشها الجنتيل.

كان جيوم جوزيف هياسينت جون باتيست جنتيل دي لاجاليزيير (١٧٢٥–١٧٩٢) الذي يعرف بالجنتيل، رجلًا نبيلًا من المانش، وليس من المنطقة التي ينتمي إليها دون كيخوته بل منطقة النورماندي التي تطل مباشرةً على المانش. وعلى غرار العديد من علماء الفلك في عصره لم يدرس علم اللاهوت إلا للتخلص من أورانيا آلهة علم الفلك. ولكي يصل في الموعد المحدد في بونديشيري، وهي الهدف الذي حُدد له على خليج البنغال، سافر في مارس ١٧٦٠؛ أي قبل خمسة عشر شهرًا من التاريخ المُقدر؛ وهو ٦ يونيو ١٧٦١. وعندما وصل إلى جزيرة فرنسا، وهي حاليًّا جزيرة موريشيوس، تلقى أنباءً سيئة: الإنجليز يقتربون من بونديشيري. وعلى الرغم من مرضه — فقد كان يعاني من أسلوب الحياة في المستعمرات والمناخ — لم يتراجع عن مهمته. ولكن تمُر الشهور دون أن تتضح أيُّ فرصة للاقتراب من بونديشيري، وعندما ملَّ من كثرة المحاولات قرر في النهاية الاتجاه إلى جزيرة رودريجز التي كانت مقصد بينجريه. وفجأة وجد حلًّا بديلًا، فتستعد فرقاطة فرنسية لمغادرة جزيرة فرنسا متجهة إلى ساحل كوروماندیل الذي يضم بونديشيري، ولكن السفينة لن تغادر موريشيوس قبل منتصف شهر مارس ١٧٦١. ثم حل السكون التام ولم تبحر السفينة، فعندما تم التعرف على الساحل الهندي في نهاية شهر مايو، علم القبطان استيلاء الإنجليز على بونديشيري، فغير وجهته إلى موريشيوس.

وعندما جاء يوم ٦ يونيو كانت الفرقاطة في عرض البحر، ومن أجل إثارة سخط الجنتيل بصورة أكبر كان الجو مشرقًا ولم تكن توجد سحابة واحدة في السماء، فلاحظ عالم الفلك كوكب الزهرة وسجل الساعات التي دخل فيها ظِل الزهرة الشمس وخرج منها، ولكنه أُصيب بخيبة أمل؛ فبسبب الشكوك التي تحوم حول القياس على متن السفن لم يكن لمراقبة الزهرة أي قيمة علمية: باءت مهمته بالفشل.

وقد نجهل الجنتيل إذا تخيلنا أنه عاد إلى دياره شاكيًا، فنظرًا لعلمه بأن الزهرة سيهدي المراقبين مرورًا جديدًا بعد ثمانية أعوام، ظَلَّ في مكانه وقام في غضون ذلك بدراسة الحياة النباتية والحيوانية من مدغشقر إلى مانيلا.

مر الوقت ببطء، ولكن حل أخيرًا يوم ٣ يونيو ١٧٦٩ حتى للجنتيل ولكن نقاط الكرة الأرضية الملائمة لمراقبة المرور الثاني ليست ذاتها التي شوهد منها المرور السابق للزهرة، فهذه المرة كانت الرؤية ملائمة في المحيط الهادئ وشمال غرب أمريكا. فأعلن الجنتيل لأكاديمية العلوم أنه يعتزم مراقبة المرور من مانيلا؛ حيث أقام منذ ١٧٦٦ لكي يستطيع أن يبدأ استعداداته، ولكن كان حظُّه سيئًا؛ فقد أرسلته الأكاديمية من جديد إلى بونديشيري التي كانت مقصده في ١٧٦١. ولكنه يعرف أنه في ساحل كوروماندیل سيكون الجزء الأخير فقط من المرور مرئيًّا. فكانت مهمته محفوفة بالأخطار منذ بدايتها، ولكنه رضخ في النهاية وسافر إلى بونديشيري؛ حيث بدا الإنجليز مُرحِّبين به للغاية، فأعد أدواته بكل العناية اللازمة. وفي عشية اليوم المنتظر كان الجو رائعًا والسماء زرقاء صافية، وعندما أشرقت الشمس أخيرًا كان المرور قد بدأ بالفعل ولكن سرعان ما حجبته سحابة عن المراقبة. فلم يستطع عالِم الفلك السيئُ الحظ أن يشهد نهاية المرور، تلك اللحظة الحاسمة التي يغادر فيها الظِّلُّ قرص الشمس، وسيعلم بعد ذلك أن الجو كان رائعًا في مانيلا في ذلك اليوم.

ظل الجنتيل لبعض الوقت في بونديشيري ثم سافر إلى فرنسا، التي تركها منذ اثني عشر عامًا، ونجا من حادثتي غرق ووصل في النهاية إلى قادس، وعاد سيرًا عن طريق جبال البرانس. وفي باريس علم أن الناس كانوا يظنونه ميتًا، وأن ورثته كانوا يتقاسمون أملاكه. وأضافت الأكاديمية لمستها، فنظرًا لاقتناعها بأن الجنتيل قد أخلَّ بواجباته خلال البعثة، جرَّدته من منصبه في مرصد باريس. ولكن الجنتيل لم يستسلم للهزيمة بهذه السهولة، فقد كافح حتى استعاد منصبه كعالِم فلك واستعاد أملاكه أيضًا، وخصص العشرين عامًا الأخيرة من حياته لنشر مذكراته.

بعد عودته التقى الجنتيل بامرأة فاتنة فتزوجا، وكانا سعيدين ولكنهما لم يُرزقا إلا بطفلة واحدة يُقال إن الزوجين قد ربياها باهتمام.

لم تكن الرحلات الاستكشافية الفرنسية إلى سيبيريا والنمسا مليئة بالصعاب مثل ذلك. فقد كان عالم الفلك الفرنسي جون باتيست شابي دوتوروش (١٧٢٨–١٧٦٩) رجلَ دِين هو الآخر، وقاد رحلة استكشافية إلى توبولسك شرق جبال الأورال، فقد وصل في خمسة أشهر وشهد المرور بأكمله تحت شمس ساطعة. أما سيزار فرانسوا كاسيني دي توري (١٧١٤–١٧٨٤) مدير مرصد باريس، وهو حفيد جون دومينيك الذي كان له الفضل في تشييد المرصد، فكان من نصيبه أكثر المقاصد قربًا وسهولة؛ وهي فيينا التي شاهد فيها المرور في حضور الأرشيدوق النمساوي جوزيف، الذي سيصبح فيما بعد الإمبراطور جوزيف الثاني.

(٩) إذا كنتم غائبين خلال العرض الأول، فلا تفوِّتوا العرض الثاني!

بعد أن فوت الجنتيل العرض السماوي الأول لم يلحق بالعرض التالي. ولحسن الحظ كان مشاهدو المرور الثاني للزهرة كثيرين.

مات شابي دوتوروش ضحيةً لِوَباء في ولاية باها كاليفورنيا في المكسيك، ولكنه حظي بفرصة مراقبة الظاهرة، وحظي القبطان الشهير جيمس كوك (١٧٢٨–١٧٧٩) بالفرصة ذاتها في تاهيتي. ومع ذلك يصعب تشبيه المرور الذي حدث في عام ١٧٦٩ بمغامرة فريدة عندما نعرف أن ١٥١ مكلفًا في بعثة وعددًا أكبر من علماء الفلك الهواة قد تابعوا المرور. وقد وُزعت مواقع المراقبة السبعة والسبعون على نصف الكرة الأرضية. فماذا كانت النتائج التي تمخضت عن تلك الجهود الهائلة؟

بعد المرورين كانت قيمة الوحدة الفلكية معروفة بصورة أفضل، ولكن لم يمكن إلا حصرُها بين تقديرين أقصى وأدنى: ١٤٨ و١٥٥ مليون كيلومتر، وهي تبلغ حاليًّا ١٤٩,٧ مليون كيلومتر. كانت النتيجة صحيحة لكننا قد نتساءل إذا كان الأمر يستحق هذا العناء، فهل من الحكمة أن نخصص كل هذه الجهود والمخاطرة بحياة كل هذا العدد من الرجال من أجل تحديد الوحدة الفلكية باختلاف ٢٪؟ وقد نُجيب عن هذا السؤال البعيد عن الأوهام بأنه بفضل العالم الروسي ميخائيل فاسيليفيتش لومونوسوف (١٧١١–١٧٦٥) كان لمراقبة المرور فوائد أخرى لعلم الفلك غير القيمة الرقمية للوحدة الفلكية.

كان لومونوسوف ذا عبقرية عالمية، فقد ترك إرثًا هائلًا في علم اللغة، وهو واضع النحو الروسي ومؤلف قصائد عديدة. وفي تاريخ العلوم الدقيقة كان أول من لاحظ تصلب الزئبق، وهو أيضًا أحد رواد النظرية الحركية للغازات. وقد وُلد بالقرب من أرخانجلسك على البحر الأبيض، ولكنه لم يستطع إرواء عطشه للمعرفة هناك فغادر مسقط رأسه واتجه سيرًا إلى موسكو. ومنذ ذلك الحين كانت مسيرته المهنية صاعقة، فقد أُرسل إلى سان بطرسبرج؛ حيث حصل على منحة لاستكمال تدريبه في جامعة ألمانية مشهورة تُسمى ماربورج. ونظرًا لأن المنحة التي حصل عليها لا تسمح بتوفير حياة كريمة للأسرة التي أسسها في ألمانيا عاد إلى سان بطرسبرج. وفي أثناء انشغاله بأعمال أبحاثه التي لا تنتهي، وجد وسيلة لمراقبة مرور ١٧٦١ من منزله، وقام بهذه المناسبة باكتشاف ربما كان مدويًا وهو اكتشاف هالة براقة تحيط بظل الزهرة خلال دخوله القرص الشمسي وخروجه منه. ونَسب هذه الهالة من النور إلى وجود غلاف جوي ذي كثافة هائلة، ونعرف اليوم أهمية هذا الغلاف الجوي الذي يتكون بصورة أساسية من غاز ثاني أكسيد الكربون. إن الضغط على الزهرة أكبر ٩٠ مرة من الضغط على كوكب الأرض، وقد تصل درجة الحرارة إلى ٤٥٠°. وتكمل السحب المكونة من حمض الكبريتيك هذه الصورة المجسمة لجهنم. ولم يَعرف الغرب اكتشاف لومونوسوف إلا في عام ١٩١٠، وحتى ذلك الوقت كان يُنسب لويليام هرشل عالمِ الفلك الذي اكتشف أورانوس في ١٧٨١.

(١٠) وزن الأرض

ماذا فعلنا لتحديد كتلة الأرض؟ وفي القرن الثامن عشر كان هذا السؤال يتردد بطريقة أكثر سطحية: كيف قمنا بوزن الأرض؟

تم حساب كتلة الأرض مثل المسافة بين الأرض والشمس بالتناسب مع أحجام المجموعة الشمسية، فبمجرد معرفة قيمتها نستطيع أن نحدد تدريجيًّا كتلة الأجسام الأخرى في المجموعة الشمسية. ويسمح قانون الجاذبية الكونية بذلك.

وكان أول من أجاب عن هذا السؤال هو الكيميائي والفيزيائي البريطاني هنري كافنديش (١٧٣١–١٨١٠).

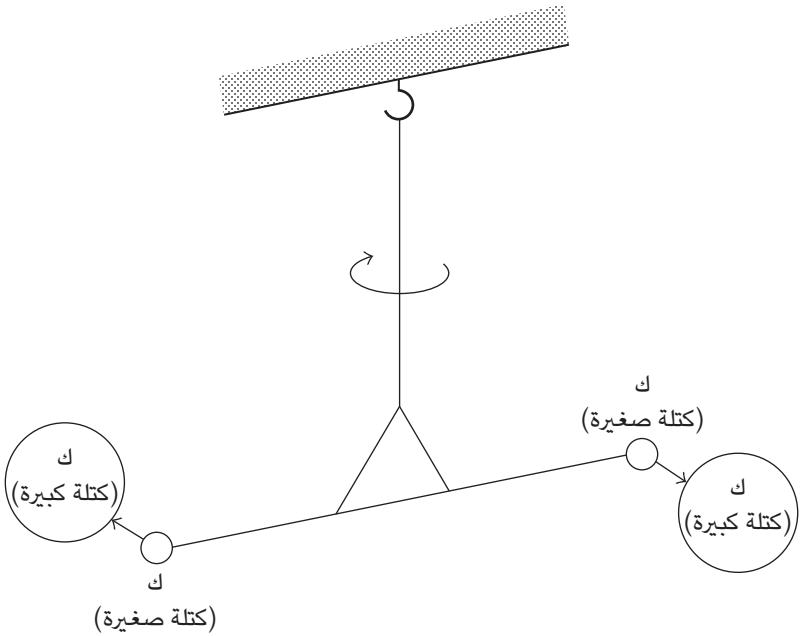
كانت شخصيته الانطوائية تتفق مع صورة العالم في ذهن العامة. فعلى الرغم من ثرائه الفاحش وأصله الأرستقراطي — سواء من ناحية أسرة أبيه أو أمه كان جدوده من

رتبة الدوق — كان هذا الكارِه للبشر يعيش كالراهب المعتكف في معمله بما أن وضعه المالي يسمح له بتكريس حياته للعلم. وكان كُرهه للنساء يبلغ ذروته؛ نظرًا لأنه كان يرفض التحدث مع الخادمات في منزله، ولم يكن يتعامل مع هذه السيدات إلا عن طريق الرسائل الورقية الصغيرة. وحتى إذا كان نشاطه العلمي مخصصًا بصورة أساسية للكيمياء، فإن كافنديش يُعرف بتحديده لكتلة الأرض.

في عام ١٧٩٨ عندما قام كافنديش بتجربته، كانت مماطلة الكنيسة في مواجهة أفكار كوبرنيكوس وجاليليو قد مر عليها وقت طويل، وبفضل فولتير تبنت فرنسا نظرية الجاذبية لنيوتن، فكان الناس يتباهون بتأثير الأرض على القمر ويلاحظون تأثير القمر على مياه المحيطات، ولكن لم يكن لأحد أدنى فكرة عن تأثير الجاذبية الذي تمارسه تفاحتان إحداهما على الأخرى إلا أنه ضئيل بصورة غير معقولة. ونظرًا لعشقه لنيوتن، قرر كافنديش أن يتناول هذه المشكلة ويقيس قوة الجاذبية التي تمارسها كرتان من الرصاص إحداهما على الأخرى: فوفقًا لميكانيكا نيوتن توجد بينهما علاقة تبادل. ولهذا الغرض استعان بالجهاز المبين في شكل ١٢-٣.

يعد قياس أثرٍ ضعيف للغاية دائمًا عملًا محفوفًا بالمخاطر؛ فقد لا يمكن تمييزه. وقبل الانخراط في مثل هذا العمل، يجب إذن التأكد من أن ذلك لن يحدث. وإذا أقرَّ كافنديش أن كثافة الأرض لا تتخطى كثافة الماء بصورة كبيرة، فهو يستطيع أن يعطي تقييمًا لمدى كبر العلاقة بين القوة التي تخضع لها كل كرة رصاصية من جانب الأرض — وزنها — والقوة التي تمارسها كل كرة على الأخرى، وهي نسبة ضخمة قد تصل إلى ٥٠٠ مليون! ومن أجل إبراز التأثير الضئيل الناتج يتطلب الأمر مجرِّبًا فريدًا قادرًا على حماية الجهاز من أي اضطراب. ويجب منع أيِّ اهتزاز للمعمل أو أيِّ تغيُّر في درجة الحرارة، ويجب ألَّا تحمل الكرات الرصاصية أي شحنة كهربائية، وإلا تصبح نتيجة التجربة خاطئة.

كان كافنديش نفسه فريدًا، فبلغ أهدافه وقاس بدقة كافية القوة الضئيلة التي تمارسها الكرات الضخمة على الكرة الصغيرة المجاورة لها. وبواسطة هذا الموقف عرف كثافة الكرة الضخمة والقوة التي تمارسها على الكرة الصغيرة. ومن جهة أخرى يعلم كافنديش أن وزن كرة صغيرة ليس إلا القوة التي تخضع لها بسبب الأرض. وباستخدام قاعدة الثلاثة البسيطة للأعداد المتناسبة، استنتج كتلة الأرض، شريطة أن يأخذ بعين الاعتبار المسافات الفاصلة: بعض السنتيمترات بين الكرتين الصغيرة والضخمة ونصف



شكل ١٢-٣: استعان كافنديش بالجهاز المبين هنا لتقييم قوة الجاذبية بين كرتين يُعرف حجمهما وكتلتهما الصغيرة. تُثبَّت كرتان صغيرتان من الرصاص يبلغ قطرهما بوصتين (٥,١ سنتيمترات) في طرفي قضيب عمودي معلق في خيط مما يجعل النظام متوازنًا. وإذا وضعنا كرتين ذواتي كتلة كبيرة وأكبر حجمًا (يكون قطرهما ١٢ بوصة أو ٣٠,٥ سنتيمترًا) فهما تتسببان في دوران القضيب؛ مما يبرز قوة الجاذبية التي تُمارَس بين عضوَي كل ثنائية من الكرات، والتي يتعرض لها الْتواء الخيط. وإذا وضعنا الكرات ذات الكتلة الكبيرة من الناحية الأخرى من القضيب، يحدث التحرك في الاتجاه المعاكس. وتسمح المقارنة بين كل التواء بقياس قوة الجاذبية.

قطر أرضي بين كرة صغيرة ومركز الأرض؛ حيث تبدو الكتلة متمركزة (الفصل الحادي عشر). وهكذا استطاع كافنديش تحديد كثافة الأرض التي قدَّرها بقيمة ٥,٤٨ جرامات/سنتيمتر مكعب، وهي نسبة قريبة جدًّا من تلك المعترف بها حاليًّا؛ وهي ٥,٥٢ جرامات/سنتيمتر مكعب.

كان ذلك عملًا بطوليًّا ذا فائدة جلية: لا تتخطى كثافة معدن المرو على سبيل المثال ٢,٦٥ جرام/سنتيمتر مكعب. فتفترض نتيجة كافنديش وجود معادن أكثر ثقلًا في باطن الأرض، وذلك صحيح، فيعد مركز الأرض مَقرًّا لنواة سائلة من الحديد والنيكل.

(١١) ثابت الجاذبية

يعد هذا النجاح الأول مهمًّا، ولكن يمكننا أن نعطي لعمل كافنديش تفسيرًا أوسع.

فيعتبر قانون الجاذبية مثلما ورد في كتاب المبادئ ناقصًا. فيمكننا صياغته برمز:

$$\text{Force gravifique} \sim mm'/r^2$$

(Force gravifique: قوة الجاذبية)

فبدلًا من علامة = التي تعني التساوي اكتفى نيوتن بعلامة ~ التي لا تعني إلا التناسب. وكان قرَّاء كتاب المبادئ يعرفون أنه إذا ضاعفنا كتلة كلٍّ من الكرتين أو خفضنا المسافة التي تفصلهما إلى النصف، تزداد القوة أربعة أضعاف، ولكن ظلت كثافة هذه القوة مجهولة بالنسبة لهم.

وبمجرد قياس كافنديش للقوة بين الكرتين تغيرت الأمور فكتب:

$$\text{Force gravifique} = Gmm'/r^2$$

تكون القوة والكتلتان m وm' وr معروفة، ويكون التساوي مقبولًا شريطة أن تضم العلاقة عامل G الذي يُسمى ثابت الجاذبية.

ولكي نفهم بصورة أفضل معنى هذا الثابت يكفي الرجوع إلى حالة الضوء في الفراغ، فيُقال إن انتشاره يكون بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر/ثانية، وهو ما يمكننا كتابته:

$$\text{Temps de la propagation de la lumiére dans le vide} = r/c$$

(Temps de la propagation de la lumi´ere dans le vide: زمن انتشار الضوء في الفراغ)

وتكون r هي المسافة التي تفصل مصدر الضوء عن السطح العاكس، المسافة من الشمس إلى سطح القمر المضيء على سبيل المثال. أما c فهو ثابت مماثل لـ G، إلا أن تفسيره يكون فوريًّا بما أن الأمر يتعلق بسرعة الضوء في الفراغ.

تعتمد G وc على وحدات القياس المختارة: تساوي c مثلًا ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر/ثانية في النظام المتري، و١٨٦٠٠٠ ميل/ثانية بالنسبة لشخص أنجلوساكسوني. وفي المقابل لا شيء يؤكد لنا أن قيمتي G وc تبقيان ثابتتين من نقطة لأخرى في المجرة أو من مجرة إلى أخرى، ولا شيء يؤكد لنا أيضًا ثباتهما على مدار الوقت. ولكن نظرًا للملاحظات العديدة التي تم تجميعها خلال القرون الأخيرة، والتي تمتد مليارات الأعوام الضوئية وتعود إلى مليارات الأعوام في الماضي؛ لم يكتشف أحد مؤشرًا صلبًا يؤيد تغير هذين الثابتين سواء في المكان أو الزمان، والأمر ذاته ينطبق على شحنة الإلكترون e. وفي المقابل يمكن التأكيد بأن هذه الثوابت قد تغيرت، ولكن لم يحدث ذلك إلا بنسب ضعيفة؛ لذا نطلق اسم ثوابت كونية على قياسات مثل G وc وe ومقاييس أخرى مماثلة.

تمثل الثوابت الكونية للفيزياء مشكلة مبهرة، فماذا يحدد قيمتها؟ كيف يمكننا «أن ننسب خصائص للفراغ» كما يبدو الحال عندما يظهر تأثير الجاذبية فيه أو عندما ينتشر الضوء؟ ماذا قد يحدث لو كانت قيمة الثوابت الكونية مختلفة؟

الفصل الثالث عشر

جاذبية مدهشة

(١) ساحر عجوز

يكسب السحرة رزقهم بإخراج أرنب من قبعة أو بأن يستبدلوا خفية في لعبة الورق بالسبعة السوداء البنت ذات القلب الأحمر، ويقوم بعضهم برفع شاب جميل[١] عن الأرض، وهي ظاهرة تتناقض بصورة صارخة مع قوانين الجاذبية. وللسحرة أيضًا تأثيرٌ عن بعد؛ فيخفون برج إيفل، أو يقومون بِلَيِّ ملعقة ليست بمتناول أيديهم. وعلى الرغم من سعادة المشاهدين بما يرونه، فإنهم لا يصدقون البتة أن يكون المشعوذون سحرة حقيقيين يتمتعون بقدرات خفية، ولكنهم يعشقون أن يبنوا صروحًا من الأوهام وأن يَعتبروا مشعوذين ماهرين سحرة حقيقيين.

تعلمنا جميعنا في المدرسة وجود قوة الجاذبية، وفي غالبية الأحيان لم نتساءل أيَّ سؤال في هذا الشأن، ولم نبدِ أي اندهاش. ومع ذلك فإن الجاذبية تخالف البديهة، فهي تفترض أن كومة من الصخور — الأرض — أو كرة من الغاز — الشمس — تدرك وجود النجوم المحيطة بها، وأنها قادرة على قياس المسافة بينها وبين هذه النجوم وكتلة كلٍّ منها، وأنها تمارس على كلٍّ منها فيما وراء الفضاء الذي يفصلهما قوةً تتناسب بالضبط مع المعطيات التي تم تجميعها. فهل تقوم الأجرام السماوية بأداء أفضل من السحرة الماهرين؟ إنه تحدٍّ حقيقي للعقل ومسلَّمة غير مقبولة.

كان جاليليو يرفض بشدة مفهوم الحركة أو القوة عن بعد. ولكنه كان يرى أمام عينيه سقوط الأجسام؛ تلك الظاهرة التي صاغ قانونها (قانون الجاذبية)، ولكنه لم يكن يرى فيها تأثير قوة، فكان يكتفي بقياس تَسارع الجسم المتحرك أو القذيفة.[٢] وكان يراقب ويصف ما يراه دون البحث عن سبب التسارع الذي يعد أحد المعطيات الفورية للتجربة. أما عن تأثير القمر على المد والجزر فلم يكن جاليليو يؤمن بذلك. وعندما أدخل

نيوتن مفهوم قوة الجاذبية كنموذج للقوة التي تُمارس عن بعد، لم يلقَ فورًا الموافقة العامة. وكان عالم الفلك السويسري جورج لويس لوساج (١٧٢٤–١٨٠٣) يؤيد بصورة خاصة نظرية نيوتن بلا تحفظ، ولكنه كان يرفض فكرة القوة عن بعد، فالتزم باستبعاد هذه الفكرة الأخيرة محتفظًا في الوقت ذاته بنظرية نيوتن.

(٢) علم وتأمل

خلافًا لما يقترحه أصل الكلمة، فإن «الجسيم القادم من عالم آخر» جزيئة غير مرئية تولدت من خيال جورج لويس لوساج. وكان هذا الجسيم الغريب من وجهة نظر مخترعه هو سبب قوة الجاذبية، وهو يفسر أيضًا ارتباط هذه القوة بالمسافة بين الأجسام المختارة وكتلتها. أما عن اختيار مصطلح «القادم من عالم آخر»، فهو يشير إلى الأصل المفترض لهذه الجسيمات، فقد كان لوساج يضعها في أقصى الكون، خارج حدود العالم المعروف.

ومن ناحية عائلة جدته، كان لوساج من سلالة الشاعر البروتستانتي الفرنسي أجريبا دوبينييه (١٥٥٢–١٦٣٠) الذي كان في آن واحد محاربًا شجاعًا ومناصرًا متشددًا لمذهب كلفن البروتستانتي. وعلى الرغم من تمسك دوبينييه بقضية الملك هنري الرابع، فإنه تركه عندما ارتد الملك عن البروتستانتية بغية اعتلاء عرش فرنسا، إلا أن هنري الرابع لم ينسَ شركاءه القدماء في البروتستانتية فمنحهم في عام ١٥٩٨ سلسلة من الامتيازات نص عليها مرسوم نانت. وفي عام ١٦٨٥ عندما أبطل لويس الرابع عشر هذا المرسوم، اختار أكثر من ٢٠٠٠٠٠ بروتستانتي فرنسي الهجرة بدلًا من الخضوع أو الرِّدَّة. فلجأ والد جورج لويس إلى جنيف، فهو ذاته قد أمضى هناك غالبية حياته التي خصصها للفيزياء، فيرجع إليه الفضل في اختراع جهاز إرسال بَرْقي ذي كفاءة غير مقنعة. ولكنه يعود إليه فضل أكبر في صياغة نظرية جاذبية كانت تعترف بوجود قوة مماثلة لقوة الجاذبية، مستبعدًا في الوقت ذاته فكرة التأثير عن بعد.[٣] ولتحقيق ذلك ابتعد عن المجال العلمي البحت ليتفرغ للتأمل.

تكمن مهمة العلم كما نفهمها اليوم في وصف الظواهر المتكررة التي نلاحظها في كل مرة تتحقق فيها بعض الشروط المنصوص عليها. ويعد كلٌّ من تصادم كرتَي بلياردو، وانعكاس الضوء، وتجمد المياه ذاتِ درجةِ الحرارة المنخفضة؛ ظواهر متكررة. ويبدأ العلم بوصفها ثم يحاول تفسيرها بإقامة علاقة سببية. فإذا كانت التفاحة تسقط من الشجرة فقد جذبتها الأرض، وإذا جذبت الأرض التفاحة فهي الأخرى تخضع لقانون

الجاذبية الكونية، وإذا كان قانون الجاذبية بالشكل الذي نعرفه عليه فهذا لأن ... وهنا يظل العالِم صامتًا، وإذا فكَّر في أبعدَ من ذلك يصبح متهمًا بالتأمل، بل بالقيام بتأملات ميتافيزيقية، وهو ما يعد نشاطًا غير صحيح سياسيًّا من وجهة نظر زملائه. وإذا دعَونا عالِمًا إلى القيام بتأملات تتخطى حدود العلم، فمن المحتمل أن يرد مثل الشرطي الذي نقدم له كأسًا: «لا يصح أبدًا خلال وقت العمل!» وفي حالةِ مخالَفةِ ذلك تكون العقوبة في الحقيقة بسيطة؛ فلا تتجاوز رفع الحواجب.

وكان نيوتن يحذر من التأمل مثل جاليليو، فقد كتب في «المبادئ»: «لم أستطع حتى الآن أن أستنتج من الظواهر سبب خصائص الجاذبية، وليس لديَّ أيُّ تخيل لافتراضات؛ لأن كل ما لا يُستنتَج من الظواهر هو افتراض، ويجب ألا تقبل الفلسفة التجريبية بالافتراضات الميتافيزيقية أو الفيزيائية أو الميكانيكية أو تلك التي تحتوي على صفات خفية [...] ويكفي وجود الجاذبية وعملها وفقًا للقوانين التي عرضناها وقدرتها على تفسير كل حركات الأجرام السماوية والبحرية.»

عندما صاغ نيوتن قانون الجاذبية، أكد أن كل شيء يحدث كما لو كانت الكتل يمارِس بعضُها على بعض تأثيرًا عن بعد، وحدد أيضًا طرق هذا التفاعل (اعتماده على الكتل والمسافات) ولكنه توقف عند هذا الحد. فقد اكتشف الطريقة ولكنه لا يذكر شيئًا عن السبب. إنها المتناقضة الكبرى للعالِم. وفي النهاية كان يريد دائمًا أن يعرف السبب ولكن كان يتعين عليه دائمًا الاقتصار على الطريقة. وقد ذكر نيوتن ذلك بنفسه: «لا أقدم افتراضات»؛[٤] فقد أطلق اسم «افتراضات» على ما نسميه «تأملات».

لا توجد بالطبع حدود واضحة أو محددة سلفًا بين ما يُستنتَج من الملاحظات وما لا يعد إلا تأملًا بحتًا. وتنتمي أي نظرية جديدة للفئة الأولى إذا كانت تسمح بتفسير ملاحظات لا تزال غير مفهومة، أو إذا كانت تتنبأ بوجود وقائع جديدة غير معروفة حتى ذلك الوقت. وعن طريق اكتشاف قانون الجاذبية الكونية، صاغ نيوتن نظرية جديدة تسمح بصورة خاصة بتفسير قوانين كبلر وتوسيع نطاق تطبيقها ليشمل أقمار المشتري وزحل.

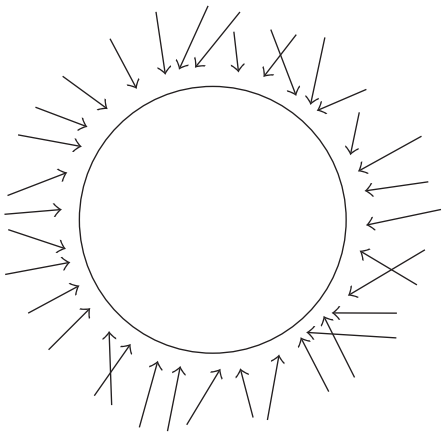
(٣) مدح نظرية خاطئة

في كتاب «الكحول الميثيلي»، يمدح جون مارك ليفي لوبلان نظريات خاطئة، فبترتيب متصاعد للمسافة وصولًا إلى الحقيقة المقبولة قام بالتمييز بين النظريات المطابقة

والمختلفة والشاذة والصاعقة. وكان النوع الأول صحيحًا في الماضي ولا يزال يمثل في الحاضر تقريباتٍ مميزة. أما النوع الثاني من النظريات فهو لا يدخل في الإطار النظري الساري، ولكنه يمتلك تماسكًا وترابطًا منطقيًّا داخليًّا يجعل من الصعب دحضه. ولا يستحق النوعان الأخيران التحليل ولا الدحض حتى إذا قام ليفي لوبلان بالتفرقة بين النظريات الشاذة التي يمكن أن نأمل في دحضها والنظريات الصاعقة التي يجب عدم التفكير فيها، فهي تقع في إطار غير معقول، لدرجة أننا لا يمكننا مواجهتها باستخدام الطرق العلمية. ولا يمكننا للأسف إلا أن نهز رأسنا.

يمكن للنظريات الخاطئة أن تسلينا مثل «مبدأ الذوبان»، وهي نظرية صاعقة تنص على أن المادة التي تذوب لا تفقد شيئًا من قدرتها الفاعلة حتى إذا تسبب الذوبان في اختفاء هذه المادة تمامًا. ويعتقد المدافعون عن هذه النظرية أن الماء قد يحتفظ «بذكرى» الجسم الكيميائي قبل ذوبانه. ويذكر ليفي لوبلان مثالًا على النظرية الصاعقة؛ ألا وهو «نظرية الأرض المجوفة»، فيؤكد صاحبها أن الجزء الداخلي من الأرض — الذي لا يحتوي على أي مادة — يتصل بالجزء الخارجي عن طريق فتحتين واسعتين تقعان عند القطبين، وتعيش على سطحها الداخلي حضارة متقدمة تزورنا باستمرار على متن «صحون طائرة». فإن النظرية الهاذية الأولى تتوارى خلف لغةِ خطابٍ علميةٍ بينما تحرز النظرية الثانية تقدمًا واضحًا، ولكن الاثنتين ليستا إلا هذيانًا بحتًا.

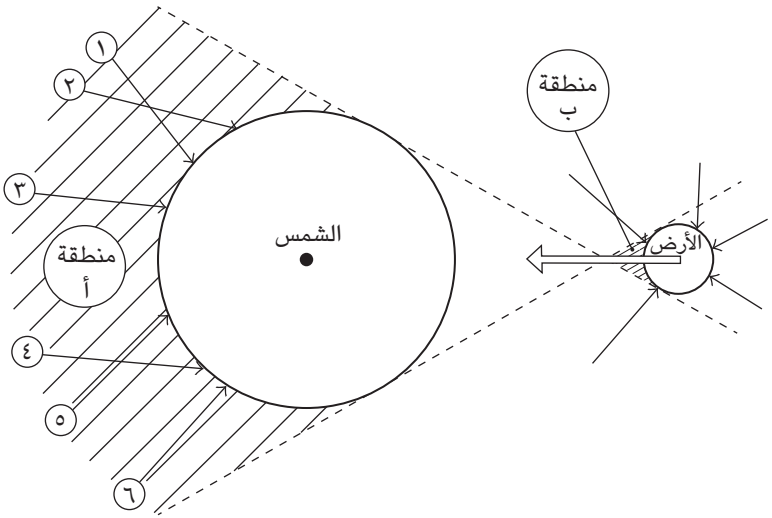
ويرى ليفي لوبلان أنه يجب أن نصنف نظرية لوساج ضمن النظريات المختلفة، فإن الفيزيائي السويسري يتخيل أن الفضاء يعجُّ بِسَيلٍ وفير من الجسيمات القادمة من عالم آخر، التي يرجع أصلها إلى ما وراء النظام الشمسي، فلا تستطيع حواسنا إدراكها نظرًا لضآلتها الشديدة. وعندما تصطدم إحداها بجرم سماوي تعطيه دفعة بقدر حجمها وسرعتها التي يفترض لوساج أنها كبيرة. وليس لهذه الاصطدامات المستمرة أي تأثير ملموس على الأجسام الكروية المنعزلة، التي تكتفي بضغطها بخفة دون علمنا (شكل ١٣-١). ولا يصبح الوضع لافتًا للانتباه إلا عندما يكون جسمان سماويان متقاربين؛ لأنهما يحتميان بالتبادل في مواجهة جزء من سيل الجسيمات. وتتوقف الأمطار القادمة من عالَم آخر عن الانتشار بصورة موحدة على سطحهما، فتظهر إذن قوة موجهة إلى الجسم السماوي الآخر (شكل ١٣-٢). ويرى لوساج أن «الأجرام السماوية لا تتجاذب بل يندفع كلٌّ منها في اتجاه الآخر!» ومن وجهة نظر الهندسة تتناسب هذه القوة عكسيًّا مع مربع المسافة بين الجسمين.[٥] وتعيد نظرية لوساج تناول



شكل ١٣-١: يرى لوساج أنه عندما يكون جرم سماوي ما منعزلًا يتعادل متوسط الدفعات التي يمنحها له سيل الجسيمات القادمة من عالم آخر، لدرجة أنه لا يخضع لأي قوة ناتجة ملحوظة إلا في حالة حدوث أثر ضغط.

ارتباط قوة الجاذبية بالمسافة بصورة صحيحة. لكن يبقى أن نفهم لماذا تعتمد الجاذبية على كتلة الأجسام. ففي النهاية عندما نختار بين شمسيتين غير منفذتين للسوائل لهما الشكل ذاته والحجم ذاته، لا يوجد سبب يجعل الأكثر ثقلًا بينهما هي الأكثر فعالية.

لا مجال للسخرية من المسامية المفترضة للمادة، فنعرف اليوم أن كتلة الذرة مركَّزة في نواة صغيرة لا يتخطى قطرها أكثر من واحد على مليون من قطر الذرة، وبالطبع يجهل لوساج هذا الأمر، فينخرط في التأمل ويجيب مسبقًا عن سؤال لن يتوانى قراؤه عن طرحه: ماذا يحدث إذا حلَّ جرم سماوي ثالث بين النجمين؟ وبعبارة أخرى ماذا يتعين أن ننتظر خلال كسوف شمسي عندما يقف القمر حائلًا بين الشمس والأرض؟ وفيما يتعلق بهذه النقطة كانت نظرية نيوتن واضحة جدًّا، فإن قوة التجاذب التي يمارسها كلٌّ من الشمس والقمر على الأرض تعتمد على المسافات بين كلٍّ منهما والأرض، سواء أكانت النجوم الثلاثة مصطفَّة في خط مستقيم أم لا. وتجتاز نظرية لوساج اختبار الكسوف بنجاح؛ فلأن صاحبها سلَّم بمسامية الأجرام السماوية وشفافيتها المطلقة إزاء الجسيمات، لا يغير وقوف القمر حائلًا من تأثير الشمس على الأرض إلا بصورة يمكن التغاضي عنها.



شكل ١٣-٢: عندما يكون جسمان متقاربين يكون كلٌّ منهما حاجزًا للآخر في مواجهة سيل الجسيمات القادمة من عالم آخر. وتكون المعادلة الإحصائية بينهما ناقصة، لدرجة أن كلًّا منهما يخضع لقوة في اتجاه الآخر. ولتبسيط هذا الشكل قدمنا تأثير الشمس على الأرض متجاهلين التأثير المضاد. ولأسباب هندسية مؤكَّدة يمنع وجودُ الشمس بعض الجسيمات من بلوغ الأرض (في حالة هذا الشكل، ذلك هو حال رقم ٢ و٣). وفي النهاية نلاحظ عجزًا ما في الجسيمات على سطح الأرض يحدد المنطقة (ب)، لدرجة أنه توجد قوة دافعة تُمارَس في اتجاه الشمس. ووفقًا لقوانين الهندسة، إذا كان كلٌّ من الجسمين حاجزًا للجسيمات الساقطة، تتناسب كثافة القوة عكسيًّا مع مربع المسافة بين النجمين.

(٤) دحض نظرية لوساج

كان لوساج رجلًا ماهرًا، فقد حصن نظريته ضد الهجمات المستقبلية في أثناء تفكيره في كل الاعتراضات التي كان من الممكن أن تواجهها.

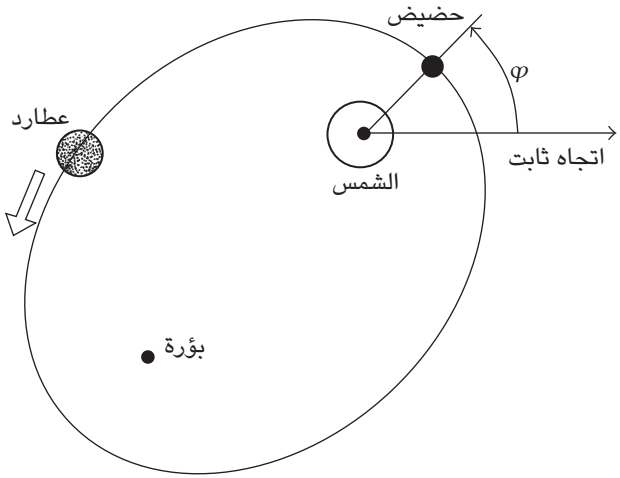
ويعني ذلك أن لوساج لم ينخدع فلا تخلو نظريته من الأهمية، والدليل هو عدد الفيزيائيين الذين تناولوها من جديد في القرن التاسع عشر سواء لاستكمالها أو دحضها، ومن بينهم نذكر بصفة خاصة لورد كالفين وهو أحد مؤسسي الديناميكا الحرارية، وجيمس كلارك ماكسويل موحد البصريات والكهرومغناطيسية، وجورج داروين أحد

أبناء صاحب نظرية التطور. وكان خاتمهم هو عالم الرياضيات الفرنسي هنري بوانكاريه (١٨٥٤–١٩١٢) في كتابه «علم ومنهج»، الذي لم يقرَّ بنظرية لوساج،[٦] فهل يجب أن ندينها؟

باستخدام المعارف التي تم تجميعها على مدار القرن التاسع عشر، حسَب بوانكاريه ارتفاع درجة الحرارة الذي قد يخضع له كوكبنا إذا امتصَّ[٧] واحدًا على مليون من سيل الجسيمات القادمة من عالم آخر وفقًا لافتراضات لوساج. ويكون ارتفاع درجة الحرارة نتيجة «لمبدأ الاحتفاظ بالطاقة»، الذي يعد أحدَ إنجازاتِ القرن التاسع عشر: فإذا تم اعتراض سبيل الجسيمات داخل الأرض، فهي قد تنقل لها الطاقة الميكانيكية التي تمتلكها. وقد تنتقل هذه الطاقة في صورة حرارة، مما قد يؤدي إلى رفع درجة الحرارة المحيطة. ويستطيع بوانكاريه أن يكتب دون سخرية أن هذه الكمية من الحرارة «قد تكفي لرفع درجة حرارة [الأرض] $١٠^{٢٦}$ درجة في الثانية.» ويجدر بالذكر أن افتراضات لوساج الصارمة تفرض على هذه الجسيمات سرعة استثنائية مسئولة عن رفع درجة الحرارة، فهي تسير بسرعة ٧٦ مليار سنة ضوئية في الثانية. وفي الوقت ذاته لا يتجاوز الضوء إلا مسافة ثانية ضوئية أي ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر. ومن جهة أخرى تُعادل المسافة التي تفصلنا عن الأجسام الأكثر بعدًا التي يمكن أن نراها في التليسكوبات التي نمتلكها ١٠ مليارات سنة. فيجب أن نقر بأن الجسيمات القادمة من عالم آخر هي جديرة باسمها.

كان بوانكاريه محقًّا فتختلف التجربة عن نظرية لوساج.

في الحقيقة يعاني دحض بوانكاريه للنظرية من عيب خطير أشار إليه بنفسه، فإن الحسابات المختلفة التي قام بها كانت في إطار الميكانيكا النيوتنية التي لا تصلح إلا عندما تظل سرعة الأجسام المدروسة أقل من سرعة الضوء التي يرمز لها بحرف c. وعندما لا يُستوفى هذا الشرط لا تظل الميكانيكا النيوتنية صالحة، فيجب أن تفسح المجال أمام نظرية النسبية لأينشتاين، التي تؤكد أن سرعة الضوء تعد حاجزًا لا يمكن أن تخترقه الجزيئات أو الموجات على حد سواء. ونتحقق من ذلك كل يوم في المعجلات الكبيرة التي لا يمكن لسرعة الإلكترون فيها إلا أن تقترب من c ولا تبلغها أبدًا، على الرغم من الوسائل المستخدمة. وبما أن نظرية لوساج تقوم على جسيمات ذات سرعة صاعقة إلى هذا الحد، فيجب أن يتم تناولها من جديد في الإطار النسبي. ويذكر بوانكاريه بعض الحجج التي تجعل نظرية لوساج غير قابلة للبقاء حتى في ظل الإطار النسبي.



شكل ١٣-٣: وفقًا لقانون كبلر الأول يرسم عطارد قطعًا ناقصًا تحتل الشمس إحدى بؤَره. وبسبب وجود الكواكب الأخرى التي تُفسد هذا المشهد البسيط، لا يظل القطع الناقص ثابتًا في الفضاء، فيتقدم الحضيض ببطء على مدار الوقت، وهو ما تصحبه الزيادة المستمرة لزاوية φ. ويُلاحظ تحرك الحضيض لدى كل الكواكب ولكنه يكتسي أهمية كبرى في حالة عطارد. ولم تتوصل الميكانيكا السماوية في القرن التاسع عشر إلى تفسير القيمة المضبوطة لهذا التحرك، فبين القيمة الملحوظة والقيمة التي تنص عليها نظرية الجاذبية لنيوتن كان لا يزال هناك فرق يبلغ ٤٣ ثانية قوسية.

(٥) تقدم حضيض عطارد

كانت نظرية لوساج محاولة غير مُجدية لإحلال السبب محل الطريقة. وحتى لو لم تكن قد تعرضت لدحض، فربما لم تكن أيضًا لتكتسب أيَّ وضع مرموق إلا إذا كنا قادرين على أسر بعض الجسيمات القادمة من عالم آخر وقياس خصائصها. وفي المقابل لكي يظهر أي شك حول قدرة نظرية نيوتن على وصف الطريقة، يجب أن تكف التجربة عن الاتفاق معها، وهو ما حدث مع كوكب عطارد الذي أثار أول موجة من التساؤلات، وهي مع ذلك تساؤلات طُرحت بخجل.

وفقًا لأبسط صورة يمكن تخيلها عن النظام الشمسي، يخضع كل كوكب لقوانين كبلر فيرسم قطعًا ناقصًا حول الشمس الحاكمة. ولكن تعددية أعضاء النظام الشمسي

تفسد هذا المشهد، فبسبب تأثير الأجسام الأخرى غير الشمس تظل الكواكب وأقمارها تتحرك على شكل قطع ناقص، ولكن هذه الأشكال لا تظل ثابتة في الفضاء ويمكن أن تتغير، وهو ما يفسر تقدم عُقَد المدار القمري (الفصل الثالث).

ومن أشهر هذه الانقلابات الكوكبية تلك التي تخص حضيض عطارد، وهي أكثر نقطة على القطع الناقص يكون فيها الكوكب قريبًا من الشمس. فتحت تأثير الكواكب الأخرى تنتقل بسرعة تقارب ٥٦٠٠ ثانية قوسية في القرن (شكل ١٣-٣). وقبل أن يتناول أوربان لوفرييه كوكب نبتون الذي تم اكتشافه في عام ١٨٤٦، حاول أن يفهم بإتقان سير كوكب عطارد. وعندما أصبح وجود نبتون معترفًا به أصبحت شهرة عالم الرياضيات الفرنسي واسعة. وبعد شعوره بالفخر بنجاحه — وهو أقل ما يحس به المرء — شحذ سلاحه ضد عطارد.

في عام ١٨٥٩ أعلن لوفرييه أن ٣٨ ثانية من أصل الـ ٥٦٠٠ لا يمكن أن تُنسب فقط إلى تأثير الكواكب المعروفة، في نهاية القرن التاسع عشر، ولكن القيام بحساب أكثر دقة سيصوب من حساباته: يبلغ العجز ٤٣ ثانية قوسية في القرن. ويضيف لوفرييه أن تقدم الحضيض في غير أوانه المحدد ربما يعود إلى وجود كوكب مجهول؛ لأنه قد يتوارى في بريق الشمس إذا كان قريبًا منه. وأعطى لوفرييه فورًا اسمًا لهذا الكوكب المجهول: فولكان. وسرعان ما ظهر مؤشر آخر يدعم ما قاله لوفرييه، فقد أكد طبيب ريفي، وعالم فلك في بعض الأوقات، يُدعى الدكتور ليسكاربوه أنه شاهد جسمًا مجهولًا يمر أمام الشمس. فانخرط لوفرييه المتحمس في العمل فحسب تاريخ المرور القادم لفولكان، ولكن للأسف ظل فولكان غير مرئي في الموعد المحدد وهو ٢٢ مارس ١٨٧٧، ولحق في النهاية بجسيمات لوساج في مقبرة الافتراضات الخاطئة، وظل فارق ٤٣ ثانية غامضًا طيلة أربعين عامًا.

(٦) لماذا يفتقد مذنَّب إنكي لانضباط المواعيد؟

على غرار عطارد، مثلت المذنبات بعض المشاكل لورثة نيوتن.

قبل أن يزور إدموند هالي نيوتن ويقنعه بنشر كتاب المبادئ، كان يهتم بالمذنبات. وكان نيوتن قد خصص لها فصلًا كاملًا من كتابه، أكد فيه أنها تنتمي للنظام الشمسي وأنها ترسم قطعًا ناقصًا شديد الامتداد. أما عن ذيولها التي أثارت ذعر أسلافنا، يقترح نيوتن أنها قذفات أبخرة ناتجة عن ارتفاع درجة حرارة المذنب بفعل الشمس.

سمحت قراءة كتاب نيوتن لهالي بالرجوع إلى المذنبات وتحديد مدارها، وهي مهمة صعبة؛ لأن تلك النجوم الضالة لا تكون مرئية إلا بالقرب من حضيضها. واستعان هالي بملاحظات معاصرة وماضية. وفي يوم ما لاحظ أن مدارات مذنبات ١٥٣١ و١٦٠٧ مماثلة جدًّا لمذنب ١٦٨٢ الذي درسه بنفسه. فقد استغرق الأمر ٧٦ عامًا تقريبًا بين كل ظهور وقد يتعلق الأمر بالمذنب ذاته وتعادل فترته بالتحديد ٧٦ عامًا. وإن لم يكن هالي مخطئًا فمن المفترض أن يعود هذا المذنب في ١٧٥٨، وهو مرور من الوارد جدًّا ألا يشهده إلا إذا عاش ١٠٢ عام. ويعد هذا التنبؤ دليلًا على ثقة هالي في كتاب المبادئ. وقد لاحظ جيدًا بعض التذبذبات في فترة «مذنب هالي» — نظرًا لأنه معنيٌّ بذلك المذنب — ولكنه لم يشكك في عالمية قوانين نيوتن. ففي الماضي مَرَّ المذنب بالقرب من كوكب مثل المشتري أو زحل؛ مما تسبب في اضطراب مسيرته.

من أجل إثبات صحة تنبؤ هالي، قام ثلاثة علماء رياضيات وفلك فرنسيين، وهم ألكسيس كليروه (١٧١٣–١٧٦٥) وجوزيف جيروم لوفرانسوا دي لالوند (١٧٣٢–١٨٠٧) ونيكول رين لوبوت (١٧٢٣–١٧٨٨) التي كان اسمها عند مولدها إيتابل دي لابريير؛ بحساب مدار المذنب بمساعدة العوامل التي حددها هالي. وكان ذلك بمنزلة مشروع ضخم يجسد مقدمًا المشروع الذي سيقود إلى اكتشاف نبتون، وكُلل هذا المشروع بالنجاح؛ فقد تنبأ علماء الفلك بعودة المذنب إلى الحضيض في ١٣ أبريل ١٧٥٨ موضحِين أن حساب تاريخ مرور المذنب تحوم حوله شكوكٌ بحوالي شهر. ولكن بلغ المذنب الحضيض في ١٣ مارس. وزادت ثقة كل علماء الفلك في الجاذبية الكونية بعد الاختبار الذي شهد مع ذلك حدثًا يبرز مجددًا ضعف موقف المرأة في العلوم. فعندما أصدر كليروه في ظل هذا النجاح كتاب «نظرية المذنبات»، تغاضى عن ذكر اسم نيكول رين لوبوت في قائمة الحاسبين، وهو سهوٌ سببه غيرة عشيقته في ذلك الوقت.

ومع ذلك لن تكشف المذنبات عن أسرارها بهذه السرعة.

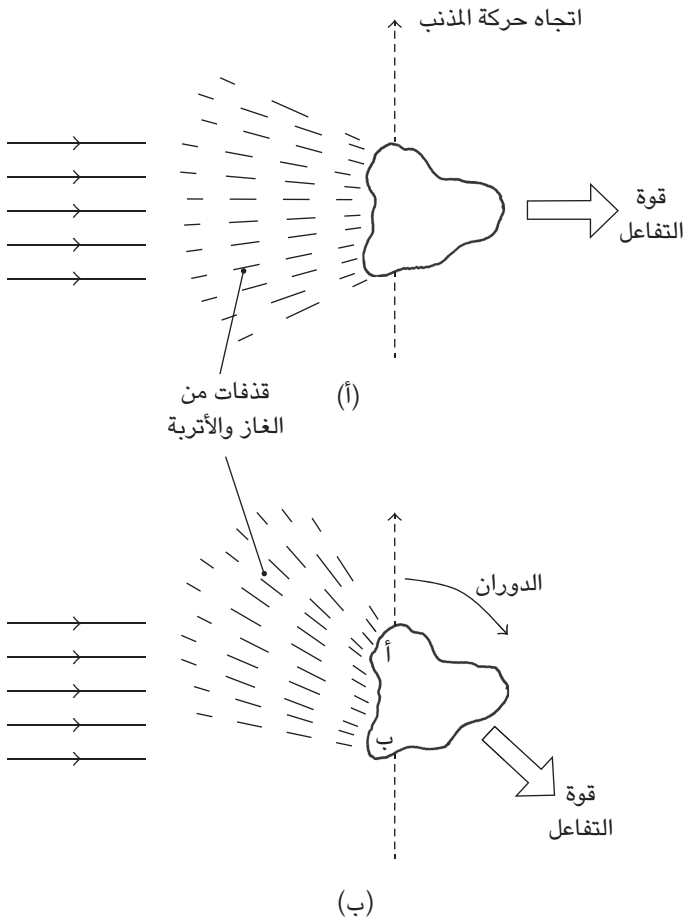
تبدأ قصة مذنب إنكي مثل مذنب هالي. فقد أدرك عالم الفلك الألماني يوهان فرانز إنكي (١٧٩١–١٨٦٥) أن أربع حالات مرور لمذنبات قد لوحظت في ١٧٨٦ و١٧٩٥ و١٨٠٥ و١٨١٨، وسببها هو مذنب واحد تبلغ فترته ٣,٣ أعوام، محققًا بذلك رقمًا قياسيًّا لأقصر الفترات المعروفة. وعندما يمر مذنب بهذه الصورة المتكررة بالقرب من الشمس، يستطيع علماء الفلك قياس العناصر المكونة لداره بدقة لا مثيل لها. وفي حالة مذنب إنكي لاحظوا شيئًا محيرًا؛ ففي كل مرور يتقدم المذنب ساعتين ونصف الساعة:

تقل فترة دورانه باستمرار. وتكشف هذه السرعة المتزايدة للمذنب أنه يتعرض لكبح دائم. ويمكن حل هذه المتناقضة بسهولة إذا لجأنا لقانون كبلر الثالث؛ فمن أجل خفض فترة كوكب أو مذنب ما يتعين خفض مسافته المتوسطة إلى الشمس التي يرمز لها طول المحور الكبير للقطع الناقص. وعندما يريد رائد فضاء على متن سفينة فضاءٍ الاقترابَ من الأرض، يدير المحركات لخفض سرعة مركبته بطول مسارها، فيجد نفسه إذن على مدار أكثر انخفاضًا ولكنه ذو التواء أسرع.

لا يعد سلوك مذنب إنكي مختلفًا، فهل السبب في ذلك هو قانون الجاذبية، أم يجب أن نقر بأن المذنب يمتلك محركات؟ ويزداد اللغز غموضًا عندما ندرك أن بعض المذنبات تتأخر بصورة منتظمة عن الحضيض، وهو ما يحدث بصفة خاصة في حالة مذنب هالي. وبعد استنتاج كل الاضطرابات الكوكبية يكون كلُّ دوران له أطولَ من الدوران السابق بأربعة أيام. وكان يتعين انتظار عام ١٩٥٠ لكي يقترح عالمُ الفلك الأمريكي فريد ويبل (١٩٠٦–٢٠٠٤) آليةً من شأنها تفسير تغير فترات المذنبات. فقد مزج بين التبخر والدوران وأكد أن المذنب هو كرة من الثلج والأتربة تدور حول محورها، وعندما يكون المذنب قريبًا من الشمس، تُقذف أبخرةٌ وأتربة نظرًا لارتفاع درجة حرارة الجهة المضيئة. ولكن يكون ارتفاع درجة الحرارة ومعدل القذف هما الأكثر ارتفاعًا على الجزء من السطح الذي كان عرضة للشمس لفترة أطول. وهنا يتدخل الدوران، فأكثر القذفات لا تكون في اتجاه الشمس ولكن تكون مائلة، بما أن اتجاهها يعتمد على اتجاه الدوران (شكل ١٣-٤). ويتسبب قذف الغاز والأتربة في إنتاج قوة تفاعل تكبح المذنب أو تسرعه وفقًا لاتجاهها. فليس قانون الجاذبية هو المسئول! وعلى الرغم من إضعاف موقف قانون الجاذبية لفترة بفعل السلوك الغريب للمذنبات، فإنه خرج معززًا من الجدل الدائر.

(٧) ذروة نظرية نيوتن

هل يمكن أن نَصِفَ بِالبالِيَةِ نظريةَ جاذبيةٍ تفسِّر حركةَ كلِّ أجسام النظام الشمسي حتى حركة القمر، على الرغم من تعقيداتها، فقط بحجة أن حضيض عطارد يتقدم بسرعة ما؟ فذلك غير مقبول، لا سيما أن الحسابات في هذه الحالة تعد طويلة وصعبة، ولا يمكن أن تتحقق إلا بعد القيام بتقريبات عديدة لا تكون صحتها مضمونة دائمًا. فيعد الاتفاق بين القيمة الملحوظة والقيمة المحسوبة مشجعًا بالطبع، ولكنه قد لا يكون إلا وليد الصدفة. وفي المقابل لا يُثبت الاختلافُ بينهما بالضرورة أنه يتعين استبعاد النظرية المستخدمة.



شكل ١٣-٤: عندما يكون المذنَّب قريبًا من الشمس، تظهر قذفات من الأبخرة والأتربة على الجهة المضيئة، وتصحبها قوةُ تَفاعُلٍ تقابلها مباشرةً. ويمكن لهذه القوة أن تُغير بصورةٍ قليلة شكلَ مدار المذنب، ولكن لا تُغير فترته (أ). وإذا دار المذنب حول محوره، فلا يظل ارتفاع درجة الحرارة متجانسًا على الجهة المضيئة. ويكون الجزء الذي يستعد للدخول في الظل هو الأكثر حرارة، وهنا تكون كثافة القذفات أكبر. وبما أن قوة التفاعل لم تعُد في الجهة المقابلة لاتجاه الشمس، تبدأ في إبطاء حركة المذنب بطول مداره (ب). وإذا كان الدوران يتم في الاتجاه المعاكس، فقد يسرع التفاعل من الحركة.

بدت نظرية الجاذبية الكونية في نهاية القرن التاسع عشر خالدة، ولا يمكن لتقدم حضيض عطارد أن يزعزع استقرارها. ولكن كان البعض لا يزال يشعر بضيق غامض مرتبط بهذا التأثير الغريب الذي يحكم عن بُعد حركةَ الأجرام السماوية. فكيف يمكننا التغاضي عن هذه الفضيحة الفكرية الحقيقية؟

يعتاد الإنسان على كل شيء، فيمكننا إذن التعود على هذا المفهوم الغريب. وعلى أي حال عندما تُعيد نظريةٌ ما إنتاجَ هذا الكمِّ الهائل من الظواهر، فليس من الحكمة أن نغيرها. فمن الحقيقي أنه من وجهة النظر الفلسفية يبدو التأثير عن بعد غيرَ معقول، ولكن مَن نحن لنحكم على غرابة قوانين الكون؟

(٨) الجسيمات القادمة من عالَم آخر تنمو من جديد

كان بوانكاريه قد وجَّه ضربة قاضية لجسيمات لوساج، فهي ليست سبب التجاذب. ولكن يجب ألا نخلط بين الجيد والرديء وبين مفهوم الجسيمات القادمة من عالَم آخر ونظرية لوساج. فمثلما تستطيع بذرة القمح التي أُلقيت بإهمال في الفجوة أن تَنبُت بعد عدة سنوات في أرض أكثر خصوبة، فإن الجسيمات ستظهر من جديد من العدم في سياق مختلف تمامًا.

في ٤ ديسمبر ١٩٣٠ عُقد مؤتمر في توبنجن، وكان مخصصًا للأنشطة الإشعاعية. ولم يحضر هذا المؤتمر الفيزيائيُّ السويسري الكبير ذو الأصول النمساوية فولفجانج باولي (١٩٠٠–١٩٥٨) الحائز على جائزة نوبل عام ١٩٤٥؛ فقد ظل في زيورخ بسبب حفلة رقص طلابية؛ فكان قد انفصل عن زوجته مؤخرًا وكان يشعر بالوحدة القاتلة. ولكي يعوض غيابه عن المؤتمر، أرسل إلى المشاركين رسالةً بدأت بهذه الكلمات: «السيدات والسادة، أصدقائي المشعِّين.» وفي هذه الرسالة اكتشف باولي لغزًا كان يشغل بال كل المتخصصين في النشاط الإشعاعي في ذلك الوقت.

منذ اكتشاف النشاط الإشعاعي، الذي كان يعود إلى أكثر من ثلاثين عامًا في وقت هذا المؤتمر، أدرك العلماء أن سبب الظاهرة هو عدم استقرار بعض النوى. ففي أثناء انشطارها تطلق جزيئاتٍ تنتمي لفئات مختلفة نَنسب إليها الحروف اليونانية α وβ وγ؛ نظرًا لعدم وجود بديل أفضل.[٨] وبعد انشطارها تُغيِّر النواة طبيعتها أو حالتها. وفي حالة النشاطين الإشعاعيَّيْن α وγ «تحتفظ» النواة بالطاقة. فعندما نقيس طاقة النواة

قبل الانشطار نجدها مساوية لمجموع طاقة كلٍّ من النواة الجديدة والجسيم الناتج. فيعد ذلك صدًى للمقولة الشهيرة التي تقتصر بالطبع على الطاقة فقط:

> لا شيء يضيع، لا شيء يُخلق بل كل شيء يتحول.

التي قالها لافوازييه أحد مؤسسي الكيمياء.[٩] ولكن يبدو النشاط الإشعاعي β استثناءً؛ فبعد الانشطار يختفي جزء من الطاقة.

وكان هذا الاختفاء تحديدًا هو ما يشغل بال باولي.[١٠] فكان يعتقد أن اللغز صعب وأصرَّ على «خطورة الوضع»، وأشار بسخرية إلى ملاحظة لزميله بيتر دبي: «إنها مثل الضرائب الجديدة، من المستحسن عدم التفكير فيها على الإطلاق.»[١١]

وبدلًا من اتباع نصيحة زميله لم يكفَّ باولي عن التفكير في المشكلة. وللخروج من المأزق كتب رسالة إلى المشاركين في المؤتمر. وفي هذه الرسالة يقترح باولي وجود جسيم مجهول أسماه «النيوترون»، الذي أخذ لاحقًا اسمه الحالي «النيوترينو».[١٢] وقد يحمل هذا الجسيم الشبحي معه الطاقة الخفية. وإذا لم يكن أحد قد اكتشفه حتى ذلك الحين، فذلك يعني أن دراسته صعبة للغاية لسبب غير معروف. وطلب باولي من «أصدقائه المشعِّين» التفكير في طريقة كشف فكرته الوليدة والسبب على حد قوله: «لا أجرُؤ حاليًّا على نشر فكرة مماثلة، أفضِّل أن أخاطبكم في سرية.»

(٩) هل يُحتفَظ بالطاقة؟

ردًّا على هذا اللغز أنكر بعض الفيزيائيين المبدأ «المقدس» للاحتفاظ بالطاقة الذي استغرق إعداده في القرن التاسع عشر وقتًا طويلًا، فكانوا على استعداد أن يقرُّوا بأنه في حالة النشاط الإشعاعي β يختفي جزء من الطاقة خلال الانشطار لسبب غير مفهوم. ولكن انتهج باولي سبيلًا آخر وظل متمسكًا بمبدأ الاحتفاظ بالطاقة الذي ينطبق على كل مجالات الفيزياء، والذي لم يظهر حتى الآن أيُّ استثناء له. ولتفسير اختفاء جزء من الطاقة تساءل باولي إن كان هذا الجزء قد طار مع جسيم لم يشاهده أحد من قبل، واقترح أنه خلال الانشطار يكون الإلكترون الناتج مصحوبًا بجسيم، ألا وهو النيوترينو، والذي يتقاسم معه الطاقة التي فقدتها النواة. ويبقى فقط أن نفهم لماذا لم يلاحظ أحد آثار ذلك الجسيم الشبحي.

وبافتراض أن الجسيم المجهول غير مشحون نتيجة للاحتفاظ بالشحنة الكهربائية، فبعد أي تفاعل كيميائي أو أي انشطار لا تختلف الشحنة الكهربائية الكلية أبدًا. وبالإضافة إلى ذلك فإذا كان الجسيم الشبحي مشحونًا فقد يمكننا كشفه بسهولة، ولكن الخصائص الأخرى التي ينسبها باولي للنيوترينو تعد أكثر إثارة للشك؛ فإن كتلته ضعيفة جدًّا، ويمكنه أيضًا عبور المادة دون اعتراض سبيله.[١٣]

كان الأمر يتطلب شجاعة كبيرة لإيجاد جسيم جديد من العدم. وكان باولي مجبرًا على أن ينسب إلى هذا الجسيم الشبحي خصائص تجعل كشفه عبر التجربة صعبًا بل مستحيلًا، فوضَع نفسه هكذا في موقف معقد. وبدلًا من أن يقر بأن النشاط الإشعاعي β يخالف الاحتفاظ بالطاقة، اخترع باولي جسيمًا من شأنه عبور الجدران، مثل بطل القصة القصيرة «عابر الجدران» لمارسيل إيميه. ونتفهم تردُّد باولي في نشر فكرته ... ولكن تراكمت المعطيات تدريجيًّا، وظهرت مؤشرات جديدة تؤيد هذا الجسيم المتلاشي. فالتزم بعض الفيزيائيين الذين يتحلَّون بالشجاعة بمهمة كشْف هذا الجسيم، وكانت المهمة صعبة لأن النيوترينو سريع الزوال بصورة أكبر مما يمكن لباولي أن يتخيلها.

نعرف اليوم أن كتلة النيوترينو إن لم تكن معدومة فهي لا تبلغ جزءًا واحدًا من أصل مائة ألف جزء من كتلة الإلكترون. فإن ما يجعل التقاط النيوترينوات عشوائيًّا هو أنها على غرار جسيمات لوساج تنغمس في الأرض؛ ليس كما لو كانت مسامية، بل كما لو أنها ليس لها وجود. ونظرًا لكونه أكثر تحركًا من بطل «عابر الجدران» يعبر النيوترينو الجبال، فهو لا يرى في الأرض إلا قطعة من الفراغ.

إن مثل هذا الجسيم الذي لا يُدرَك لا يكون التقاطه سهلًا. فإذا كان يعبر الأرض بهذه السهولة فمن غير الوارد أن يستطيع الجهاز الكاشف الإمساك به. ولكن حتى إذا كانت هذه الفرصة ضئيلة للغاية، فهي ليست معدومة تمامًا. ويمكن التقاط بعض هذه الجسيمات، شريطة أن يكون عدد النيوترينوات التي تمر أمام الجهاز الكاشف كبيرًا بدرجة كافية. وكان أولُ من نجح في ذلك عالمي فيزياء أمريكيين، وهما فردريك رينس (١٩١٨–١٩٩٨) وكلايد كوان (١٩١٩–١٩٧٤)، فكانا يستوقفان النيوترينوات في وعاء تملؤه ٤٠٠ لتر من المياه التي يُضاف إليها كلوريد الكادميوم. وبواسطة جهاز معقد أظهرا «الحوادث» القليلة التي تقع خلال يوم، والتي تتلاءم مع امتصاص النيوترينو. أما عن سيل النيوترينوات، فقد أنتجه مفاعل سافانا ريفر في جورجيا. فبالقرب من المفاعل يعد هذا السيل أكثر أهمية من ذلك الذي ترسله الشمس.[١٤] ومن ثم تم إعداد

الأجهزة الكاشفة بإتقان ووُضعت تلك التي تلتقط النيوترينوات الشمسية في قاع المناجم، فالجسيمات الأخرى تصل بصعوبة إلى قاع المناجم؛ مما يُبعِد أي حيرة.

(١٠) النيوترينوات الشمسية

في النهار تكون الشمس سيدة الكون، ويحجب التوهج الضوئي الأجرام السماوية الأخرى ما عدا القمر. وفي الليل نرى الكواكب والنجوم الأكثر بريقًا. وقد أثرى ظهورُ النظارات والتليسكوب بصورة أكبر مجالَ رؤيتنا. ولكن لا يمثل الضوء المرئي إلا جزءًا ملائمًا من طيف الموجات الكهرومغناطيسية الذي يعبر موجات الراديو إلى الإشعاع، مرورًا بالأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية وأشعة X. وبطول الطيف تحتفظ الموجات الكهرومغناطيسية بوحدة عميقة، فهي لا تختلف فيما بينها إلا في التردد أو ما يفضي في النهاية إلى النتيجة ذاتها وهو طاقة الضوء (الفوتون) الذي تنقله كله بالسرعة ذاتها c. ويمكن اعتبار الموجة الكهرومغناطيسية اندفاعًا للضوء. فكان من الضروري ابتكار تليسكوبات جديدة لكشف هذه الموجات التي لا تراها أعيننا، فقد توسعت نظرتنا للكون بالقدر ذاته.

وباعتباره نوعًا من الإلكترون المجرد من الشحنة الكهربائية، يختلف النيوترينو بصورة كبيرة عن الفوتون، ولكن لا يمنعنا هذا الاختلاف بين هذين الجسيمين من التفكير في تليسكوب لا يلتقط الفوتون بل النيوترينوات القادمة من الفضاء، ولا سيما تلك التي ترسلها الشمس في صفوف متراصَّة. فإن ما يجعل النيوترينو فريدًا من نوعه في فهم نجمنا هو أنه يتولَّد في مركزه في المكان الذي يتحول فيه الهيدروجين إلى هيليوم. وبمجرد ظهوره يعبر النيوترينو الشمس بسرعة الضوء c. ونادرًا ما يتم التقاطه في أثناء مروره مثلما يكون التقاطه نادرًا أيضًا عند مروره بالأرض أو بإحدى أدواتنا. وبطبيعة الحال يخرج سليمًا من الشمس في أقل من ثلاث ثوانٍ، فهو إذن رسول مفضل من داخل نجمنا. ويقوم الضوء المشع على سطح الأرض بالأمر ذاته؛ فهو يحمل معه ذكرى حالة الطبقات الخارجية لنجمنا ولا سيما درجة حرارتها.

في المتوسط يستقبل سطح الأرض كل ثانية ٦٥ مليار نيوترينو شمسي لكل سنتيمتر مربع. وتساهم بشرتنا في هذا الأمر بامتصاصها لسيل النيوترينوات. وقد يكون أول ما يفكر فيه القارئ المعنِي بصحته هو ارتداء ملابس ثقيلة والنزول إلى قاع منجم، وهو ما يعد حذرًا مفهومًا ولكنه وهمي بصورة كبيرة. فبما أن النيوترينوات تخترق

بسهولة بالغة الصخور الأكثر سمكًا، فلا يمكننا الهروب منها حتى إذا كان البئر يتغلغل حتى حدود القشرة الأرضية. فعلى العكس تعد قدرتها الهائلة على الاختراق هي التي تحمينا، فالنيوترينو لا يسبب أي أضرار عندما يعبر جسدنا. فعلى غرار الموجات الضوئية غير القادرة على رفع درجة حرارة الفراغ الذي يفصل بين الشمس والأرض، لا يؤذي النيوترينو جلدَنا الذي يُعتبر أكثر شفافية بالنسبة له من شفافية الفراغ بالنسبة للضوء. وإذا كان يتعين علينا أن نخشى من أشعةٍ ما، فهي بالأحرى الأشعة فوق البنفسجية التي تتسبب في جروح بالغة عندما تلامس بشرتنا.

لا تتساوى النيوترينوات فيما بينها، فبعضها يشهد بما كان عليه الكون بعد ثانية من الانفجار العظيم الذي كان سببًا في خلق الكون، ويحتفظ بالذكرى مثلما تحتفظ النيوترينوات الشمسية بأثر التفاعلات النووية التي تحدث في مركز الشمس. ولكنه للأسف لا يهمنا على الأقل حاليًّا؛ لأنه لا أحد يعلم كيفية التقاطه. وبما أنه يأتي من بعيد جدًّا، وبما أنه عبْر كل أنحاء الكون؛ فإنه يكون هو الأكثر تشابهًا مع الجسيمات القادمة من عالم آخر التي عبَّر عنها لوساج.

يمكن لحسن الحظ كشْف النيوترينوات الشمسية بسهولة أكبر، ولكن يمكن التقاط نيوترينو شمسي واحد فقط في المتوسط من بين ألف مليار نيوترينو، بينما تواصل النيوترينوات الأخرى طريقها كما لو أن كوكبنا لا وجود له، وهو ما يتخطى بصورة كبيرة تقديرات لوساج، فكان يتخيل أن الأرض تستوقف جسيمًا واحدًا كل عشرة ملايين. وعلى الفور بعد تكوُّن النيوترينو الشمسي في مركز الشمس، يحمل معه طاقة مميزة للتفاعلات النووية التي كانت سببًا في تكونه.[١٥] وإذا تم التقاط أحدها داخل الأرض، يعطيه دفعة صغيرة. وفي نظرية لوساج كان ذلك هو ما تقوم به الجسيمات القادمة من عالم آخر، ولكنها كانت تأتي كالسَّيل المستمر من كافة أنحاء الفضاء، وكان ذلك شرطًا أساسيًّا لكي يَظهر تجاذب بين الأجرام السماوية. ولا تستوفي النيوترينوات الشمسية هذا الشرط، فكما يشير اسمها، تأتي كلها من الشمس في صفوف متراصَّة وتشكل حزمة موازية تشبه أشعة الشمس.[١٦]

(١١) مدح النيوترينوات

تستحق النيوترينوات كل اهتمامنا؛ فبفضل قدرتها الهائلة على الاختراق، تساهم في معرفتنا للشمس، وتشهد أيضًا على الموت العنيف لبعض النجوم التي ينهار بعضها على

بعض. ويصاحب هذه الكارثةَ انفجارٌ ضخم يتضح عندما يُلاحَظ على الأرض بظهور «نجم جديد» ذي بريق هائل، ومن هنا يأتي اسم «المستعر الأعظم» الذي أُطلق على هذه الظاهرة. ويمكن أن يتخطى بريقُ المستعر الأعظم بريقَ المجرة التي ينتمي إليها. وبعد عدة أشهر يختفي النجم الجديد تدريجيًّا. وإذا وجَّهنا بعد ذلك تليسكوبًا في اتجاهه، فسنكتشف أحيانًا وجود «نجم نابض» يكون مصدرًا لإشارة دورية شديدة السرعة نفسرها على أنها «نجم نيوتروني»، وهو نجم كثيف مثل النواة الذرية. ويمكننا أيضًا ملاحظة سحابة غاز وأتربة تتمدد وتجرف معها بواقي الانفجار. ولكن في ٢٣ فبراير ١٩٨٧ ظهر مستعر أعظم في سماء شيلي وسط سحابة ماجلان الكبرى، والتي تبعد بـ ١٥٠٠٠٠ سنة ضوئية. وفي اليابان سجل جهاز الكشف تحت الأرضي كاميوكاندي في الوقت ذاته تقريبًا آثار عشرات الأحداث المتزامنة، التي نتجت عن مرور سيل من النيوترينوات التي غادرت النجم وقت الانفجار قبل ١٥٠٠٠٠ عام.

تُخفي هذه الجزيئات الفريدة ألغازًا أخرى، فإن كلًّا منها ينتمي لأحد الأنواع الثلاثة المعروفة للنيوترينوات، أو كما يقول الفيزيائيون إحدى «النكهات» الثلاث المختلفة للنيوترينو. وترتبط كل نكهة بأحد الجزيئات المشحونة الثلاثة؛ وهي إلكترون وميون وتاو.[١٧] ومن المعترف به أن النيوترينو خلال رحلته الفضائية يغيِّر باستمرار من نكهته، وهو ما يسميه الفيزيائيون في هذه الحالة «اهتزاز النيوترينوات». وبقدر ما يبدو ذلك عجيبًا، يمثل وجودها دليلًا على أن كتلة النيوترينوات ليست معدومة، وأنها تختلف حسب كل نكهة، وتظل هذه الكتل ضعيفة للغاية مقارنة بكتلة المكونات الأخرى للمادة، حوالي واحد على مليون من كتلة الإلكترون. وفي المتوسط لا يحتوي السنتيمتر المربع من الكون إلا على ٣٠٠ نيوترينو. ولكننا نقر مع ذلك بأن الكتلة الكلية للنيوترينوات التي يحتوي عليها الكون تساوي الكتلة «المرئية» الكلية، والتي يمكن ملاحظتها بواسطة أدواتنا المختلفة ...

الفصل الرابع عشر

الدلائل على حركة الأرض

(١) الحياة على كوكب الزهرة

يوجد سبب واضح لعدم وجود سكان لكوكب الزهرة، فالحياة بالمعنى الذي نقصده عندنا قد لا يمكن تحملها البتة هناك. فعلى سطح هذا الكوكب التوءم لكوكب الأرض — بما أن حجميهما وكتلتيهما متشابهان — يرتفع متوسط درجة الحرارة إلى ٤٨٠°، ويبلغ الضغط ٩٠ ضعفًا لضغط الغلاف الجوي الأرضي، فيوجد احتباس حراري رهيب، وتقع المسئولية بوضوح على الغلاف الجوي الذي يتكون ٩٠٪ منه من ثاني أكسيد الكربون. ولنتخيلْ في هذه الظروف أنه يوجد سكان لكوكب الزهرة — وهو محتمل — يعيشون في كهوف طبيعية واسعة وعميقة تحميهم من جهنم التي قد يلاقونها إذا خاطروا بالخروج إلى السطح.

ولأسباب لم ينجح علماء الزهرة في إيضاحها، يعيش هؤلاء بسهولة في الكهوف مشكلين تحت السطح شبكة واسعة تربطها ممرات طويلة. ولنتخيل أيضًا أن درجة الحرارة والضغط رائعان تحت السطح، ولنفترض أخيرًا أنه عندما يحاول سكان الزهرة حفر الصخور وإقامة أنفاق رأسية يتعين عليهم التراجع سريعًا بما أن درجة الحرارة والضغط يرتفعان كلما اقتربنا من السطح. ففي هذه الظروف يجهل سكان الزهرة تمامًا ما يدور فوق رءوسهم بما أنهم محاصرون بصورة أبدية تحت سطح الكوكب.

من أجل فهم أفضل لتطور العلوم المتعلقة بكوكب الزهرة، يمكن ببساطة حضور المؤتمر الذي يعقده ناشر كبير للمعرفة يُدعى البروفسور تريبو سفير (هو البروفسور هيوبرت ريفس (Hubert Reeves ولكن بحروف مقلوبة)). ففي كهف عميق تحت سطح الزهرة تحدث أمام حشد كبير فهو متخصص في الكونيات، وبما أنه لا وجود لعلماء فلك على كوكب الزهرة، فذلك يعني أنه يتساءل حول طبيعة البيئة المحيطة به

وخصائصها، بالإضافة إلى الكتلة الصخرية التي حُفرت فيها الكهوف. وذَكَّر تريبو سفير مستمعيه بالتطور الأخير لعلم الكونيات المتعلق بكوكب الزهرة.

(٢) علم الكونيات المتعلق بكوكب الزهرة

بدأ مؤتمر البروفسور سفير بعرض سريع لمختلف وجهات النظر، إذا افترضنا أن هذه الكلمة تحمل معاني على كوكب الزهرة.

«تعرفون جميعًا كيف تطورت الفيزياء على سونيف وإلى أي درجة من التعقيد وصلت، ويرجع الفضل في ذلك إلى نتوين الكبير[١] الذي أعد قوانين الحركة التي استطاعت بفضلها العلوم الدقيقة أن تخطو خطوة كبيرة. وفيما يتعلق بعلم الكونيات، فأنتم تعرفون ما حدث، فإن الموجات الزلزالية التي تنجم عن كل هزة لسونيف تخبرنا بمعلومة قيمة عن هيكل الكوكب، فهكذا قُمنا باكتشاف كبير، فإن سونيف كرة أصبحنا نعرف قطرها، وهو لا يمثل الكون بأكمله؛ ربما يوجد شيء آخر فيما وراء سطحه.

لست في حاجة إلى أن أذكِّركم بالمشاعر التي أثارها هذا الاكتشاف، ولإثبات غرابته قام الفلاسفة بسلسلة غير متناهية من القياسات. وطالب قادةُ أقوى دولتين على سونيف بامتلاك جزء الكون الذي يقع خارج الكوكب. أما عن كبار رجالِ أهمِّ ديانتين، فقد أكدوا أن الأمر مستحيل بما أنه يتعارض مع الكتب المقدسة لكلٍّ منهم الليجنا والنارق (الإنجيل والقرآن ولكن بحروف مقلوبة). ولكن ماذا نقول عن ردود الفعل الانفعالية التي أثارها ثاني أكبر اكتشاف في علم الكونيات؟

لم يكن الجدل الدائر حول كروية كوننا قد انتهى بعد في الوقت الذي أعلن فيه فريق من المجربين الماهرين نبأً لا يُصدق. فوفقًا لما قالوه لا يعد سونيف كرويًّا فقط، بل يدور حول محور ثابت يمر بمركزه. وقد أصبحت اليوم حقيقةُ الدوران مؤكدةً فيتعين انتظار ٣٤٢ يومًا لكي يقوم الكوكب بدوران كامل.[٢]

تعرفون مثلي أن ردود فعل الشعوب كانت شديدة، فقد أحرق متطرفون من اليمين المختبر الوطني، واتهموا الباحثين بتوجيه ضربة غير مسموح بها للثقافة التقليدية والرغبة في إخضاع الأمة للأهداف الفاسدة للعلوم اليسارية. واتهموا أيضًا من يختلفون معهم بالاستفادة من الموقف، فاحتجزوهم في معسكرات اعتقال وصادروا ممتلكاتهم.[٣] وفي الوقت ذاته خطفت عصابات من اليسار المتشدد باحثين كرهائن وأدانوهم بإخضاع الطبقة العاملة لعلوم برجوازية ورجعية وإفساد نظام البروليتاريا وتعليم مفاهيم

متعارضة مع فلسفة سكرام. ونظرًا لاقتناعهم بأن بعض المختلفين الذين لا يزالون أحرارًا كانوا يلعبون دورًا مهمًّا في هذا الشأن، فقد استولوا على آخِر ممتلكاتهم واعتقلوهم. أما عن الحزب الأخضر فقد اتهم الحكومة بالتسامح لأنه يرى أن دوران الكرة يهدد بحدوث ارتفاع في درجة حرارة الكون بصورة كارثية.

وكان العلماء وحدهم هم من فرحوا بالنبأ، وقد اكتفَوا بطرح السؤال الوحيد ذي الصلة:

سونيف يدور. فليكن، ولكن حول أي شيء يدور؟»

نستطيع، نحن الذين نحظى بفرصة الحياة على سطح كوكب الأرض، أن نعطيهم إجابة أولية. فإن الغلاف الجوي لكوكبنا شفاف بدرجة كافية تسمح لنا برؤية ما يدور فوق رءوسنا، وهو ما يعد ميزة لا جدال عليها نتميز بها عن سكان الزهرة، فنحن نعرف أكثر منهم حول الكون والمكانة التي يحتلها كوكبنا، وأيضًا علم الكونيات لدينا أكثر ثراءً منه على الزهرة، ويتضمن أحداثًا قاتمة للغاية مثل محاكمة جاليليو.

وفيما يلي ردنا: نمتلك الدليل التجريبي على أن الأرض، على غرار الزهرة، تدور نسبة إلى القبة السماوية؛ هذه اللوحة المليئة بالمسامير المضيئة؛ أي النجوم الثابتة. وطالما ظلت هذه الإجابة غامضة فترات طويلة، فهل الأرض هي التي تدور حول محورها كما كان يرى كوبرنيكوس، أم أن القبة السماوية هي التي تدور في الاتجاه المعاكس مثلما كان يؤكد أرسطو والبابا أوربان الثامن (الفصل السابع)؟ فلو كانت الإجابة بديهية لما أُدينَ جاليليو لتأييده لكوبرنيكوس. يستحق الأمر إذن مشقةَ تناول حركة الأرض من جديد، حتى لو كان إيجاد الدلائل التجريبية قد فقدَ طابعه الطارئ بعد صدور كتاب المبادئ.

(٣) أول دليل تجريبي على حركة الأرض

تتألف حركة الأرض من دوران حول الشمس — ويُسمى حركة انتقالية — ودوران حول محور ذي اتجاه ثابت إلى حد ما. ويخبرنا التاريخ أن الدليل على دوران كوكبنا حول الشمس قد أتى أولًا ويرجع الفضل فيه بنسبة كبيرة إلى الصدفة.

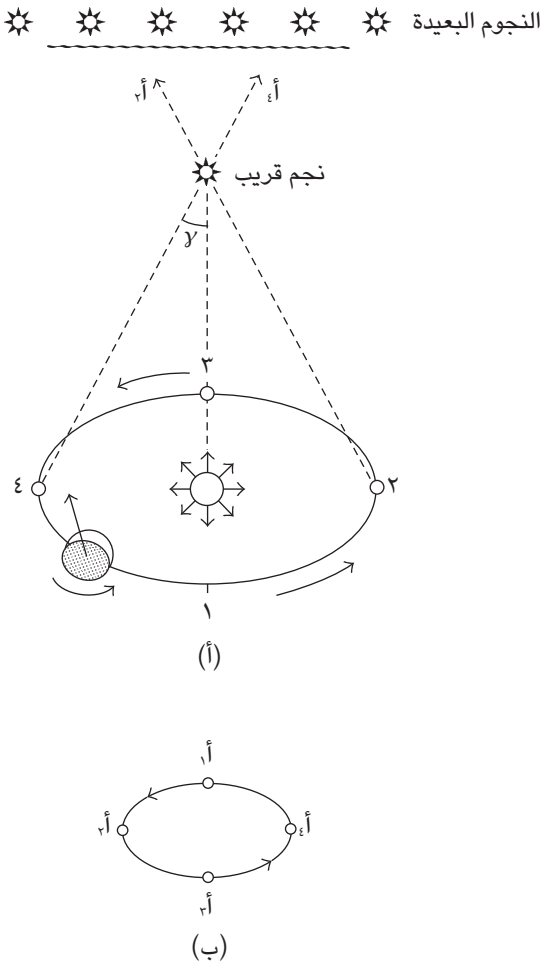
شهد القرن الثامن عشر محاولات عديدة لتحديد قيمة الوحدة الفلكية، ولا سيما عبر طريقة حالات المرور (الفصل الثاني عشر). وفي المقابل عندما نخرج من النظام

الشمسي لا يمكن التفكير في المرور؛ فالنجوم بعيدة بصورة أكبر، فيتعين إذن أن نعود لطريقة زاوية الاختلاف (شكل ١٢-٢) شريطة تغيير قاعدة التثليث. فإن قطر الأرض ضئيل جدًّا في هذا الاستخدام، فيتعين أن يُستبدل به قطر المدار الأرضي؛ فهو أكبر ٢٠٠٠٠ مرة (شكل ١٤-١أ)، وهو ما يعني أنه من أجل تحديد زاوية اختلاف نجمٍ ما، يجب أن نستهدف مراقبته خلال دوران الأرض الكامل حول الشمس، فإذا كان النجم قريبًا بدرجة كافية، فسيرسم قَطعًا ناقصًا صغيرًا على القبة السماوية وستكون مجموعة النجوم البعيدة بمنزلة خلفية (شكل ١٤-١ب).

لا يتم ابتكار هذه الطريقة إلا عن اقتناع بحقيقة دوران الأرض حول الشمس! ويعد مبدؤها بسيطًا لكنها لم تثمر عن نتيجة في القرن الثامن عشر. فقد كانت محاولات قياس زاوية الاختلاف النجمية عديدة، ولكن كانت النجوم بعيدة جدًّا.

في عام ١٧٢٥ وضع عالمُ فلكٍ هاوٍ وثريٌّ يُدعى صمويل مولينو تليسكوبًا في منزله في كيو بالقرب من لندن، ووقع اختياره على نجم «جاما التنين»[٤] لقياس زاوية اختلافه، ولم يكن هذا الاختيار وليد الصدفة. فعندما يمر هذا النجم بخط زوال لندن لا يكون بعيدًا جدًّا عن سمت الرأس؛ مما يقلل بصورة كبيرة أثر الانكسار الجوي. ودعا مولينو صديقه جيمس برادلي إلى القيام هو الآخر بملاحظات. وعلى غرار نيوتن وتشارلز داروين وغالبية زملائه الإنجليز، دَرَسَ عالم الفلك الإنجليزي جيمس برادلي (١٦٩٣–١٧٦٢) علم اللاهوت، ولم يختلف عن العلماء الإنجليز الآخرين إلا باختيار مكان دراسته؛ وهو جامعة أكسفورد بدلًا من جامعة كامبريدج. وقد وصفه معاصروه بأنه رجل نزيه وعطوف ومدبر وزاهد وزوج جيد وأب جيد. لا تنمُّ هذه الصفات عن حياة مليئة بالمخاطر، وإذا استثنينا اكتشافاته فلا يوجد ما يُقال عنه، ولكن اصطدم برادلي بالمخاطر في نشاطه كعالم فلك.

عندما انضم باردلي إلى أبحاث مولينو لاحظ تحركًا بسيطًا لجاما التنين الذي يرسم من شهر إلى آخر قطعًا ناقصًا صغيرًا على القبة السماوية. وللوهلة الأولى كان عالما الفلك بالطبع مقتنعَين أن الأمر يتعلق بزاوية الاختلاف، ولكن أزعجتهما نقطة ما بصورة كبيرة؛ فعندما حاولا تكرار العملية على النجوم الأخرى لاحظا التأثير ذاته، وكان القطع الناقص أيضًا بالحجم ذاته.[٥] فإذا كانا يلاحظان حقًّا تأثير زاوية اختلاف، فقد يعني ذلك أن الشمس تحتل في الكون مكانة خاصة جدًّا يصعب توفيقها مع قوانين الجاذبية؛ فقد تكون كل النجوم مثبتة على دائرة تحتل الشمس مركزها. وقد يمثل هذا النوع الجديد من نظرية مركزية الشمس للكون عودةً إلى الوراء لقرون عديدة.



شكل ١٤-١: من أجل قياس مسافة النجوم الأكثر قربًا، نحدد زاوية اختلافها باستخدام المدار الأرضي كقاعدة للتثليث. فعندما تُتم الأرض دورانها السنوي الذي ترمز له نقاط ١ و٢ و٣ و٤ (أ) يمر النجم المستهدف على القبة السماوية بنقاط أ١ وأ٢ وأ٣ وأ٤ (ب). ويسمح قطر المسار الظاهري للنجم أ بحساب قيمة زاوية اختلافه γ. وتكون النجوم الأكثر بعدًا بمنزلة خلفية. ويتطابق وضع الشكل مع نجم يقع في اتجاه الخط العمودي على سطح دائرة البروج.

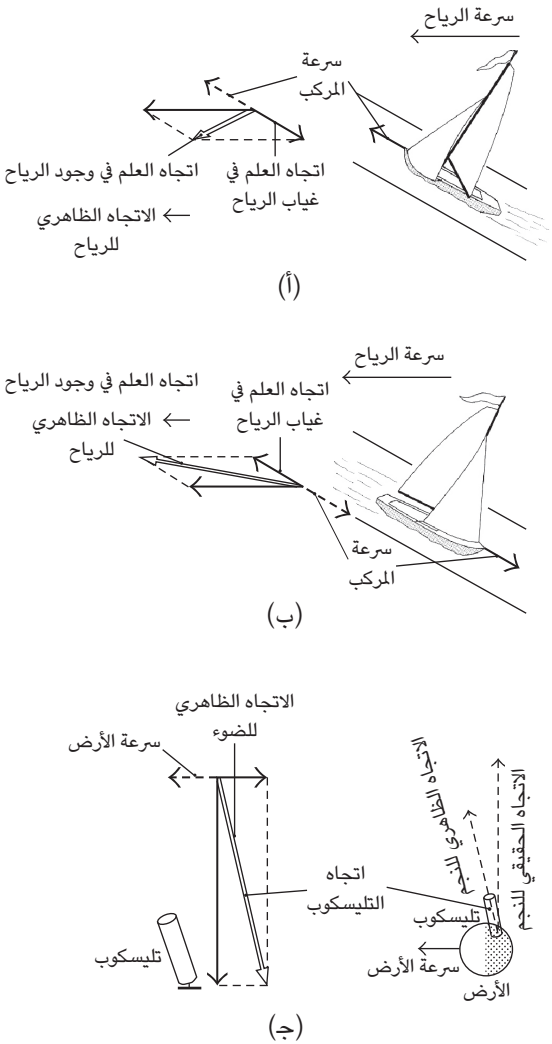
في عام ١٦٦٩ كان هوك قد قام بملاحظة مماثلة عندما أراد قياس زاوية اختلاف جاما التنين. وفي هذا التاريخ لم يستطع تفسيرَ ذلك بوضوح ولكنه سجله بدقة. وقد طمأن هذا الظرف برادلي الذي تحقق في غضون ذلك الوقت من أن الملاحظات التي قام بها برفقة مولينو ليست ناتجة عن عيب في الأجهزة المستخدمة. فيبقى إذن تفسيرها.

كانت الصدفة حليفة برادلي في اليوم الذي رافق فيه مجموعة من الزائرين المتجولين في نهر التيمز. وفي خلال الرحلة قام المركب عدة مرات بنصف استدارة. وكان يوجد علم يرفرف أعلى الصاري للإشارة إلى اتجاه الهواء. ولاحظ برادلي أنه عند كل استدارة يتغير اتجاه العلم فجأة. وبما أن البحارة قد أكدوا له أن الرياح لم تغيِّر اتجاهها، استنتج برادلي أن اتجاه العلم يكون نتيجة لسرعات كلٍّ من الرياح والمركب.[٦]

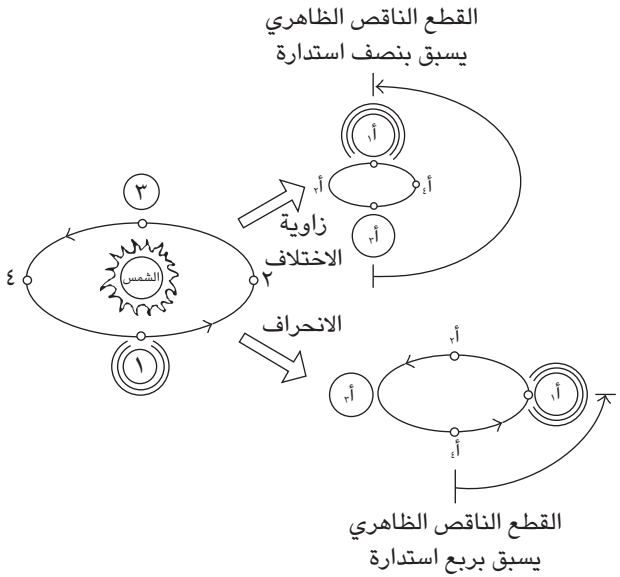
نقل برادلي هذه التجربة إلى المشكلة التي تؤرقه؛ فتخيل أن يستبدل بالقاربِ الأرضَ وهي السفينة التي نبحر عليها جميعًا، واستبدل بالرياحِ الحزمةَ الضوئية الموازية التي يشعها جاما التنين.[٧] ولرؤية النجم يتعين أن يصطف التليسكوب على ناتج سرعة الحزمة الضوئية وعكس سرعة الأرض (شكل ١٤-٢). وبما أن كوكبنا يتحرك بسرعة ٣٠ كيلومترًا في الثانية على مدار مغلق، فيتغير اتجاه التليسكوب خلال السنة ويرسم النجم قطعًا ناقصًا على القبة السماوية.

يمثل اكتشاف برادلي أول «إثبات تجريبي لصحة نظام كوبرنيكوس»، وهو يعتمد على ظاهرة بصرية يعرفها جيدًا علماء الفلك اليوم؛ وهي الانحراف الضوئي الذي لا يزال موجودًا بما أن هذه الظاهرة لا تعتمد إلا على توازي الأشعة الصادرة عن النجم وحركة الأرض.[٨]

لا يوجد خطر للخلط بين زاوية الاختلاف والانحراف. ففي الحالتين تبدو صورة النجم في الحقيقة كأنها ترسم قطعًا ناقصًا على القبة السماوية، ولكن القطع الناقص الناتج عن زاوية الاختلاف يكون سابقًا بربع استدارة عن ذلك الذي ينتج عن الانحراف (شكل ١٤-٣). ومن جهة أخرى يختلف مدى التأثيرين أحدهما عن الآخر، حتى فيما يتعلق بالنجوم الأكثر قربًا. فبسبب الانحراف يبدو النجم كأنه يرسم في عام قطعًا ناقصًا يبلغ محوره الكبير ٢٠″ بينما لا يبلغ أبدًا المحور الكبير للقطع الناقص الناتج عن زاوية الاختلاف ١″. ولا يمكن قياس هذه الزاوية إلا عندما يكون النجم بالقرب من الشمس (عشرات الأعوام الضوئية بحد أقصى). ويفسر هذا الاختلاف في القياس لماذا لم تُنشر أول زاوية اختلاف نجمية إلا في ١٨٣٨.



شكل ١٤-٢: لتحديد اتجاه العلم على متن المركب الذي يتحرك في ظل وجود رياحٍ ذات اتجاه ثابت، نجمع بين سرعة الرياح وعكس سرعة المركب (أ). ويصاحب تغيُّرَ اتجاه المركب دون تغيُّرِ اتجاه الرياح تغيُّرٌ في اتجاه العلم (ب). ويُفسر الانحراف الضوئي بطريقة مماثلة بأن نستبدل بالترتيب بكلٍّ من الرياح والمركب الضوءَ الذي يشعه نجم ما والأرض التي تدور حول الشمس. ولمراقبة النجم يجب أن يميل التليسكوب قليلًا في اتجاه حركة الأرض. ولكن لا يُحترم هذا القياس (جـ).

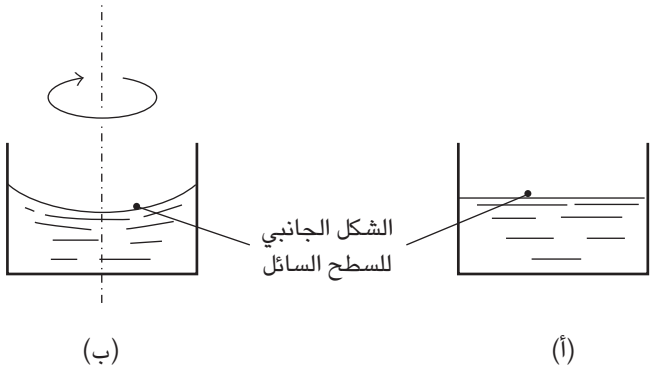


شكل ١٤-٣: عندما تقوم الأرض بدورانها السنوي حول الشمس يلاحظ المراقب الأرضي حركة ظاهرية لنجم يرسم قطعًا ناقصًا على القبة السماوية. فإذا كان ناتجًا عن الانحراف فتتأخر الصورة ٩٠° عن تلك التي قد تنتج عن زاوية الاختلاف وحدها.

(٤) بندول فوكو

فلنكرر أولًا أنه إذا كان اكتشاف برادلي ذا أهمية للبصريات ولعلم الفلك، فهو لم يزعزعْ مفهومنا عن النظام الشمسي الذي أعده نيوتن عن يقين. ولكن برادلي لم يأتِ إلا بالدليل التجريبي لحركة الأرض الانتقالية حول الشمس، ولكن ماذا عن دوران كوكبنا حول محوره؟

تنتفخ الأرض عند خط الاستواء[٩] وهو مؤشر يؤيد دورانها. ويتصرف كوكبنا في المجمل مثل دلو المياه على دولاب الخزاف. فعندما تكون هذه الآلة متوقفة يكون منسوب السائل أفقيًّا، وعندما تدور يتقوس سطح السائل وترتفع المياه بطول حاجز دلو المياه (شكل ١٤-٤). ولكن بما أن الإثبات المباشر يعد أكثر إبهارًا، التزم فوكو بالقيام بذلك بطريقة بسيطة نسبيًّا على الأقل فيما يتعلق بالمبدأ الذي يتم تنفيذه.



شكل ١٤-٤: عندما يكون دلو مياه ثابتًا يبقى سطح السائل أفقيًّا (أ). وإذا دار الدلو حول محور رأسي يتقوس السطح بما أن ارتفاع السائل يبلغ حده الأقصى بطول الحواجز (ب).

كان الفيزيائي الفرنسي جون برنار ليون فوكو (١٨١٩–١٨٦٨) قد درس الجراحة. ونظرًا لإصابته بوسواس المرض أو بالأحرى اكتئابه، لن يمكن وصفه بشخص خالٍ من الهموم وسعيد. ففي إحدى رسائله النادرة كان يشفق على نفسه قائلًا: «وجدت نفسي في عزلة غيرتْ جذريًّا سعادتي، ولكي أتخلص من أفكاري الحزينة استغرق الأمر شهرًا، بالتحديد بعد أعمال التشريح التي قمت بها [...] ولكني لم أستعدْ سعادتي.»[١٠] ويمكننا أن نستنتج من هذا الاستشهاد أن أسلوب الرسائل الذي اتبعه فوكو لم يكن شهيرًا، ولكن هذا الاستنتاج مبكر؛ فإن نشاط فوكو كمحرر للأخبار في «جريدة النقاشات» يظهر أنه يجيد اللغة الفرنسية بإتقان. وقد نتساءل أيضًا إذا كان تشريح الجثث أفضل علاج لشخص مكتئب، ولكن فوكو ليس بيننا ليجيب عن تساؤلنا هذا. وفي الحقيقة لم يمنعه الاهتمام الذي أبداه للتشريح عن البدء سريعًا في التصوير الضوئي، ثم كرس نفسه للفيزياء. وعندما تم تعيينه في مرصد باريس، استخدم الفيزياء في علم الفلك. وكان مدير المرصد هو أوربان لوفرييه، الذي اشتهر بفضل اكتشاف نبتون أكثر من فضل عطارد عليه. وكان لوفرييه معروفًا بين كل معاصريه باستبداده غير المحدود.

كان فوكو مجربًا كبيرًا، وقد حظي بفرصة إثبات ذلك طيلة حياته. فمن بين كل اكتشافاته واختراعاته، كان اكتشاف البندول الذي يحمل اسمه هو ما بقي خالدًا في الأذهان.

لنفترض أننا نصبنا عمودًا كبيرًا بدرجة كافية في القطب الشمالي وزودناه ببندول نطلقه مع تجنب أي حركة جانبية. ويمكن القيام بذلك بربط كتلة البندول في خيط مثبت في مِشبك جانبي ثم نحرق الخيط؛ فيبدأ البندول حينئذٍ في الاهتزاز في مستوًى ثابت. ولنتخيل مُشاهدًا بدلًا من أن يدور مع دوران الأرض يظل ثابتًا نسبة إلى القبة السماوية، فسيلاحظ أن حامل البندول يمدد بصورة مباشرة المحور الأرضي، وأن مستوى الاهتزاز في مثل هذه الظروف لا يتغير (شكل ١٤-٥). وشريطة أن يكون حجم العمود كافيًا، وأن يكون تأثير الاحتكاك غير محسوس، يظل البندول يتأرجح لفترة طويلة لكي يصبح دوران الأرض محسوسًا مقارنة بمستوى الاهتزاز. أما المُشاهد الذي تحمله حركة الأرض فيكون تحليله مختلفًا، فبما أنه مثبت في الأرض فيكون لديه إيحاء بأن مستوى الاهتزاز هو الذي يدور.

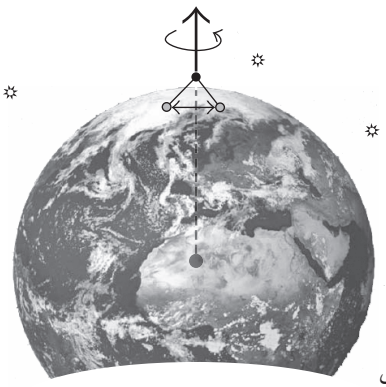
أيًّا كانت طريقة وصف التجربة، فإن مستوى اهتزاز البندول يقوم بدورة كاملة حول الأرض في ٢٤ ساعة.

في عام ١٨٥١ لم يكن أحد قد خاطر من قبل بالذهاب إلى القطب، فاكتفى فوكو بتعليق بندول طوله ٦٧ مترًا على قبة مبنى البانثيون. وكان العيب الوحيد لهذا الاختيار هو أنه إذا كان مبدأ الحركة ثابتًا خارج القطب، فإن وصفه يتعقد إلى حدٍّ ما، فتزيد فترة دوران مستوى الاهتزاز التي تعتمد على خط عرض موقع التجربة، فتصبح غير محدودة عند خط الاستواء. وفي باريس عند خط عرض ٤٩°، يتعين انتظار أقل من ٣٢ ساعة لكي يقوم مستوى الاهتزاز بدورة كاملة. لقيت تجربة بندول فوكو نجاحًا شعبيًّا كبيرًا، فهي لم تأتِ بجديد ولكنها ألهبت حماس العديد من المشاهدين الذين كان لديهم إيحاء بأن الأرض تدور تحت أرجلهم.

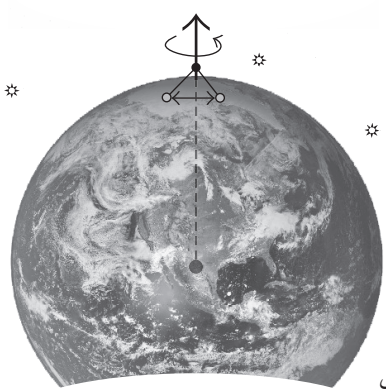
ومن وجهة نظر المبادئ التي تم تنفيذها، فإن إبراز الانحراف الضوئي وتجربة بندول فوكو يعدان بسيطين نسبيًّا، ولكن كان لكلٍّ منهما امتدادات غير متوقعة. ولمناقشة هذا الأمر يتعين التخلي عن الرؤية التاريخية.

(٥) البحث عن المطلق لا يكون عبر الانحراف

تقترح تجربتا دلو المياه وبندول فوكو أنه يوجد إطار مفضل فيما يتعلق بالميكانيكا. وفي هذا الإطار أو النظام المرجعي (الفصل السابع) يظل منسوب المياه التي يحتوي عليها



الثامنة صباحًا
بتوقيت جرينتش



الرابعة عصرًا
بتوقيت جرينتش

شكل ١٤-٥: إن البندول الذي قد يهتز على امتداد المحور الأرضي لن يخضع إلا لتأثير الثقالة. فبما أن هذه القوة لا ترتبط بدوران كوكبنا، يظل مستوى اهتزاز البندول ثابتًا بالنسبة للقبة السماوية. فبالمقارنة بين منظرين لكوكب الأرض الذي يعلو قطبه بندول فوكو الوهمي، تدور الأرض بزاوية ١٢٠°، ولكن القِران السماوي ومستوى البندول لم يتغيرا.

الدلو مستويًا وأفقيًّا، فهو ثابت نسبةً إلى القبة السماوية على الأقل فيما يتعلق بالدوران، والدليل على ذلك هو بندول فوكو الذي وُضع في امتداد المحور الأرضي.

ويُطلق غالبًا على القبة السماوية اسم «الجَلَد»؛ وهو اسمٌ يوضح لنا الخلود والصلابة التي كان ينسبها له من أسمَوه كذلك. وبما أن كل دوران يُقاس نسبةً إلى القبة السماوية، فهل يمكننا القيام بالأمر ذاته مع الحركة الانتقالية؟ وبعبارة أخرى هل نستطيع قياس سرعة الأرض نسبةً إلى القبة السماوية؟

قال نيوتن في بداية كتاب المبادئ:

> إن الزمن المطلق والحقيقي والرياضي الذي ليس له علاقة بأي عامل خارجي يمر بصورة منتظمة [...] ويظل المكان المطلق الذي ليس له علاقة بأي عامل خارجي مماثلًا وغير متحرك بصورة دائمة.

يمثل المكان المطلق مرجعًا مفضلًا بين كل ما يقترحه علينا بندول فوكو بتحديده على القبة السماوية. فهل يعد ذلك صحيحًا؟

يتعين أولًا أن ندرك أن السماء المرصعة بالنجوم هي مفهوم يرِدُ في الأشعار، فإن النجوم القريبة من الشمس بدرجة كافية يكون لها بعض الحركات الخاصة التي يمكننا إبرازها بمراقبة سيرها البطيء. ويعرف علماء الفلك جيدًا نجم برنارد؛ لأنه يتحرك على القبة السماوية ١٠٫٣″ كل عام، وهي حركة يسهل قياسها،[١١] إلا أن الغالبية العظمى للنجوم تبدو ثابتة في تليسكوباتنا،[١٢] ولا تمثل أي حركة خاصة ولا زاوية اختلاف يمكن قياسها. فقد يمكننا التفكير فيها من أجل تحديد كرة الثوابت وجعلها مكانًا مطلقًا.

ليست الأمور بهذه البساطة؛ فإن القبة السماوية ليست إلا تمثيلًا للنجوم التي ترصع سماء ليالينا الصيفية أو الشتوية، فتنتمي هذه النجوم للمجرة وتُعتبر قريبة نسبيًّا منا ولكن ثباتها خدعة.

تعد السرعة مقياسًا نسبيًّا في العالم الفيزيائي فتُقاس سرعة القذيفة نسبةً إلى الأرض، أما عن سرعة القمر فنربطها أيضًا بالأرض، ولكن كوكبنا يتحرك على مداره بسرعة ٣٠ كيلومترًا في الثانية نسبةً إلى الشمس التي تدور هي الأخرى حول مركز المجرة. لا نستطيع التوقف عند هذا الحد، فإن المجرة تتحرك نسبةً إلى باقي أعضاء ما نسميه المجموعة المحلية، وهي مجموعة مجرات متجاورة،[١٣] وهي الأخرى ليست ثابتة فتتحرك نسبيًّا مقارنة بمجموعات أخرى تتحرك بدورها داخل مجموعات من المجموعات ...

ربما نفكر في تخطي كل الصعوبات المقترنة بمفهوم القبة السماوية بوضع إطار — المكان المطلق — تكون ثابتة نسبةً إليه. وفي النهاية تكتسب جزيئاتُ الأكسجين أو

أزوت الهواء في درجة حرارة طبيعية سرعاتٍ تصل في المتوسط إلى ٣٠٠ متر في الثانية. وعندما تسمح الأحوال المناخية لا يمنعنا ذلك من الحديث عن مناخ هادئ، فيمكن أن يكون الهواء هادئًا عندما تتحرك عناصره بكل سرعة في كل الاتجاهات.

إذا كان الحال كذلك وإذا كان للمكان المطلق اتجاه، فقد ينبغي علينا قياس سرعة الأرض بالنسبة لهذا الإطار المفضل أو للقبة السماوية، وهو ما يفضي إلى النتيجة ذاتها. ولهذا السبب لا يساعدنا الانحراف الضوئي في شيء. فلنتخيل أن حركة الأرض منتظمة ومستقيمة، فقد يكون حينئذٍ من المستحيل قياس سرعتها بالاكتفاء بمراقبة القبة السماوية. فتوجيه التليسكوب نحو نجم بعيد، أكثر بعدًا من نجم برنارد، لن يُظهِر لنا إلا نقطة ضوئية ثابتة تمامًا، والسبب هو أن حركة الأرض تتغير في أثناء مراقبتنا لتحرك صورة نجم ما (شكل ١٤-٦). وبصورة أكثر صراحة إذا طبقنا هذه الملاحظة على جميع الأجرام السماوية، يمكننا أن نقول إذن إن الانحراف الضوئي لا يبرز إلا تسارع الأرض بالنسبة للقبة السماوية.

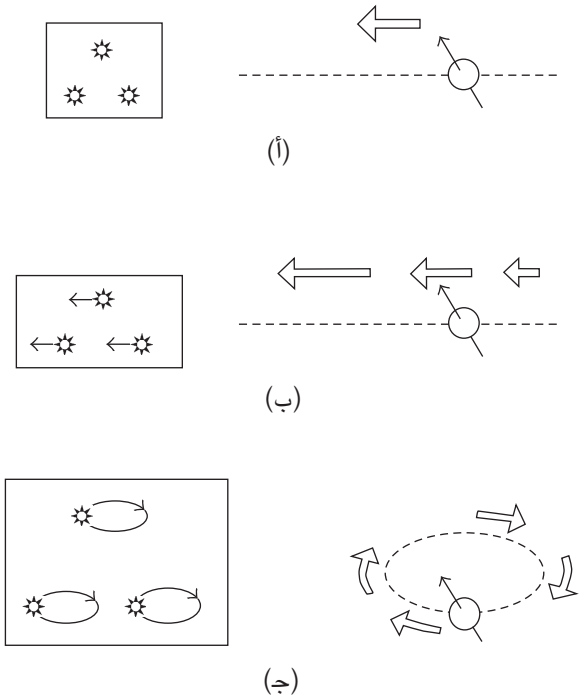
تتألف حركة الأرض من دوران حول الشمس ودوران حول محورها، وبما أن هاتين الحركتين متسارعتان فيمكن ملاحظتهما. وفي المقابل إذا تداخلت عليهما حركة مستقيمة ومنتظمة فلا يمكن ملاحظتهما. يعد هذا الموقف غامضًا، ولكنه له الفضل في إحالتنا من جديد إلى جاليليو.

حذرتنا قدرة سالفياتي على التنبؤ، فباحتجازنا في غرفة مَركب بصحبة وعاء مياه وبعض الحيوانات الصغيرة المختلفة، كان قد أقنعَنا باستحالة إبراز حركة منتظمة ومستقيمة بواسطة الوسائل البسيطة (الفصل السابع). ونلاحظ أن اكتشاف برادلي لا يغير شيئًا في هذا الموضوع، بل يعزز مبدأ جاليليو:

> تنطبق قوانين الميكانيكا ذاتها على كل النظم المرجعية التي تتحرك حركة منتظمة بعضُها بالنسبة إلى بعض.

(٦) اتركوا القارب من أجل القطار الفاخر

لنعُد مرة أخرى إلى أفكار جاليليو مع تحديثها قليلًا. فبدلًا من أن تحتجزوا أنفسكم في غرفة قارب، استقلوا قطارًا فاخرًا يتحرك دون رجَّة. ويكون الوقت متأخرًا فتلحقون بحجرة النوم المخصصة لكم وقد تظنون أنفسكم في الفندق. وقد وُضع من أجلكم على



شكل ١٤-٦: يرجع سبب الانحراف الضوئي إلى مزيج من سرعة الضوء وسرعة الحركة الانتقالية للأرض. فإذا كان كوكبنا يكتسب حركة مستقيمة بسرعة منتظمة، فيحتفظ التليسكوب المعنِي باستقبال بريق النجم باتجاه ثابت. ويظل مظهر القبة السماوية لا يتغير على مدار الوقت (أ). وإذا كانت حركة الأرض متسارعة ومستقيمة في آن واحد، فقد تتأثر النجوم بحركة تعتمد على التسارع (ب). وبما أن دوران كوكبنا يكون على مدار دائري تقريبًا، ترسم صور النجوم حلقة (جـ). ويجدر بالذكر أن تأثير الانحراف على نجمٍ ما، يعتمد على خط عرضه السماوي.

طاولة صغيرة قلم وممحاة وكراسة ملاحظات وإناء مياه وكوب. ولتجنُّب أي حادث، وُضع الإناء في فجوة مجهزة في الطاولة.

وبما أن الستائر مغلقة، فأنتم لا ترون ما يحدث في الخارج، فتغفون برهة، وعندما تستيقظون تسير الأمور بصورة طبيعية في الحجرة، فلا تشعرون بأي ضوضاء أو

اهتزاز. ويكون منسوب المياه في الإناء أفقيًّا. فهل توقف القطار، أم إنه يتحرك؟ لا تعلمون شيئًا. ثم تنهضون لشربِ كوب ماء وتسجيلِ فكرة طرأت في ذهنكم في الوقت الذي غلب عليكم فيه النعاس. فتصبون الماء في الكوب وأنتم واقفون ثم تعيدون الإناء إلى تجويفه. وفجأة تسمعون دوي صوت مزعج كالصرير الطنان. وفي الوقت ذاته تُدفَعون إلى الأمام فتصطدمون بجدار الغرفة. ويتدحرج القلم على الطاولة وتبقى الممحاة ثابتة وينقلب الكوب ويفرغ محتواه، بينما يهتز منسوب المياه في الإناء. لقد دق أحدٌ جرسَ الإنذار فتوقف القطار بعنف.

تحجب هذه الآثار المتنوعة وحدة عميقة، فإذا كان الاحتكاك غير موجود والإناء غير مثبت في الطاولة، فربما يمكنكم التحقق من أن كل الأجسام — بما فيها أنتم — تتسم بالتسارع ذاته أيًّا كانت كتلة الجسم. ويكون التسارع المشترك في اتجاه السير، فتتعارض مع التسارع الذي يفرضه المكبح على القطار.

ليس في هذا الموقف ما يمكن أن يضلل، فهو يلائم تمامًا ميكانيكا نيوتن. فطالما أن الاتجاه مستقيم وأن القطار يسير بسرعة ثابتة، فإن كل الأجسام الحية وغير الحية الموجودة بداخل عربات القطار تخضع لقانون نيوتن الأول أو مبدأ العطالة:

> يظل كل جسم في حالة السكون أو الحركة المنتظمة على خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة ما وتجبره على تغيير حالته.

قبل أن يدق جرس الإنذار، كانت الحجرة التي تشغلونها تمثل «نظام عطالة» يتحقق فيه بالتحديد مبدأ العطالة، وتعد أيضًا كل الأنظمة المتحركة بصورة منتظمة ومستقيمة مقارنة بحجرتكم على السكك الحديدية أنظمةَ عطالة. وعندما يتوقف القطار فجأة تتحول عربتكم إلى «نظام متسارع». ويمكنكم التحقق من ذلك بالرجوع إلى الانحراف المحتمل لنجم ما، ولكن لا يستحق الأمر هذا العناء، فيكفي تسجيل ظهور «قوى عطالة» تدفعكم نحو جدار الغرفة، وتجعل القلم يتدحرج، وتحرِّك المياه في الإناء.

وعندما يتحرك القطار من جديد يمكنكم ملاحظة أمر ثانٍ. فبمجرد أن يميل القطار، تظهر قوى عطالة جديدة.[١٤] فمن أجل مقاومة قوى العطالة أيًّا كانت، يعد ارتداء حزام الأمان في السيارات والطائرات إلزاميًّا.

يمكننا تلخيص الموقف في أن أنظمة العطالة تتحرك جميعها بصورة مستقيمة ومنتظمة بعضها بالنسبة إلى بعض، ويمكن لكلٍّ منها أن يدَّعي تعريفه للمكان المطلق،

ولكن لا تُرجح كفة أي من هذه الادعاءات على الأخرى، فلم يعد يوجد أي سبب لمفهوم المكان المطلق الذي فقدَ وضعه لصالح مجموعة أنظمة العطالة، فإن كل نظام تصحبه في حركته «عينة» من المكان المطلق. وفي المقابل، بمجرد تسارع أي نظام، يتخلى عن «حصته المطلقة»، ويحتوي محيطه على مجموعة من قوى العطالة المتناسقة فيما بينها، والتي يمثل وجودها مفتاح تحديدِ أي نظام متسارع.[١٥]

تُعتبر الجاذبية وقوة العطالة أقارب من الدرجة الأولى، حتى لو كان أصلهما مختلفًا. فتتجاهل كلتاهما كتلة الأجسام بما أنهما تنسبان لكل الأجسام المتحركة تسارعًا متساويًا. ويطرح هذا الظرف تساؤلًا. فلنفترض أنه على سطح كوكبنا يكتسب جسم ذو كتلةٍ ما بسبب وزنه تسارعًا في أثناء سقوطه الحر يساوي g، فهل من الممكن أن يخضع الجسم ذاته، بالإضافة إلى ذلك، إلى قوة عطالة مقابلة تُعادل تأثير وزنه؟ لا يبدو أنه تم مناقشة هذه الاحتمالية قبل أن ينفرد بها أينشتاين في بدايات القرن العشرين (الفصل السادس عشر). ومع ذلك لا تخلو الإجابة من الإثارة والأهمية.

أكبر الورثة

الفصل الخامس عشر

أينشتاين أخيرًا

من يجد فكرةً تسمح لنا بفكِّ شفراتِ لغزِ الطبيعة الأبدي حتى لو بصورة بسيطة، تَحلَّ عليه نعمة كبيرة. ومن يكن معترَفًا به أيضًا لدى أفضل مفكري عصره ويحظَ بتعاطفهم ومساعدتهم، يَنْعَمْ بسعادة أكبر مما يستطيع أن يتحمل.

أينشتاين، رسالة إلى الجمعية الفلكية الملكية في لندن، ١٩٢٣

(١) في الليل كل القطط رمادية

لا تزال التقاليد العائلية موجودة وسالفياتي وسمبليتشو ليسا استثناءً. ومن حسن الحظ أنِ احتفظ حفيداهما باسمي الجدين وموقفهما إزاء العلم؛ مما يسهل تحديد هويتهما. وعلى غرار مؤسس السلالة التي يمثلها سالفياتي الشاب، فهو يدري بتطور العلم، بينما يفضل سمبليتشو الشابُّ التمسكَ بتعاليم أقدم سابقيه. وكانت سذاجته هي الأكبر في كل سلالة عائلة سمبليتشو. وبطبيعته التحريضية يسعد سالفياتي بأن يُثبت تفوُّقه مرة أخرى على منافسه الذي ليس له أي أهمية.

سالفياتي: صديقي سمبليتشو، تعرف بلا شك المثل الشهير: في الليل كل القطط رمادية، فهل يستحق تفسيره؟

كان الاحترام الذي يكنه سمبليتشو لمحدثه هو فقط ما منعه من هز أكتافه، فأشار إلى أنه من المستحيل أن نميز بين الأشياء في الظلام، ولوْن وبر القطة ليس استثناء. فتبدو تفاهة المثل جلية. وكان سالفياتي يأمل أن يسمع هذه الإجابة.

سالفياتي: عندما يكون سواد الليل قاتمًا لا تكون القطط رمادية، بل غير مرئية، فأعود إذن إلى سؤالي بتذكيرك أنه بصفة عامة يكون الظلام جزئيًّا فقط أثناء الليل.

اندهش سمبليتشو من هذا الإصرار، فهو يعتقد أن حفيد سالفياتي الكبير لا يشرف جده ورفض أن ينتقده بشدة.

سمبليتشو: من يتحدث عن الظلام يتحدث عن الضوء الخافت أي كل درجات الرمادي. ماذا نستطيع أن نضيف إلى هذه البداهة الفاحشة؟

سالفياتي: بداهة فاحشة؟ فلتقل بالأحرى بداهة خاطئة يا عزيزي سمبليتشو. فقد علمتْك التجربة منذ نعومة أظافرك أنه بحلول الليل يُعتبر الشعر الأشقر لِقطَّة الجيران واللون الأحمر الشديد للنباتات العشبية من درجات الرمادي. وهذا هو ما لا جدال عليه، ولكن يمكننا أن نتخيل عالَمًا يمكن فيه تمييز الألوان حتى لو خَفَتَ الضوء، فلا يوجد ارتباط منطقي بين فروقات الألوان وكثافة الضوء. فدعني أطرح سؤالي بشكل مختلف: لماذا تختفي كل الألوان في أعيننا عندما تنخفض الإضاءة عن مستوًى معين؟ فإن كل تأثير، حتى لو كان تافهًا، حتمًا له سبب.

شَعَرَ سالفياتي بالسعادة بعد أن أعطى لسمبليتشو درسًا؛ لذا بادر بتوفير كل المعلومات اللازمة، ففسر في السؤال الذي أعاد طرحه أنَّ ثمة كلمتين أساسيتين: «في أعيننا». فاللون مفهوم ينتمي لمجال «الفيزياء النفسية»؛ إذ يستمدُّ إدراك الألوان أحد دعائمه من مجال الفيزياء، كما يعتمد على الفسيولوجيا بصورة كبيرة؛ مما يجعله يخضع لقواعد علم الأحياء. ولكن ليس ذلك كلَّ ما في الأمر، فلا ينبغي أن نغفل أن الإدراك والحواس لهما أيضًا طبيعة نفسية.

سالفياتي: يرتبط لون أي بقعة ضوئية موحدة بالترددات المختلفة للحزمة الضوئية الدقيقة التي ترسلها إلى السطح العاكس. وتتمثل الفيزياء هنا في الترددات البصرية، وتتمثل الفيزياء النفسية في الإدراك الملون. فإن الارتباط بين اللون والترددات التي نجدها في الحزمة الضوئية ليس بسيطًا، بل يخضع لقواعد محددة قد يختلف التعبير عنها من شخص لآخر. وتخضع الرؤية الملونة الطبيعية ورؤية المصابين بعمى الألوان إلى قوانين مختلفة.

ولكي نفهم لماذا تبدو القطط رماديةَ اللون في الظلام، يجب أن نلجأ إلى الفسيولوجيا؛ فتحتوي شبكية عين الإنسان على نوعين من المستقبلات الحساسة للضوء؛ وهما الخلايا المخروطية والعصوية. وتكون الخلايا المخروطية نشطة عندما تتكون صورة واضحة على

الشبكية؛ فهي المسئولة عن الرؤية الملونة. وفي المقابل عندما تُصاب الخلايا المخروطية بتشوُّهٍ ما، يمكن أن تضطرب الرؤية الملونة.[١] فعندما تقل الإضاءة تصبح هذه الخلايا غير نشطة، في حين أن الخلايا العصوية — وهي أكثر حساسية — تستمر في العمل. ولا يفرق هذا النوع الثاني من المستقبلات بين ترددات الضوء المختلفة، ولا يتيح إلا رؤيةً للأبيض والأسود. ولمن يعرف قوانين الإدراك الضوئي، تظل القطط رمادية في الظلام، ولكن يصبح المثل غير تافه.

اسمح لي أن أضيف تعليقًا موجزًا: «فعلى الرغم من أن الإدراك والحس يستندان إلى قاعدة لا جدال عليها، وهي في آن واحد قاعدة فيزيائية وفسيولوجية، فإنهما يحتفظان بملمح لا يزال غير قابل للاختزال في المجال العلمي الدقيق الذي نسميه الوعي. إن الاختزاليين الذين يعتقدون أن الإنسان بصفته جزءًا من الكون هو مجرد لعبة معقدة من الذرات والجزيئات، لديهم اعتقاد خاص ولا يستطيعون تقديم دليل على معتقداتهم، ولكن من يدينون رأيهم أيضًا لا يملكون دليلًا.»

فَهِمَ سمبليتشو الدرس. وفي المستقبل سيحذر من البديهيات الخاطئة، ولكن لم يكن ذلك آخر الصعاب التي واجهها، فقد بدا سالفياتي متعنتًا لبلوغ أهدافه.

(٢) الليل قاتم السواد

سالفياتي: إن البديهيات الخاطئة أكثر مما تتخيل يا سمبليتشو. عجبًا! فإذا قلت لك إن المثل الذي ناقشناه الآن يحتوي على بداهة خاطئة أخرى تبدو أكثر تفاهة من الأولى ولكنها خاطئة تمامًا، فهل ستصدقني؟

سمبليتشو: يا سالفياتي، أنت تذهب بفكرك بعيدًا، فهذا المثل لا يحتوي على معلومات أخرى غير ما يتعلق بمظهر القطط في الظلام. فكيف تريد أن تفاجئني مرة ثانية إلا إذا أخبرتني بوجود قطط مضيئة؟

سالفياتي: إذا كنت لا تفكر إلا في المعلومات الواضحة فأنا أتفق معك، ولكن المثل يُنشِئ أيضًا علاقة ضمنية تربط بين الليل والظلام، وأؤكد أنها هي الأخرى إحدى البديهيات الخاطئة.

سمبليتشو: أنت تبالغ في هذه النقطة يا عزيزي سالفياتي، فإن جدك طالما سخر من جدي، ولكن المواضيع التي كان يتناولها كانت أكثر إقناعًا من مواضيعك، فأنت تريد أن تُدخلني في بحر من الأوهام التي اخترعناها تحديدًا لمكافحة الظلام، فبحق السماء

التي تظلم عندما تغرب الشمس، هل تريد أن تقنعني بأن الشمس ليس لها دور في الضوء النهاري؟ هل تعرف أنني قد أغضب؟

سالفياتي: لا أشكك البتة في أنه ثمة علاقة بين الشمس والضوء، فلست مجنونًا! أنا أزعم فقط أن الظلام الذي يحل في وقت الغروب هو أقل تفاهة مما تتخيل، فيستحق سببه تفسيرًا مثل اللون الرمادي الذي يكسو وبر القطط المتجولة ليلًا. وأؤكد أن العلاقة بين غياب الشمس والظلام تمثل أيضًا بداهة خاطئة، ومثل أي بداهة خاطئة فهي تحتاج إلى تفسير.

وعندما أبدى سمبليتشو مرة أخرى تشككه، لعب سالفياتي الدور الذي يحبه؛ وهو دور المعلم.

سالفياتي: أعرف يا عزيزي سمبليتشو أنك تتجول في الغابة، وأنك تحب بصفة خاصة الغابات غير الكثيفة التي تمتد فيها الرؤية، على الرغم من الأشجار، إلى مسافة ما. فلتقترب من جذع ما، ويحجب وجود هذا الجذع جزءًا من الغابة، ثم غيِّر اتجاه نظرك؛ فتلحظ في الاتجاهات الأخرى جذوعًا على مرمى البصر بعضها قريب وبعضها بعيد، ولا تستطيع أن ترى حدود الغابة إلا إذا كنت قريبًا جدًّا منها.

تخيل الآن أن كل جذع أصبح مضيئًا، فأينما صوبت بصرك يلمع المنظر. وإذا كان الجذع الأكثر قربًا يدهشك، فالأمر ذاته يحدث في كل الاتجاهات. ثم استبدل بالجذع القريب الشمس وبالجذوع البعيدة النجوم وبالغابة الكون. ثم تقمص دور المراقب الأرضي الذي يتأمل الشمس في النهار، أما في الليل فقد يتعين عليه أن يتشبه بالمتجول الذي يحول نظره عن الجذع المجاور ليتأمل الأشجار البعيدة. وفي الليل والنهار على حد سواء يجب أن يتوقف نظره عند الشمس أو أي نجم، فالقبة السماوية قد تبهره، ولكنه ربما لا يستطيع تأملها دون وقاية!

سمبليتشو: إذا كنتُ فهمتُ ما تقوله يا سالفياتي فقد يكون من الطبيعي أنه في أثناء الليل والنهار تكون السماء أكثر بريقًا من القرص الشمسي. إنها متناقضة حقيقية! ولكن يمكن حل هذه المتناقضة انطلاقًا من تفسيرك؛ فإذا كانت الغابة قليلة الكثافة وحدودها قريبة، فقد أرى مساحات شاسعة خالية من الأشجار وهي تتطابق في تشبيهك مع السماء المظلمة، فأستنتج من ذلك أن الكون محدود؛ إذا ابتعدنا عن النظام الشمسي فسنجد عددًا ما من النجوم حتى نصل إلى حدود لا يوجد أي شيء وراءها.

سالفياتي: تحياتي يا سمبليتشو لقد فهمت الرسالة تمامًا، فنحن ننسب إلى كبلر أول إشارة إلى هذه المتناقضة، فهو توصل إلى المفتاح ذاته الذي توصلت أنت إليه.[٢] وقد

فكر آخرون بعده في هذه المشكلة وهي في الحقيقة أكثر صعوبة مما تبدو. ولم نتوصل إلى حل مُرضٍ إلا في القرن العشرين، فلا يمكنك يا صديقي سمبليتشو أن تتوصل إلى الحل منذ اللحظة الأولى!

يعلم علماء الفلك جيدًا هذه البداهة الخاطئة المتعلقة بالليل الذي يجلب الظلام، ويطلقون عليها اسم «متناقضة أولبرز»؛ على اسم الطبيب وعالم الفلك الألماني هنريش أولبرز (١٧٥٨–١٨٤٠)، وهو صاحب اكتشاف ثاني كويكب رُصد في التاريخ وهو بالاس، والرابعِ وهو فيستا. وقد سبق أولبرز في دراسة هذه المتناقضة عالمُ الفلك السويسري جون فيليب لويس دي شوزو (١٧١٨–١٧٥١)، الذي لم يذكر التاريخ اسمه، وهو ما يعد موقفًا متكررًا في العلوم والفنون، وتنبأ به الإنجيل أيضًا: «لأن كلَّ من له يُعطى فيزداد ومن ليس له فالذي عنده يؤخذ منه.»[٣]

إذا سلمنا بأن الكون غير محدود ويعج بالنجوم بطريقة متجانسة تقريبًا، فلا يمكننا أن نفسر لماذا تكون السماء سوداء في أثناء الليل. هذه هي المتناقضة، ولحلها أكد لويس دي شوزو أن الضوء يفقد كثافته عندما يسير مسافات كبيرة. أما أولبرز فافترض وجود الأتربة التي تمتص جزءًا من الضوء خلال رحلته. وعلى غرار نظرية لوساج لم تستطع هاتان المعارضتان الصمود في الاختبار؛ لأنهما يتنافيان مع مبدأ الاحتفاظ بالطاقة. فنحن نلاحظ حقًّا أتربة في الفضاء بين النجوم، ولكنها عندما تمتص طاقة، تحترق وتطلق بدورها طاقة. فلا نستطيع إيقاف الطاقة التي تصدرها النجوم البعيدة.

اقتُرِحت حلول مبتكرة أخرى لهذه المتناقضة، ولا سيما الحل الذي اقترحه الكاتب إدجار ألان بو (١٨٠٩–١٨٤٩) الذي قال في كتابه «وجدتها: قصيدة نثرية» (١٨٤٨): «إذا كان تتابع النجوم غير محدود، فإن خلفية السماء قد توفر لنا إضاءة منتظمة مثل تلك التي تنشرها المجرة، بما أنه لن يوجد بالتأكيد أي نقطة في هذه الخلفية غير مرصعة بالنجوم. وبذلك تكون الطريقة الوحيدة لتفسير الفراغات التي تلاحظها تليسكوباتنا في اتجاهات لا حصر لها؛ هي افتراض هذه الخلفية غير المرئية الموجودة على مسافة ضخمة جدًّا، لدرجة أنه لم يستطع قط أي شعاع أن يصل إلينا.»

وبعبارة أخرى إذا كان الكون قد خُلق في ماضٍ، ربما يكون سحيقًا، ولكنه محدود، فإن الضوء الذي يأتي إلينا من النجوم البعيدة جدًّا لم يصلنا بعد. ويفرض هذا الموقف حدودًا طبيعية ليس على الكون بأكمله، بل على الكون الذي يمكن معرفته. ولكن منذ منتصف القرن العشرين؛ أي بعد صدور قصيدة بو بفترة طويلة، اكتشف علم الفلك

نظرية الانفجار الكبير؛ وهو الحدث المكون للعالَم الفيزيائي. فتعد ملاحظة بو إذن مشروعة، ولكنها لا تفسر بصورة كاملة متناقضةَ أولبرز، ويمكننا اليوم استكمالها لأننا نعلم أن «الكون يتوسع». فتبتعد عنا المجرات الأكثر بعدًا بسرعة تزيد بالتناسب مع مسافتها، ولكن إذا كان الضوء الذي ترسله ينتشر في الفراغ بسرعة c، فإن تردده يقل[٤] لدرجة أننا نتحدث عن «الانزياح نحو الأحمر».[٥] وتصاحب القلة العامة لتردد إشعاع المجرة قلة في الكثافة الضوئية، لدرجة أن المجرات الأكثر بعدًا تصبح في النهاية غير مرئية حتى بواسطة الأجهزة الأكثر دقة. وفي تشبيه سالفياتي ليس للغابة حدود قريبة، ولكن الأشجار الأكثر بعدًا تختفي تدريجيًّا في تشويش بصري.

وفي النهاية فإن ما يميز المتناقضة عن البداهة الخاطئة، هو التنوير وحالة معارفنا، فالمتناقضة هي معرفة تصدم بديهتنا أو تبدو بالخطأ متعارضة مع بعض ما اكتسبناه. في المقابل تبدو البداهة الخاطئة متوافقة مع كل ما نعرفه، ولكنها تتحول إلى متناقضة عندما يشكك أحد في وضعها. ولم تكن متناقضة أولبرز لفترة طويلة إلا بداهة خاطئة بما أنه لم يتعجب أحد من سواد الليل. ولكن في اليوم الذي كشف فيه كبلر النقاب وأعطى تفسيرًا صار تدريجيًّا غير مرضٍ، أصبحت المتناقضة لغزًا. واليوم حيث نعتقد أننا فهمنا الآلية التي تسمح لِلَّيل — من حسن حظنا — أن يكون مظلمًا، لم يعد اللغز المحتمل متناقضة. فهل يعد ذلك نهائيًّا؟

(٣) أثير اليونانيين في نجدة المكان المطلق

لو كان برادلي قد انشغل بتحديد المكان المطلق لدى نيوتن،[٦] لكانت تجربته قد باءت بالفشل، ولكن لم يكن ذلك قصده تمامًا، فسوف يتولى بعض خلفائه قسرًا هذه المهمة بدلًا منه، وسيعتقدون أنهم توصلوا إلى تحديده، ولكنه سرعان ما سيغيب عن أبصارهم. وفي القرن التاسع عشر أصبح المكان المطلق بمنزلة «الكأس المقدسة» التي تبحث عنها الفيزياء، ولكن سيتغير اسمه إلى «أثير». وفي يوم ما، مثلما يحدث في الروايات البوليسية المحبوكة، سيكتشف القراء فجأة هوية المجرم الحقيقي.

نعتبر اليوم أن سرعة الضوء في الفراغ مقياس ثابت، ولكن لم يكن لدى معاصري رومر أي سبب يجعلهم يعتبرونها كذلك؛ فإن نيوتن يؤمن بطبيعة الضوء الجسيمية. ولو كان نيوتن محقًّا، لكان الضوء يخضع لتأثير الجاذبية. وكان من المفترض أن الجسيمات الضوئية على غرار القذائف تبطئ أو تسرع حسب ابتعادها أو قربها من

الجسم السماوي، ثم ظهر مفهوم جديد تدريجيًّا بفضل عالم الرياضيات والفيزيائي النيوزيلندي كريستيان هوجنس (١٦٢٩–١٦٩٥)، الذي كان يشبِّه الضوء بالصوت، فثمة اهتزاز ينتشر في الهواء أو في المادة ولكن لا ينتشر أبدًا في الفراغ، أو يشبهه أيضًا بالموجات التي تتحرك على سطح المياه، وفي الحالتين يهتز المكان المحيط. وبالتشبيه بين الأمرين، فمن المفترض أن يكون الفراغ قادرًا على الاهتزاز بما أن الضوء ينتشر في الفراغ. وكان يعتقد أن الفراغ لا يمكنه فعل ذلك إلا إذا كان يحتوي على مادة يُطلق عليها أثير أو أثير ناقل للضوء، وقد اختير اسمها في إشارة إلى العنصر الخامس الذي استخدمه أرسطو لوصف الكرة السماوية. وفي الواقع يملأ الأثير الكون بأكمله بما أن النجوم هي التي ترسل لنا الضوء.

تُقاس سرعة الصوت نسبةً إلى الهواء ففي حالة مرور سيارة إسعاف أمام أعيننا، تكون سرعة الصوت الذي تصدره صفارة الإنذار مزجًا بين سرعة الصوت في الهواء — حوالي ٣٤٠ مترًا في الثانية — وسرعة الهواء نفسه إذا كان متحركًا؛ أي إذا كان يوجد تيار هوائي. فلماذا لا ينطبق ذلك على انتشار الضوء عبر «جوهره»، الأثير؟ وكان من الواضح لدى هوجنس وخلفائه أنه عندما تحتفظ الأرض بالضوء الذي يصدره نجم ما، ينبغي أن ترتبط السرعة التي يتم قياسها بمزج بين سرعة انتشار الضوء في الأثير وسرعة الأثير نسبةً إلى الأرض. وبما أن كوكب الأرض يرسم كل عام قطعًا ناقصًا حول الشمس، فربما يتعين عليه أن يخضع بصفة منتظمة إلى «ريح أثير»؛ وهو تعبير تمثيلي يقصد أن الأرض تتحرك نسبةً إلى هذا السائل الغامض جدًّا. كان يتبقى إذن أمام فيزياء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر عمل كبير؛ فكان يتعين عليها تحديد الأثير وإعطاؤه بعض الخصائص، ولا سيما سرعته، فكان الاكتفاء بالتأكيد على أن الأثير يساعد على انتشار الضوء غير مُرضٍ بما أن ذلك تحديدًا هو سببُ وجوده.

يشبه هذا الأثير الغريب المكان المطلق لدى نيوتن، فهل يتعلق الأمر بالمفهوم ذاته أم أن المفهومين مختلفان؟ يدفع البحث عن ريح الأثير إلى التفكير في توضيح سرعة الأرض نسبةً إلى القبة السماوية، أو سرعة القبة السماوية نسبةً إلى الأرض، وهو ما يؤدي إلى النتيجة ذاتها. ولهذا الغرض يظل الانحراف الضوئي عاجزًا. فهل سيحقق خلفاء برادلي نجاحًا أكبر؟

لم تكن هذه المسألة تؤرقهم كثيرًا فقد كان الأثير جزءًا من مفرداتهم. وسيبقى الوضع على حاله حتى القرن التاسع عشر، الذي استند خلاله تفسير التجارب البصرية

بصورة مستمرة على المفهوم الذي كان سائدًا حول هذا السائل الغريب. وقد اضطر الفيزيائي الفرنسي أوجستين فرينل (١٧٨٨–١٨٢٧)، الذي كان له دور كبير في نجاح نظرية الضوء التموُّجية، إلى القيام بافتراض غريب. فمن أجل تفسير النتائج التي تم التوصل إليها بشأن الانكسار الضوئي، قد اضطر إلى الإقرار بأنه إذا لم يكن ثمة تأثير لحركة الأرض على حركة الأثير، فإن الأجسام الشفافة في المقابل تجرفه معها جزئيًّا، فهي فكرة غريبة تمامًا إذا كان الهدف حقًّا هو جعل الأثير توءم المكان المطلق.

(٤) ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية

لم يكن الفيزيائيون يدركون أن الصورة التي يتخيلونها للعالم مليئة بالتناقضات. وتَسبب اكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية في ظهور المزيد من التناقضات. ولإيضاح ما يلي ينبغي أن ندرك أن سرعة الضوء في الفراغ c كانت معروفة تقريبًا، ولكن لم تكن دقة القياس كافية لتقرير إذا كانت متغيرة أم لا.

يعد الفيزيائي الاسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل (١٨٣١–١٨٧٩) بلا شك أحدَ أكبر الفيزيائيين النظريين في القرن التاسع عشر. وبالمقارنة بين القوانين الأساسية للكهرومغناطيسية، كشف عن تناقض ولكن لم يظهر هذا العيب في نتائج التجارب، لأنه لا يتعلق إلا بالتيارات الكهربائية التي تتغير بسرعة كبيرة، بل أسرع من الدوائر الكهربائية التي كان يمكن إنتاجها في عصر ماكسويل.

أعاد ماكسويل ترتيب الأوضاع بحثًا عن التماسك، وذلك بإدخاله لمصطلح على أحد قوانين الكهرومغناطيسية، وكان هذا التصويب الذي يتماشى تمامًا مع وصف الظواهر المعروفة آنذاك يمهد لاكتشاف ضخم لا يمكن أن نَفِيَه حقه من التقدير. ففي عام ١٨٦٥ لاحظ ماكسويل، بناءً على القوانين التي عدلها، أن «ثمة موجات تظهر كلما أعددنا تيارًا بديلًا ذا تردد عالٍ في دائرة.» وبعبارة أخرى تفترض قوانين ماكسويل وجود موجات كهرومغناطيسية.

في عام ١٨٨٨ دعم الفيزيائي الألماني هنريتش هيرتز (١٨٥٧–١٨٩٤) ما قاله ماكسويل، وأثبت للمرة الأولى وجود موجات الراديو؛ أي الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن تيار كهربائي يتغير بسرعة كبيرة، ويعد ذلك مثالًا رائعًا للبحث الأساسي الذي يسفر عن تطبيقات مذهلة. ووفقًا لحسابات العالم الاسكتلندي، تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ، وباختلاف دقة القياسات تتطابق سرعة انتشارها مع c

سرعة الضوء. وكان الاستنتاج الذي يفرض نفسه على ماكسويل هو أن: الضوء نفسه يعد موجة كهرومغناطيسية. ولكن في حين أن ترددات الموجات الكهرومغناطيسية الأكثر عمومية قد تتخذ قِيَمًا عشوائية للغاية، فإن الموجات التي يتصف بها الضوء المرئي تنتمي إلى رقعة ضيقة ومحددة جيدًا.

كان لهذا الاكتشاف أهمية كبرى ولكن لم يتوصل الإنسان لفترة ما إلى نتيجته التي يبدو أنها فرضت نفسها مع مرور الوقت. ولإثبات وجود الموجات الكهرومغناطيسية استعان ماكسويل فقط بالظواهر الكهربائية والمغناطيسية التي كانت معروفة، ولا سيما القوى التي تُمارس بين شحنتين أو تيارين كهربائيين متجاورين. فيعد إذن الثابت c مقياسًا مطلقًا تم تحديده في المختبر، فإلى جانب ثابت الجاذبية أو قيمة الشحنة الكهربائية يجب أن يتخذ c مكانة بين الثوابت الكونية، وأن يضع الفيزياء أمام بديل أساسي.

إذا كان يوجد أثير، فمن الممكن إنقاذ المفاهيم القديمة بصورة مؤقتة في كل الأحوال. فتُقاس سرعة الضوء نسبةً إلى الأثير «جوهر الفراغ»، وتستحق إذن أن ترِد في قائمة الثوابت الكونية، ويجب أيضًا التأكد من أن الأثير متماسك بصورة كافية، وأن سرعته محددة جيدًا. وقد نفهم بصورة خاطئة أنه قد ينجرف مع الموشور أو مع الأرض. وفي المقابل إذا قاوم الأثير كل تحديد، فإن سرعة الضوء مثل أي سرعة أخرى لا تكون إلا نسبية، فيتعين إذن التخلي عن فكرة اعتبارها ثابتًا كونيًّا.

(٥) حركة الأرض نسبةً إلى الأثير

استُؤنفت مطاردة الأثير بصورة أكبر، ويظهر من بين المطاردين اسم الفيزيائي الأمريكي ذي الأصول البولندية ألبرت ميكلسون (١٨٥٢–١٩٣١) الذي شغف طوال حياته بالبصريات.[٧] وقد تخيل طريقة عبقرية لإبراز حركة الأرض نسبة إلى الأثير. وخلال التجربة النهائية التي جرت في ١٨٨٧ حصل ميكلسون على معاونة إدوارد مورلي، لدرجة أن الحديث اليوم يدور حول تجربة ميكلسون–مورلي.

ويعتقد ميكلسون أنه إذا كان يوجد أثير، فإن حركة الأرض يجب أن تدفعه آجلًا أو عاجلًا إلى التحرك نسبةً إلى هذا المحيط الغريب الذي نسعى إلى إبرازه. ففي تاريخٍ وساعةٍ ما قد تتفق سرعة الأرض مع سرعة الأثير، وقد تكون السرعة الثانية غير ملحوظة مؤقتًا، ولكن بما أن كوكبنا يرسم قطعًا ناقصًا وهو منحنًى مغلق، فلن يدوم التوافق

طويلًا. فإن افتراض توافق سرعة الأثير في أي وقت مع سرعة الأرض غير مقبول، فهو ينتمي لنظرية مركزية الأرض للكون. وبما أن سرعة الأرض على مدارها تبلغ ٣٠ كيلومترًا في الثانية، فيكفي أن تكون أداة القياس قادرة على إبراز فروق أقل من ٣٠ كيلومترًا في الثانية لكي يمكن قياس ريح الأثير على بعض أجزاء مدارها. كانت تلك قناعات ميكلسون ومورلي عندما بدأت تجربتهما، فهما يعلمان أن أداتهما مزودة بالدقة اللازمة لكي يُكلل عملهما بالنجاح.

رضخ ميكلسون ومورلي سريعًا للأمر الواقع، فأيًّا كان المسار الذي نسباه للضوء الذي يقيسان سرعته، كانا يحصلان على القيمة ذاتها على الرغم من دقة جهازهما البالغة. وبعد أن استبعدا سريعًا افتراض وجود خطأ منهجي، أقرَّا بفشل محاولتهما لقياس سرعة ريح الأثير. فلماذا يستحيل إذن إبراز ظاهرة يتفق كل الفيزيائيين على اعتبارها حتمية؟

حاول الفيزيائي النيوزيلندي هندريك لورنتز (١٨٥٣–١٩٢٨) تفسير فشل ميكلسون–مورلي، فهو يرى أن ثمة تأثيرًا لريح الأثير؛ ألا وهو تعديل الأطوال، ولا سيما المسافة التي يجتازها الضوء عندما نقيس سرعته. ويدور كل شيء كأن ريح الأثير يؤدي إلى تعويض أثر تغيُّر سرعة الضوء عن طريق تعديل فوري لطول المسافة التي يتم اجتيازها. وهكذا كشف لورنتز عن انحراف ريح الأثير الذي يستطيع التأثير على الأطوال بطريقته للحفاظ على هويته السرية. ثم يأتي بوانكاريه ليسخر من تفسير لورنتز فقد استعد لحل المتناقضة رافضًا نهائيًّا وجود المكان المطلق أو شبيهه الأثير. وكان قد كشف النقاب بالفعل ... ثم أسدله بعد أن صاغ «مسلَّمة النسبية» التي لم تكن أعلى شأنًا. واقترح بوانكاريه أن «استحالة إبراز الحركة المطلقة للأرض يمثل قانونًا عامًّا من قوانين الطبيعة!» فقد اقترب كلٌّ من لورنتز وبوانكاريه من الكأس المقدسة وشعرا بوجودها، ولكن لم ينجحا في اكتشافها.

(٦) أينشتاين أخيرًا

يعد ألبرت أينشتاين (١٨٧٩–١٩٥٥) الفيزيائي السويسري ذو الأصول الألمانية[٨] معروفًا لدى الجماهير، وهو ما يعد وضعًا خطيرًا لعالِم كانت أعماله صعبة المنال. وفي هذا الصدد، قلَّ احتمال تشويه الإعلام صورةَ مخترع البنسلين واللقاح ضد السعار. ففي ١٩٠٥ لم يكن يتعين على أينشتاين أن يحذر من الصحافة؛ فكان يعيش في هدوء في

مدينة برن العريقة؛ حيث كان مجهولًا تمامًا، فلا يتخيل أحد أن موظفًا صغيرًا في المكتب الاتحادي لبراءات الاختراع يمكنه أن يُحدث ثورة في الفيزياء مثلما فعلها من قبله نيوتن وحده.

تزوج أينشتاين بمن كانت زميلته في الدراسة في كلية الهندسة في زيورخ؛ ميليفا ماريك، بالرغم من معارضة أهله. ولزيادة دخله أعطى بعض الدروس الخصوصية في الرياضيات والفيزياء، وأسس بصحبة ثلاثة أصدقاء «أكاديمية أولمبيا»؛ وهي مجموعة صغيرة تناقش المشاكل الفلسفية أو العلمية. فلم يكن لديه أي علاقة أخرى مع العالم العلمي.

وفيما يتعلق بالإنتاجية العلمية، يمثل عام ١٩٠٥ «العام الإعجازي» لأينشتاين؛ فكان لديه ٢٦ عامًا وقد نشر في مجلة «أنالن دير فيزيك» أربع مقالات ثورية على التوالي، يتعلق أولها «بالتأثير الكهروضوئي»؛ أي تأثير الضوء على إلكترونات معدن ما، وهي مقالة نال بسببها أينشتاين جائزة نوبل في عام ١٩٢١. ولكن المقالة الثالثة هي التي تهمنا بصفة خاصة في هذا المقام؛ فهي تمثل المقالة المؤسسة «لنظرية النسبية الخاصة»،[٩] وكانت بعنوان «كهروديناميكية الأجسام المتحركة»، وكانت خالية من أي إشارة إلى إصدار علمي سابق؛ مما كان من شأنه أن يحرض الناشر على رفضها. ولكن لحسن الحظ لم تسلك الأمور هذا الطريق؛ ربما لأن أينشتاين كان قد نشر من قبل مقالتين قيمتين في هذه المجلة.[١٠]

يكشف عنوان هذه المقالة والسطور الأولى للمقدمة أصل أفكار أينشتاين: «فلنفكر [...] في التفاعل الكهرومغناطيسي بين مغناطيس وموصل للتيار. فلا تعتمد الظاهرة الملحوظة هنا إلا على «الحركة النسبية»[١١] للموصل والمغناطيس، في حين أنه وفقًا للمفهوم الشائع يتعين تمييز الحالتين بوضوح بناء على حركة أي من الجسمين.»

ويذكر أينشتاين هنا إنتاج التيار الكهربائي في حلقة وصل عندما نحرك مغناطيسًا بجوارها. ولاحظ أنه في الدراسات التقليدية للفيزياء توجد حالتان؛ في الأولى تكون الحلقة ثابتة بينما يتحرك المغناطيس، وفي الثانية يتم تبديل الأدوار. وبعبارة أخرى، فمن أجل وصف ظهور التيار — وهو ما يعد ظاهرة فريدة — نستعين بقانونين مختلفين. ويرى أينشتاين أن ما يهم في الأمر هو فقط الحركة النسبية بين المغناطيس والموصل، فإن التفرقة بين الموقف الذي يكون فيه المغناطيس ساكنًا والموقف الآخر الذي يكون فيه الموصل ثابتًا تعني الاستناد إلى مفهومٍ اعتبره أينشتاين باليًا؛ فهو يرى أنه لا يوجد إلا

سرعات وحركات نسبية. وفي أفضل الأحوال يعتبر وجود وصفين لإنتاج التيار في حلقة موصلة بمنزلة عدم تماثل مؤسف في صرح المعارف الفيزيائية، وفي أسوأ الأحوال فهو يكشف عن عيب في بناء الصرح بأكمله.

(٧) مبدأ النسبية

سواء أكان أينشتاين يعلم بتجربة ميكلسون–مورلي أم لا،[١٢] فإنه كان يعلم بأن ثمة محاولات عديدة سعت إلى إبراز حركة الأرض نسبة إلى الأثير وقد باءت بالفشل. وقد صاغ في مقالته مبدأين أساسيين وأعطى لأولهما اسمًا لقي نجاحًا واسعًا؛ ألا وهو مبدأ النسبية.

في اليوم الثاني من أيام كتاب «الحوار»، عرض جاليليو عبر سالفياتي مثل غرفة السفينة المتحركة (الفصل السابع والرابع عشر). وقد تعرفنا فيه على فراشات طائرة وأسماك تسبح بهدوء في إناء دون أن تسبب لها حركة السفينة أي اضطراب، ودون أن يشعر المراقب الموجود بالغرفة بهذه الحركة على الإطلاق.[١٣] وتناول أينشتاين مجددًا فكرة جاليليو. فبما أن حركة السفينة غير محسوسة فيعد ذلك مؤشرًا جديًّا على أن المكان المطلق ليس له وجود في الفيزياء. واعتقد أينشتاين أنه لن تستطيع أبدًا أي أداة معاصرة أو مستقبلية أن تكشف الحركة المنتظمة للسفينة للمراقب الموجود داخل غرفة ليس بها نوافذ، فإن الاكتشافات الكهرومغناطيسية لم تغير شيئًا من واقع أساسي؛ فيجب إلغاء المكان المطلق. ذلك هو محتوى مبدأ النسبية لأينشتاين:[١٤]

> تنطبق قوانين الفيزياء ذاتها على كل النظم المرجعية التي تتحرك حركة منتظمة بعضها بالنسبة إلى بعض. وفي كل هذه الجمل، تتخذ سرعة الضوء في الفراغ القيمة ذاتها.

إن ما كان صالحًا للميكانيكا وحدها (قانون الفيزياء الوحيد في عصر جاليليو ونيوتن) أصبح قاعدة لقوانين الفيزياء كافة بما فيها الكهرومغناطيسية.

(٨) رمح بارثيا

يتطلب مبدأ النسبية أن تحتفظ سرعة الضوء دائمًا بقيمة ثابتة أيًّا كانت حركة المصدر. وعلى غرار دقة رمح بارثيا أصاب هذا المبدأ المفهوم الذي كان سائدًا في القرن التاسع عشر عن الحركة.

يُطلق اسم البارثيين على ممثلي قبيلة كانت تعيش في القدم في بلاد فارس، إيران حاليًّا، وكانوا محاربين بواسل يقاتلون على الأحصنة وقد اشتهروا بخدعة تكتيكية خاصة، فكانوا يتظاهرون بالهرب ثم يعودون إلى خضم المعركة ويرشقون «رمح بارثيا» بصورة مفاجئة. فكانوا يراهنون على المفاجأة أكثر من قوة اختراق رمحهم بما أنهم بهذه الطريقة يقللون من قوة إطلاق الرمح: فإذا أُضيفت سرعة الرمح إلى سرعة الحصان عندما يصوب البارثيون أمامهم في خضم المعركة، فتقل السرعتان بفعل إحداهما في الأخرى عندما يعود الفارس ليرشق رمحه. ويتعارض المبدأ الثاني الذي صاغه أينشتاين مع تجربة البارثيين وافتراض الأثير، فيؤكد أينشتاين أن الضوء–الرمح، بمجرد أن يطلقه نجم بسرعة ما، يحتفظ بهدوء بالسرعة ذاتها c، ولا يحتفظ بأي «ذكرى» عن سرعة المصدر الضوئي، وهذا هو ما يصدم البديهة.

منذ أن أعلن نيوتن عن أن سقوط الأجسام والدوران القمري لهما سبب وحيد، لم يكن أحد قد هدد أسس الصرح العلمي بصورة كاملة مثلما فعل أينشتاين، فعبر مبدأيه هدم الخبير الفني من الدرجة الثالثة في المكتب الاتحادي لبراءات الاختراع مفهومين كان يُعتبر أنه لا يمكن المساس بهما؛ ألا وهما الزمان والمكان.

(٩) إعادة بحث مفهوم التزامن

عندما نصوغ مبادئ متعارضة مع كلٍّ ما تُعلمنا إياه التجربة اليومية يتعين أن ننتظر عواقب وخيمة، وهذا ما حدث مع أينشتاين ولكنه واجهها بهدوء.

تُعلمنا بديهتنا أن الزمان ينقضي طبقًا للزمان المطلق الذي عبَّر عنه نيوتن، وأن الهندسة هي الانعكاس الصادق لمكان دون ألغاز. وفي مثل هذا الإطار تتَّحد السرعات بصورة بسيطة وليس كما يقترح أينشتاين في مبدئه الثاني. ولكنه اقترح إعادة بحث المفاهيم التي لا يمكن المساس بها؛ ألا وهي الزمان والمكان. وفي مقالة «كهروديناميكية الأجسام المتحركة»، بعد أن صاغ أينشتاين مبدأيه، حلَّل مفهوم التزامن. فقبل ١٩٠٥ لم يكن أحد قد ناقش من قبل مفهوم تزامنِ حدثين.[١٥] فكيف يمكن لمناصري مفهوم الزمان المطلق لنيوتن أن يشككوا فيه؟ بدأت مقالة مجلة «أنالن دير فيزيك» بزعزعة هذا المفهوم:

إذا كنا نريد وصف حركة نقطة مادية فنحدد قيم معطياتها وفقًا للزمن [...] ويجب أن نتذكر أن كل الأحكام التي يلعب فيها الزمن دورًا هي أحكام بشأن أحداث

متزامنة. فعندما أقول إن «هذا القطار يصل هنا في الساعة السابعة»، فذلك يعني تقريبًا أن «مرور العقرب الصغير في ساعتي على رقم ٧ ووصول القطار حدثان متزامنان.» [...] يعد هذا التعريف كافيًا بالفعل إذا تعلق الأمر بتعريف الزمن فقط في المكان الذي توجد به ساعتي، ولكنه ليس كافيًا إذا تعلق الأمر [...] بتحديد قيم زمنية لأحداث تقع في أماكن بعيدة عن ساعتي.

نحن مهيئون أكثر من جدودنا وجدود جدودنا لتناول هذه المشكلة. ففي عام ١٩٦١ كان بعضنا أمام شاشات التلفاز عندما وطئت أقدام أرمسترونج وألدرن سطح القمر. فبسرعة c يستغرق الضوء وموجات الراديو أكثر من الثانية بقليل ليعبرا المسافة بين الأرض والقمر، فكان الحوار بين رواد الفضاء والمهندسين الذين يقودون المهمة من الأرض يعاني من هذا الفارق الزمني، فبين كل سؤال وإجابة كان يتعين انتظار ثانيتين على الأقل، وهو وقت الذهاب والعودة لموجات الراديو بين الأرض والقمر. فإذا كان أحد رواد الفضاء يريد ضبط ميقاته على ميقات قاعدة هيوستن، فربما كان يتعين عليه أن يأخذ في الاعتبار هذا الفارق. وعندما ترسل وكالة فضاء فريقًا إلى كوكب المريخ الذي تبلغ مسافته الصغرى ٥١ مليون كيلومتر، سيزيد الفارق بالضرورة عن ١٧٠ ثانية. فينبغي إذن مراعاة التزامن بين رواد الفضاء المستقبليين والأرض بدقة؛ حتى لا تصل الأوامر إلى سكان المريخ المؤقتين بصورة مبكرة أو متأخرة. وقد أثبت أينشتاين في مقالته المؤسسة لمبدأ النسبية أنه مهتم بهذه المشكلة. ولتحقيق التزامن بين ساعتين بعيدتين إحداهما عن الأخرى، يتعين حتميًّا أن نأخذ بعين الاعتبار هذا الفارق المرتبط بنقل الإشارات الكهرومغناطيسية.

(١٠) المكان والزمان لم يخرجا سالمين من المعالجة

كان أسلوب أينشتاين في مقالته بسيطًا ودقيقًا في آن واحد، فكان يتفادى أي صيغة تفضيل أو أي تصريح رنان، فكان بمنزلة أسلوب باحث مبتدئ لكنه واثق من نفسه، وليس أسلوب منشور ثوري. ومع ذلك فبعد أن تناول نتائج المقدمات المنطقية المذكورة، وجد أينشتاين نفسه أمام مفهوم جديد للمكان والزمان. «فإن كل نظامِ عطالة له طريقة خاصة فيما يتعلق بمرور الوقت، فالساعة التي يحملها معه لا تدق بسرعة مساوية لسرعة الساعات ذات الحركة المنتظمة.»

لا يؤثر تغير إيقاع سير الساعات المتحركة على إطار حياتنا اليومية، فإن السرعات التي نقيسها أضعف بكثير من أن نستطيع كشف تغير ما في سرعة ساعتنا وفقًا لتحركنا. ولا تتعلق الثورة التي أحدثها أينشتاين إلا بالمواقف التي يكتسب فيها الجسم المتحرك سرعة قريبة أو مساوية لسرعة الضوء. وكان ذلك حال جسيم اكتُشف عام ١٩٣٧؛ أي بعد ظهور مبدأ النسبية بفترة. إن «الميوون» هو إلكترون كثيف (كتلته أكبر ٢٠٧ مرات). وخلافًا للإلكترون أو البروتون فهو غير ثابت: وينشطر آجلًا أو عاجلًا. ولا يمكن لأحد أن يتوقع متى سينشطر ميوون محدد، ولكن في ظل وجود حزمة من الميوونات نستطيع القيام بتنبؤات إحصائية تكون أكثر دقة، لا سيما أن عدد الميوونات أكبر. وفي المتوسط ينشطر نصفها بعد ردح من الزمن يبلغ ١٫٥ × ١٠⁻⁶ ثوانٍ. وبعد ١٫٥ × ١٠⁻⁶ ثوانٍ أخرى لا يبقى إلا ربعها، ويظل عددها يقل أسيًّا. وتمثل مجموعات الميوونات ساعة إحصائية لا يمكن أن يغير شيئًا من سرعتها.

تعد الميوونات معروفة جيدًا لأنها تَنتج بلا انقطاع بارتفاع ١٠ كيلومترات تقريبًا، عندما تصطدم جزيئات الغلاف الجوي بجسيمات مشحونة قادمة من محيطٍ ما بين النجوم، وتُسمى «الأشعة الكونية». وتتحرك الميوونات الناتجة بصفة عامة من أعلى إلى أسفل، وبسرعة قريبة من سرعة الضوء.[١٦] ولكن في خلال ١٫٥ × ١٠⁻⁶ ثوانٍ حتى لو بسرعة الضوء، لن يستطيع الميوون أن يعبر إلا ٤٥٠ مترًا، لدرجة أنه من بين ٤ ملايين ميوون تنتج في الغلاف الجوي يجب أن يبلغ واحد فقط مستوى البحر، وهو ما تكذِّبه المراقبة بوضوح، فلا تنشطر غالبية الميوونات إلا بعد أن تبلغ سطح الأرض. وتفسر نظرية أينشتاين بصورة بسيطة للغاية هذه المتناقضة التي تبرز تحديدًا التشوهات التي يشهدها المكان والزمان في مواقف تتدخل فيها سرعة قريبة من سرعة الأرض.

فلنتخيل مراقبًا أرضيًّا يوجه أنظاره إلى كرونومتر شديد الدقة موجود على متن سفينة فضاء تتحرك بسرعة منتظمة قريبة من c. فسوف يلاحظ المراقب أنه بداخل السفينة يكون سير الساعة أبطأ من سيرها على الأرض. لا يكون الفارق محسوسًا إلا بين ساعتين تكون سرعتهما النسبية قريبة من c، لدرجة أن هذه التجربة تُعتبر من الخيال العلمي.[١٧] ولكنها تصبح تجربة يومية إذا استبدلنا بسفينة الفضاء ميوونًا، واستبدلنا أيضًا برائد الفضاء الآليَة الغامضة التي تحكم انشطار الجسيم. ويمكن تفسير وفرة الميوونات التي تصل إلى السطح بأن: الساعة الداخلية للميوون التي تعمل بمجرد تولده تدق بالسرعة التي يفرضها عليها تشوه المكان والزمان. فعندما يصل الجسيم إلى السطح

لا تسجل ساعته ١,٥ × ١٠⁻⁶ ثوانٍ، فالتأخير يكون أكبر كلما كانت سرعة الميوون قريبة من c.

وعلى غرار المدة تُصاب الأطوال بهذا التشوه الغريب، فنحن نعتبر أن المسافة التي تفصل الغلاف الجوي عن الأرض تساوي ١٠ كيلومترات. وفي المقابل لا تتخطى المسافة التي يعبرها الميوون الشديد السرعة مئات الأمتار، لكن لا يستطيع أحد أن يقول إن نظامه المرجعي مفضل عن غيره. فلنا الحق في التأكيد على أنه من وجهة نظرنا سار الميوون ١٠ كيلومترات، في حين أن الميوون له الحق في التأكيد على أنه وفقًا لنظامه المرجعي الخاص لم يتحرك إلا ٤٥٠ مترًا. ولا تُرجح كفة إحدى وجهتي النظر على الأخرى. وفي الحياة العادية ربما يمكن تجنب صراعات كثيرة إذا كان يوجد مثل هذا التسامح إزاء الآخر.

بقي مفهومَا الزمان والمكان المطلقين لنيوتن. ولكنْ في هذا العالم الغريب الذي خضعت فيه المفاهيم، التي يجب ظاهريًّا عدم المساس بها، إلى تفكير موظف شاب في مكتب براءات الاختراع؛ ثمة مقياس آخر حَلَّ محل هذين المفهومين على صعيد الكونية؛ ألا وهو «سرعة الضوء التي تتخذ دائمًا قيمة ثابتة أيًّا كانت سرعة المصدر أو المستقبِل.»[١٨] وفي مقالةِ «كهروديناميكية الأجسام المتحركة» كان أينشتاين قد سلَّم بأن سرعة الضوء غير مرتبطة بالمصدر. وفي البداية لم يكن قد قال شيئًا عن المستقبِل، ولكن الترابط المنطقي للحِجاج اضطلع بما تبقى: تَساوي سرعة الضوء c للمستقبِل والمصدر على حد سواء.

تبتعد عنا المجرات الأكثر بعدًا بسرعات كبيرة، لا سيما أن مسافاتها بعيدة. وتمثل هذه السرعات جزءًا مهمًّا من c، إلا أن الضوء يصل إلينا بالسرعة غير المتغيرة التي تبلغ ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية، ولكن تردد الإشعاع الصادر يخضع لانزياح نحو الأحمر الذي يفسر متناقضة أولبرز. ولم يكن لويس دي شوزو مخطئًا حينما اقترح أن ضوء النجوم الأكثر بعدًا يضعُف في أثناء طريقه، ولكن كان ينقصه فقط سبب هذا الضعف.

(١١) حل المتناقضة

عندما نَصِفُ تشوُّه الزمان والمكان الذي يشهده سلوك الميوونات، يحرك العديد رأسهم ويؤكدون أنهم لا يستطيعون الفهم. وفي الحقيقة إن كلمة «فهم» هي ذاتها محل تشوه.

ومن وجهة نظر الجميع، وفيهم الفيزيائيون، يعد سلوك الجسيمات التي تقترب سرعتها من سرعة الضوء صادمًا للبديهة. فمع أن حياتنا اليومية تشهد اختراعات تقنية عديدة، فإنها لم تجعلنا قط نتعامل مع مركبات أو قذائف ذات سرعة قريبة من سرعة الضوء. فنحن نُقذف بالنيوترينوات والميوونات ولكننا لا ندرك. وبذلك يغرقنا مبدأ النسبية بصورة مفاجئة في عالم مجهول. فكيف نتعجب من شعورنا بالغربة؟ وعندما اكتشف المستكشفون الأوائل لأستراليا خُلد الماء؛ هذا الحيوان الغريب من الثدييات البيوضة الذي يمتلك نوعًا من المنقار المسطح والشوكة السامة؛ لم يصدقوا أعينهم. وقد اتهمهم علماء الطبيعيات الذين مكثوا في أوروبا بالخداع، فكانت خبراتهم لا تؤهلهم لهذا المنظر. فلماذا يكون رد فعلنا مغايرًا عندما يقص علينا أينشتاين حكايات لا تُصدق؟

إذا كان محترف الفيزياء مصدومًا مثل أي شخص آخر من السلوك الغريب للمكان والزمان اللذين يتحليان بسرعات كبيرة، فهو لديه ميزة لا يمكن إهمالها؛ فهو يتميز عن الآخرين الذين لم يتلقوا تأهيلًا مثله؛ فهو قادر على اتباع التسلسل المنطقي الذي قاد أينشتاين وخلفاءه إلى طرح الرؤية الوحيدة للعالم التي تتفق مع مجموعة الوقائع التي تراكمت على مدار قرون عدة لتأييدها. ويكون الفيزيائي مرهف الحس أمام جمال الصرح النسبي وبساطته، ويعتاد بصورة أفضل على تشوهات المكان والزمان كلما ظهرت كلَّ يوم في المعجلات الكبيرة ملاحظات جديدة تعزز نظرية أينشتاين. ويحتفظ بذهوله إزاء الفاعلية غير المعقولة للرياضيات في فهم العالم الفيزيائي.

لنظرية النسبية الخاصة فضْل آخر؛ فقد قدمت حلًّا للمتناقضة التي حولت سرعة الضوء في الفراغ إلى ثابت كوني، في حين أن الاعتقاد السائد آنذاك هو أن كل سرعة تُعتبر مقياسًا نسبيًّا. وبما أن المراقب يحصل دائمًا على قيمة ثابتة، لا تخضع سرعة الضوء إلى التفرقة بين السرعة النسبية والسرعة المطلقة.

الفصل السادس عشر

الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي

(١) خطأ، خطأ جسيم ...

في قصة «حول القمر»، يقص علينا جول فيرن الحكاية الغريبة لأمريكيَّين يُدْعيان إمبي باربيكان والقبطان نيكول، اللذين اعتبرا أنفسهما رائدَي فضاء في القرن التاسع عشر، وذلك برفقة الفرنسي ميشيل أردان.[١] ركب ثلاثتهم داخل كرة مدفع ضخمة من المفترض أن يطلقها رأسيًّا مدفع أكثر ضخامة. ولإضافة طابع ساخر على الحكاية جعل جول فيرن أحداث قصته تدور في فلوريدا ليس بعيدًا عن كيب كانيفرال. ومن المفترض أن تسمح السرعة المكتسبة للقذيفة ببلوغ القمر الذي قرر المتواطئون احتلاله، فهم لا يشكون في أنهم سوف يجدون على قمرنا الظروف اللازمة لمعيشتهم.

نجا الرجال الثلاثة بأعجوبة من القذيفة الهائلة التي أطلقها المدفع الذي أرسل الكرة إلى الفضاء، ولا يعطينا جول فيرن تفسيرًا فيما يتعلق بهذه النقطة. فيمكن أن تبدأ الرحلة إلى القمر. ومن حسن حظ الأبطال الثلاثة مرت الكرة بالقرب من شبيه صغير للقمر كان عالم الفلك فريدريك بوتي (١٨١٠–١٨٩٥)، من مدينة تولوز، قد اعتقد أنه اكتشفه. وعندما مر هذا القمر المصغر بالقرب من المركبة الفضائية، مارَس عليها قوة جاذبية كفيلة بجعلها تنحرف عن مسارها وتفوت موعدها مع القمر. وبعد القيام بدوران كامل حول القمر، استعان رحالة الفضاء الثلاثة ببعض الصواريخ التي اصطحبوها معهم احتياطيًّا. فسوف يسمح لهم هذا الاختراع الصغير بالعودة إلى الأرض عبر السقوط الحر. ويشاء القدر أن يسقطوا في المحيط وأن تطفو الكرة على سطح الماء وأن ينجوا جميعهم من سقوط رهيب من ارتفاع ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر، كانت الصدمة حتمًا أكثر عنفًا من صدمة الانطلاق.

من وجهة النظر العلمية كانت الأخطاء التي ترصع هذه القصة السعيدة مقبولة أحيانًا وفظة أحيانًا أخرى، ولكن يجب أن نأخذ بعين الاعتبار العصر الذي كُتبت فيه قصة جول فيرن، فإن تأهيله القانوني لم يكن يهيئه لتأليف أعمال علمية، ولا تكفي قراءة المجلات لتعويض هذه الثغرات، ولا سيما في الفيزياء أو في علم الفلك. وبذلك نعذر بكل سرور رواد الفضاء الثلاثة، الذين ركبوا بمحض إرادتهم بداخل الكرة، لاستعانتهم بميزان الحرارة القصوى والدنيا لقياس «درجة حرارة الفراغ».[٢] ففي عام ١٨٧٠؛ أي تاريخ نشر هذه القصة، كانت الديناميكا الحرارية، وهي علم الحرارة، لا تزال في بداياتها. وإذا شعرنا براحة في مناسبة أخرى من أن أبطالنا نجوا بالكاد من الاصطدام بنيزك متوهج، فإننا نظل في حيرة عندما نعلم أن هذا المشهد دار في الفراغ، فكيف يمكن للنيزك أن يكون مضيئًا؟ لا يطيل جول فيرن الحديث في هذه النقطة. ولا تعد هذه القائمة المكتظة بالأخطاء شاملة. فلنعترف أن ذلك ليس له أي أهمية، فإن جول فيرن مؤلف ذو قيمة أكبر من شهرته ككاتب للمراهقين أو كمستبِق للوقائع، فهو يجسد المفهوم الرومانسي للتقدم المحرَز في القرن التاسع عشر، وهو ما يعدُّ حاليًّا فكرة عفَّى عليها الزمن أكثر من الأفكار الرجعية لعصر المعرفة.

ولكننا نجد في «حول القمر» خطأً آخر بالغًا لا يرتكبه أي كاتب حالي، حتى لو كان لا يشاهد التلفاز إلا قليلًا، ويتعلق هذا الخطأ «بحالة انعدام الجاذبية»، فبفضل الشاشة الصغيرة تابعْنا كلُّنا روادَ فضاء يطيرون بداخل سفينة فضاء، فمن أجل التحرك يتكئون على الجدران، ولا يحدث هذا الموقف إلا عندما يكون المحرك متوقفًا فتتحرك المركبة بحريَّة في الفضاء. وكان من الممكن أن يتخيل نيوتن مثل هذا المشهد إذا كان قد تناول الرحلات إلى الفضاء. وبما أن كل الأجسام تخضع لقوة الجاذبية الموجودة في كل مكان في الفضاء، فهي تكتسب تسارعًا متساويًا أيًّا كانت كتلتها. وبالمعنى الحرفي لا يخضع رحالة جول فيرن إلى انعدام الجاذبية، فهم يستسلمون مثل الكرة لسيطرة الأجرام السماوية المحيطة ويتبعونها في سقوطها الحر أو في دورانها حول الأرض. فلتضعوا بعض الحصى في علبة مغلقة وأسقطوها من أعلى برج بيزا، فسيكون الحصى بداخل العلبة في «حالة انعدام جاذبية»، ويقلد رواد الفضاء في مركبتهم الفضائية. وإذا كان لا يزال ضروريًّا إقناع من لا يصدقون، فيمكن تثبيت آلة تصوير صغيرة بداخل العلبة.

يجهل جول فيرن كل ذلك، فيعيش رحالته بداخل الكرة كما نعيش نحن بداخل غرفة عادية، وفقط عندما وصلت الكرة إلى نقطة انعدام الجاذبية،[٣] بدءوا في الارتفاع في الجو مثل ما تذكره الأساطير عن رهبان اللاما التبتيين.

«حتى الآن، بالرغم من ملاحظة الرحالة أن هذا التأثير [تأثير الثقالة] يتناقص تدريجيًّا، فإنهم لم يكونوا قد اعترفوا بانعدامه التام. ولكن في هذا اليوم، نحو الساعة الحادية عشرة صباحًا، وبعد أن أفلت كوب من يد نيكول لم يسقط بل ظل معلقًا في الهواء [...].

وسريعًا أصبحت أشياء عديدة وأسلحة وزجاجات معلقة في الهواء، وظلت هكذا كأنه بفعل معجزة، حتى الكلبة ديان التي وضعها ميشيل في الفضاء تعلقت بصورة مبهرة في الهواء مثل كاستون وروبرت هودين، ولكن دون أي خدعة، ولكن لا يبدو أن الكلبة تدرك أنها تطير في الهواء.

وهم أيضًا كانوا مندهشين ومتعجبين [...] وكانوا يشعرون بأن جسمهم لا يخضع للثقالة، وعندما كانوا يمدون أذرعهم يجدونها لا تسارع في الهبوط، وكانت رءوسهم تهتز على أكتافهم، ولم تعد أقدامهم تلمس قاع القذيفة؛ فكانوا مثل السكارى الذين يفتقدون للتوازن. فقد صنع الخيال رجالًا فقدوا انعكاسهم وآخرين فقدوا ظلهم! ولكن الحقيقة هنا عبر انعدام قوى الجاذبية صنعت رجالًا لم يعد شيء فيهم ذا وزن، رجالًا فقدوا هم ذاتُهم وزنهم!

وإذ فجأة قفز ميشيل فارتفع عن سطح القذيفة وظل معلقًا في الهواء ثم لحق به صديقاه سريعًا، وعندما كان ثلاثتهم في وسط القذيفة كانوا يمثلون صعودًا إعجازيًّا.»[٤]

يوجد في الفضاء سلسلة من النقاط «المجردة» التي تتساوى فيها جاذبية القمر بالضبط مع جاذبية الأرض، وتقع إحداها على الخط الذي يصل بين مركز كلٍّ من الجرمين السماويين. وفيما يتعلق بالكرة التي كانت تقترب من الرحالة، وضع جول فيرن ثلاثة افتراضات: إما أن تتخطى النقطة الدقيقة وتسقط في النهاية على القمر، أو نظرًا لافتقادها للسرعة تسقط على الأرض، «أو أخيرًا باكتسابها لسرعة كافية لبلوغ النقطة المجردة ولكن غير كافية لتخطيها، فتظل معلقة إلى الأبد في هذا المكان بين السمت والنظير.»[٥] وهو ما يعتبر خطأً آخر لجول فيرن. فمن الصعب أن يبقى جسم متحرك ثابتًا في نقطة انعدام الجاذبية مثل صعوبة حفاظ البيضة على توازنها فوق عصًا رأسية. وأخيرًا ضل جول فيرن عندما اعتقد أن الإقامة بالقرب من نقطة انعدام الجاذبية هي الوسيلة الوحيدة لإلغاء الثقالة الظاهرية. فيمكننا القيام بذلك بكل بساطة بالصعود على متن مركبة فضاء ثم إيقاف المحرك.

(٢) الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي

يمكن أن نعذر أخطاء جول فيرن بما أن أينشتاين تحدث في هذا الصدد عن «الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي».

في عام ١٩٢٢ خلال مؤتمر عقد في طوكيو قال أينشتاين عبارة مدهشة: «عندما كنت جالسًا على مقعد في مكتب براءات الاختراع في برن، طرأت لي فجأة فكرة: عندما يسقط الإنسان سقوطًا حرًّا لا يشعر بوزنه. كنت مذهولًا؛ فقد أثرت فيَّ كثيرًا هذه التجربة التي تمت عن طريق التفكير فقط وقادتني إلى نظرية الجاذبية.» يعود هذا الوحي إلى عام ١٩٠٧. وفي ذلك العام كان رسام معماري في برن يعتلي سطحًا ما، وقد فقد توازنه ووقع على الأرض، وبما أنه نجا من الحادث زاره أينشتاين وسأله عن شعوره في أثناء السقوط. وبعد ضغط من الأسئلة ربما ردَّ عليه الرسام بأنه قد فقد شعوره بوزنه.[٦] «ففي أي نظام يسقط سقوطًا حرًّا يحدث كل شيء كأن آثار الجاذبية قد أُلغيت.»

إن هذه الفكرة وامتدادها؛ أي مبدأ التكافؤ الذي سنتناوله لاحقًا، هي التي اعتبرها نيوتن الأكثر توفيقًا في حياته. فحتى منتصف القرن العشرين؛ أي قبل تكاثر الرحلات البشرية للفضاء ودخول التلفاز في حياتنا اليومية، كانت حالة انعدام الجاذبية مفهومًا قلما يُذكر، ولكنه كان ينتمي بحق إلى فيزياء نيوتن، ولم يكن يمثل أمرًا حديثًا بأي حال من الأحوال. ولو كان جول فيرن قد عرض مخطوط «حول القمر» على فيزيائي، لكان لفت انتباهه إلى أن حالة انعدام الجاذبية في الكرة هي القاعدة وليس الاستثناء.

ولكي نفهم بصورة أفضل تسلسل فكرة أينشتاين يجب أن نعود إلى عام ١٩٠٥.

(٣) العلاقة بين الكتلة والطاقة

عندما نُشرت مقالةُ «كهروديناميكية الأجسام المتحركة» لم يكن أينشتاين قد وصل بعدُ إلى نهاية عامه الإعجازي، فبعد عدة أسابيع من نشر هذه المقالة المؤسسة لنظرية النسبية في مجلة «أنالن دير فيزيك»، نَشَر في المجلة ذاتها أثرًا آخر من آثار تاريخ العلوم: «هل تعتمد عطالة جسمٍ ما على الطاقة التي يحتوي عليها؟» وفي هذه المقالة التي نُشرت في ثلاث صفحات نجد العلاقة الشهيرة:

$$E = mc^2$$

وترسخ هذه العلاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة.[٧]

يعد تفسير هذه العلاقة أساسيًّا للفيزياء وللإنسانية جمعاء. فعندما عبر لافوازييه عن الحكمة القائلة إنه «لا شيء يضيع، لا شيء يُخلق بل كل شيء يتحول»، فكانت لا تتعلق إلا بالكتلة. وفي القرن التاسع عشر عندما أصبحت الطاقة مقياسًا مهمًّا في الفيزياء، لاحظ البعض أنها تخضع أيضًا لاقتراح لافوازييه. ولكن أينشتاين في مقالته الصغيرة يؤكد أن الكتلة يمكن أن تتحول إلى طاقة[٨] والعكس صحيح، لدرجة أن «ثنائي الكتلة–الطاقة هو الوحيد الذي يخضع لمقولة لافوازييه.» وفي الحياة العادية لا يغير اكتشاف أينشتاين شيئًا، فمن أجل رفع درجة حرارة لتر ماء ١° يتعين توفير طاقة قدرها ٤١٨٥ جول؛ أي ما يعادل وحدة حرارية كبيرة.[٩] وخلال العملية، تزيد طاقة الماء وكذلك كتلته. ويساوي معامل التحويل c^2. وبما أن c تساوي ٣ × ١٠^٨ أمتار في الثانية، فنحصل على زيادة الكتلة بالكيلو بقسمة ٤١٨٥ على ٩ × ١٠^١٦، وهو ما يساوي تربيع ٣ × ١٠^٨. وفي النهاية فإن لتر الماء الذي ترتفع حرارته درجة واحدة تزيد كتلته ٠,٠٤٦ جزء من مليار جرام. ويمكن إذن أن نفهم أن المجربين الأكثر حكمة لم يلاحظوا هذا التغير، فهو لا يمكن كشفه.

إن الاكتشاف الذي لا يمكن التحقق منه ليس له أهمية كبيرة، ولكن أينشتاين يفكر في بعض الظواهر غير المفسرة التي قد تكون ذات علاقة بتحول الكتلة إلى طاقة: «ليس من المستبعد أن نستطيع التحقق من النظرية بواسطة أجسام يتغير محتواها من الطاقة بنسب كبيرة مثل ملح الراديوم.» في عام ١٩٠٥ كانت العمليات الإشعاعية لا تزال غامضة. وتذكر الملاحظة بالتبادلات الهائلة للطاقة التي كان يتم ملاحظتها في نظائر الراديوم. فكانت ماري كوري وزوجها بصفة خاصة مندهشين من كمية الحرارة الناتجة عن عينة صغيرة من الراديوم. فعندما يوضع في المعمل يرفع درجة حرارة الهواء المحيط بلا هوادة، وعندما يُترك أسابيع وشهورًا وسنوات يستمر في توليد الحرارة. فهل اكتشفنا الحركة الأبدية؟ وإذا لم يكن ذلك هو الحال، فأين يذهب هذا المخزون الهائل من الطاقة؟ اقترح أينشتاين أن ثمة عملية مجهولة تُحوِّل كتلة الراديوم إلى طاقة ثم إلى حرارة. وبما أن معامل التحويل c^2 يكون ضخمًا، يمكن أن تدوم الظاهرة دون أن نلاحظ انخفاض الكتلة.

كانت رؤية أينشتاين صحيحة لمرة أخرى، فإن العملية التي تحول الكتلة إلى طاقة هي تحوُّل يؤثر على النواة الذرية. وسوف نجد أمثلة أخرى في المفاعلات النووية، وللأسف في قنبلتَي هيروشيما ونجازاكي.

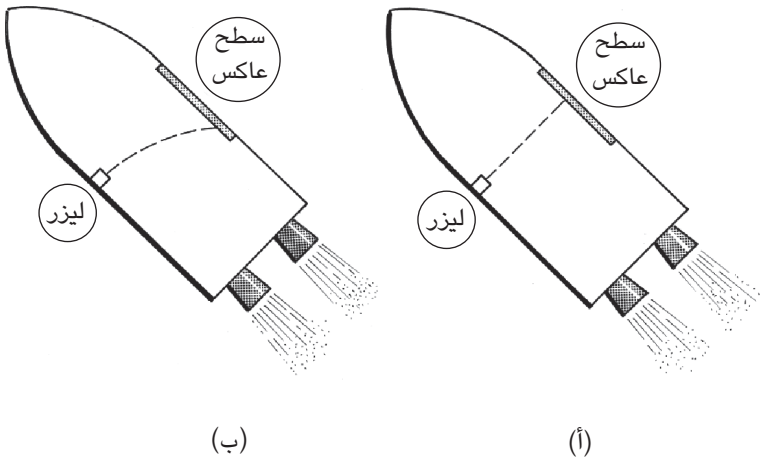
يحتوي التكافؤ بين الكتلة والطاقة على عنصر آخر، فهو يفترض أنه كلما تسارع جسم متحرك تزيد كتلته، مما يُعبر عنه بزيادة عطالته: فمن أجل الحفاظ على تسارع ثابت للجسم المتحرك، يتعين ممارسة قوة متزايدة. ويفسر هذا الموقف العنوان الذي اختاره أينشتاين لمقالته: «هل تعتمد عطالة جسم ما على الطاقة التي يحتوي عليها؟» وعندما تقترب سرعة الجسم المتحرك من سرعة الضوء، تزيد كتلته، لدرجة أنها تتصدى في النهاية لأي زيادة لاحقة للسرعة.[١٠] «فتبدو سرعة الضوء كحد أقصى لنقل الكتلة والطاقة.»

يتعارض هذا التأكيد الأخير مع قانون الجاذبية الكونية، والسبب بسيط، فلنتخيل أن الشمس انغمرت فجأة في العدم، فخلال ثماني دقائق — وهو الوقت الذي يستغرقه الضوء لعبور المسافة بين الأرض والشمس — سنستمر في رؤية نجم النهار والاستمتاع بأشعته. وفي المقابل وفقًا لنيوتن، قد يختفي تأثير جاذبية الشمس في الحال. وعندما تغادر الأرض مدارها الإهليجي، ستسرع عند خط المماس بطول مسار مستقيم،[١١] وهو ما يسمح لنا بأن نقول إن قانون الجاذبية الكونية لنيوتن يعكس تأثيرًا فوريًّا عن بعد، وهو ما يعد سلوكًا غريبًا أصبح مشتبهًا فيه بصورة واضحة منذ أن مثلت سرعة الضوء حدودًا لكل العمليات الفيزيائية الأخرى. فلماذا قد تمثل الجاذبية استثناءً؟

(٤) سمبليتشو وسالفياتي يزوران المجرة

نحن الآن في عام ٢١٠١. وعلى بعد عشرين سنة ضوئية من الشمس يدور «العالم الجديد»، وهو كوكب شبيه جدًّا بكوكبنا، حول الشمس. وقد قرر أهل الأرض إرسال بعثة إلى هذا الكوكب، ويعد الصاروخ الآن بعيدًا جدًّا عن الأرض والشمس، لدرجة أن قوة الجاذبية أصبحت غير محسوسة. ويكون تسارع المركبة الفضائية منتظمًا، فيولد بداخل الغرفة قوَى عطالةٍ مقابلة لاتجاه السير، ويكون تأثيرها داخل المركبة بالضبط كتأثير قوة الجاذبية على سطح الأرض. وتنسب قوى العطالة إلى الأجسام الموجودة على متن المركبة الفضائية ما لا يمكن كشفه من وزن، فشريطة أن يكون التسارع ثابتًا بقيمة g، وهو التسارع الذي يخضع له جسم في أثناء سقوطه الحر على سطح كوكبنا، تكون راحة رواد الفضاء مضمونة، فيعيشون كأنهم في حقل الجاذبية على سطح الأرض.

يقوم هنا سمبليتشو قائد المركبة بدور قائد فريق علمي مكون من علماء فلك وفيزيائيين ومهندسين. وفي صباح يوم ما استدعى سالفياتي، فكلاهما يتحدث إلى الآخر بصيغة الأصدقاء. ما أعجب هذا التطور الذي شهدته العلاقة بينهما منذ عهد جاليليو!



شكل ١٦-١: يتحرك صاروخ بسرعة منتظمة وبعيدة عن أي مجال جاذبية، فبداخل حجرة رائد الفضاء يُصدر الليزر حزمة مستقيمة تصطدم بوسط السطح العاكس (أ). وإذا تسارع الصاروخ تلتوي حزمة الليزر. ويسمح تحرك نقطة التلامس بقياس تسارع الصاروخ (ب).

سمبليتشو: أحتاج إلى مساعدتك يا سالفياتي، فمنذ انطلاقنا كل شيء يسير على ما يرام ولا يوجد ما يستدعي القلق، ولكن في الساعات التي سوف تسبق الهبوط عندما سنشعر بقوة جاذبية العالم الجديد، سيتعين عليَّ أن أوقف عدة مرات المحرك لضبط مسارنا. وفي هذا الوقت، ولكي نضمن نجاح العملية، قررت أن أقيس تسارع الصاروخ بداخل المركبة، فما رأيك؟

سالفياتي: أنا متأسف يا سمبليتشو، فذلك مستحيل، فعندما تتوقف المحركات سنكون في حالة انعدام الجاذبية، ولن نشعر بأي تسارع، فربما كان ذلك رد نيوتن عليك.

فهم سمبليتشو جيدًا درس نيوتن وخلفائه، ولكن على غرار سلفه أهمل الاطلاع على نظريات أينشتاين. ومن الجدير بالذكر أن هذه الأفكار ظلت صعبة لمن لم يتلقوا التأهيل الملائم. وعلى الرغم من أن سمبليتشو رأى أن سالفياتي يهز رأسه ويسعى إلى مقاطعته، فإنه واصل حديثه بهدوء.

سمبليتشو: بدلًا من أن تقول تفاهات، من الأفضل أن تتركني أكمل حديثي، فإن طريقتي تسمح بقياس التسارع حتى في حالة انعدام الجاذبية.

يتعلق الأمر بوضع جهاز إرسال ليزر على الجدران الجانبية للصاروخ، ونوجهه إلى سطح عاكس وُضع أمام الجهاز. فإذا كان الصاروخ يتحرك حركة مستقيمة ومنتظمة، فسوف تُسلط الحزمة الضوئية على وسط السطح العاكس بالضبط كما لو كان الصاروخ غير متحرك (شكل ١٦-١أ)، والذي يتطلب ذلك هو مبدأ النسبية لجاليليو.[١٢] هل تلاحظ يا سالفياتي أنني تجاوزت فيزياء أرسطو التي كان يشير إليها سلفي! فلنقرَّ الآن بأن الصاروخ يتسارع. فعندما تخرج الحزمة الضوئية من جهاز الإرسال، تحتفظ بالسرعة الفورية التي كان يمتلكها الصاروخ وقت إطلاقها. فمن المتوقع أن تتجه الحزمة إلى وسط السطح العاكس، ولكن فقط بشرط واضح؛ وهو ألا تتغير سرعة الصاروخ. وفي المقابل إذا زادت سرعة الصاروخ بين وقت إطلاق الحزمة ووقت استقبالها، فإن هذه الحزمة ستتأخر بالضرورة وستصطدم بالسطح العاكس في نقطةٍ تقع أكثر إلى الوراء (شكل ١٦-١ب). ولا يغير الوجود المحتمل لمجال الجاذبية شيئًا في هذه العملية، فهو يؤثر على الكتل لا على الضوء. وحتى حينما سيكون صاروخنا في مدار حول العالم الجديد، ونكون نحن في حالة انعدام الجاذبية، فسيقيس النظام الذي أقترحه تسارع الصاروخ. هل ما زلتَ منتبهًا لما أقوله يا سالفياتي؟

سالفياتي: ما زلت منتبهًا ولكنك ستتلقى مفاجأة صادمة؛ فعندما سنكون في حالة انعدام جاذبية لن ينجح نظامك؛ فسوف تصطدم حزمة الليزر دائمًا بوسط السطح العاكس بالضبط كما لو كان صاروخنا يتحرك بسرعة منتظمة على بعد ألف سنة ضوئية من أي جرم سماوي. فيؤكد «مبدأ التكافؤ» أنه لا تسمح أي تجربة فيزيائية بالتمييز بين نظام متسارع وحقل جاذبية.[١٣]

سمبليتشو: أنت تزعم إذن أن الحزمة الضوئية تكون بالضرورة مستقيمة في حالة انعدام الجاذبية؟ فكِّرْ فيما تقول، فذلك يفترض أنه ربما تتعرض الحزمة الضوئية لالتواء إذا كانت تجربة الليزر أجريتْ قبل رحيلنا عندما كان الصاروخ متأهبًا للانطلاق وثابتًا في مجال جاذبية الأرض. فلتعترف أنه من الصعب تصديق ذلك وأني أحتفظ بموافقتي حتى اليوم الذي أرى فيه ذلك بعيني! فإن النظام المتسارع ومجال الجاذبية مفهومان مختلفان، لدرجة أنني لا أستطيع أن أقبل أن يطالبا بوحدة طبيعتهما.

(٥) مبدأ التكافؤ

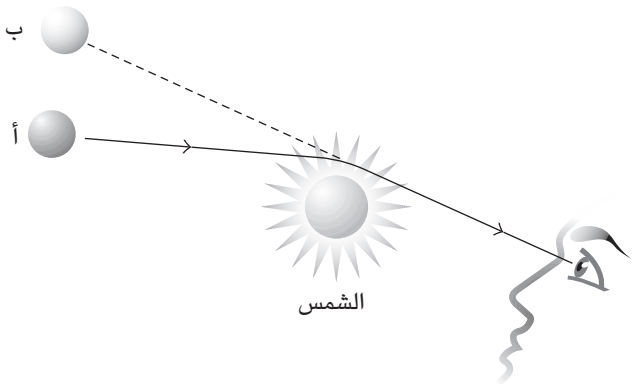
كان سمبليتشو مخطئًا حينما رفض تصديق مبدأ التكافؤ الذي صاغه أينشتاين في عام ١٩٠٧، والذي ينص على التشابه بين نظام متسارع ومجال جاذبية. وقد تحقق الرياضي والجيوفيزيائي المجري لوراند أوتفوس (١٨٤٨–١٩١٩) بدقة بالغة من أن كل الأجسام في مجال جاذبية تكتسب تسارعًا متساويًا بالضبط مثلما يكون الحال في مجال تسارع. وفي عام ١٩٦٤ أكدت تجارب قام بها روبرت ديك هذا التشابه في السلوك باختلاف مائة جزء من المليار.

تثبت هذه التجارب التشابه بين الأنظمة المتسارعة ومجالات الجاذبية، ولكن للميكانيكا فقط. وفي المقابل وسع أينشتاين مجال تشابه السلوك ليشمل كل تجارب الفيزياء. وحتى ذلك الوقت لم يكن أحد قد انشغل بسلوك الضوء في حقل جاذبية، فكان الجميع يقر بأن مجال الجاذبية ليس له أي تأثير على انتشار الضوء، وهو فكْر مسبق راسخ لا سيما أن هذا التأثير — إذا كان موجودًا — لن يكون إلا ضعيفًا جدًّا. ولكن أينشتاين لا يتعامل بحذر مع الجاذبية، فهو الذي كان قد زعزع مفهومنا عن الزمن. «هل تريدون أن تعرفوا سلوك الضوء في مجال جاذبية؟ فيكفي أن تفكروا في الطريقة التي ينتشر بها في نظام متسارع، فإن الدراسات التي عرضتها في «كهروديناميكية الأجسام المتحركة» هدفها إرشادكم، فهي تفترض أن الأشعة الضوئية التي تتحرك أفقيًّا داخل نظام متسارع يكون لها مسار ملتوٍ. ويكون الأمر مطابقًا في مجال جاذبية، فلا فرق بين الحالتين ...»

عندما لقن سالفياتي سمبليتشو درسًا، كان واثقًا مما يقول، وكان يستطيع ذكر الكسوف الكلي للشمس الذي حدث في ١٩١٩، ففي هذا العام اتجهت بعثتان علميتان إلى نقطتين على سطح الكرة الأرضية ستكون الظاهرة مرئية فيهما، الأولى تقع في غرب أفريقيا والأخرى في البرازيل. وخلال الدقائق القليلة التي سيكون فيها نجم النهار محجوبًا، كان أعضاء البعثتين مكلفين بتصوير الجزء القريب من الشمس في السماء، وكان الهدف هو التحقق من أن النجوم المرئية بصورة مؤقتة قد تحركت بفعل الظلام مقارنة بمكانها الحقيقي (شكل ١٦-٢). وكان التحقق المنشود على صعيد الكم والكيف. فقد توقع أينشتاين أن تنحرف حزمة ضوئية مجاورة بمقدار ١,٧٥ ثانية قوسية، وهو ما لاحظه بالفعل علماء الفلك باختلاف أن قياس الانحراف كانت تحوم حوله شكوك كبيرة.

كانت بعثة عام ١٩١٩ مدهشة بما أنها اعتمدت على مساعدة كسوف كلي لها في أعمالها، فقد كانت بعد نهاية حرب دامية. وبين عشية وضحاها قلبت حياة أينشتاين، فبالرغم من الشكوك التي تحوم حول القياس، فإن البعض رفض التشكيك في نجاح العملية.[١٤] وتحول أينشتاين إلى أيقونة على الساحة الدولية، فأصبح «البروفسور أينشتاين» لا يبرح مكانه إلا ويلحق به حشد من الصحفيين. فكان يبهر الحشود مثل الفيلسوف الإغريقي ديوجين وبرميله الكبير الذي كان يبهر الناس بالرغم من عدم أناقته وعدم اهتمامه بمظهره. وكان البعض يطالب أينشتاين باتخاذ موقف في قضايا عديدة ليس لها أدنى صلة بكونه عالمًا. فقد أعلن عن تأييده لتشريع الإجهاض والمثلية. وقد ظل أحد مواقفه شهيرًا، فبالرغم من كونه مؤيدًا بشدة للمذهب السلمي فإنه كتب رسالة في عام ١٩٣٩ إلى الرئيس روزفلت وحرص فيها على تنبيهه بآخر تطورات البحث في مجال الطاقة النووية. وأشار أينشتاين إلى أن تصنيع القنابل النووية محتمل أيضًا على المدى البعيد. وكان قد كتب هذه الرسالة بتحريض من زميلين هاجرا مثله إلى الولايات المتحدة، أو ربما كانا قد أملياها عليه. فكان أينشتاين يخشى من الطريقة التي قد يستخدم بها النازيون الطاقة النووية.

فلنعد إلى الصاروخ، فبينما يكون تسارعه منتظمًا، نضع مصدرًا ضوئيًّا ذا تردد دقيق في الخلفية ونضع لاقطًا في مقدمة الصاروخ. ونعرف أنه وفقًا لتأثير دوبلر المذكور في الفصل الثامن «يعتمد التردد الذي يقيسه اللاقط على سرعته المقيسة مقارنة بالمصدر». وذلك ما يحدث في هذا الموقف، فبما أن الصاروخ يتسارع، تزيد سرعته بصورة طفيفة بين وقتَي الإطلاق والاستقبال: لا يتفق التردد الذي يقيسه اللاقط بالضبط مع تردد الضوء الصادر. وهنا يأتي دور مبدأ التكافؤ: فإذا كان هناك اختلاف بين الترددات في صاروخ متسارع، فينطبق الأمر ذاته على مجال جاذبية الأرض. يكون التأثير ضعيفًا للغاية، لدرجة أنه لم يتم التحقق منه إلا في ١٩٦٠ بواسطة باوند وريبكا. فقد قاما بوضع مصدر إشعاعي عند سفح برج جامعة هارفرد. وكان تردد الموجة الصادرة[١٥] محددًا بدقة. ولتكوين فكرة بسيطة، يعمل المصدر كشوكة رنانة ذات تردد عالٍ جدًّا. وعلى ارتفاع عدة طوابق أو ما يساوي ٢٢,٥ مترًا، وضع المجربان عينة إشعاعية مماثلة تُستخدم كلاقط. ولا تبدأ الشوكة الرنانة الثانية في الاهتزاز إلا إذا كان تردد الإشعاع الممتص مساويًا بالضبط لترددها. ولكن لكي يحدث ذلك يتعين على المجربين تعويض تأثير دوبلر الجاذبي بتأثير لدوبلر يرتبط باختلاف السرعات. وقد نجحا في ذلك بتحريك



شكل ١٦-٢: لكي يمكن رؤية نجم ما بالقرب من الشمس، يتعين أن يكون نجم النهار محجوبًا وأن يكون الكسوف كليًّا. فوفقًا لمبدأ التكافؤ تنحرف قليلًا الحزمة الضوئية المجاورة لحافة الشمس. فيرى المراقب الأرضي أن النجم الذي أصدر الحزمة الضوئية يبدو أنه يوجد في الموقع (ب) وليس في (أ) مكانها الحقيقي. ويقل الانحراف الحقيقي كثيرًا عما هو مبين في الصورة.

اللاقط من أعلى إلى أسفل بسرعة جزء من الألف ملِّيمتر في الثانية، وهو ما يبرز صعوبة هذا العمل.

يجدر بالذكر أنه في تجربة هارفرد يمثل كلٌّ من المصدر واللاقط «ساعات ذرية». في الساعات التقليدية يعتبر تردد البندول هو مقياس الوقت، أما في المصادر الإشعاعية فيُستبدل بالبندول اهتزاز النواة خلال إطلاق شعاع جاما، ولكن لا يختلف المبدأ. فنحن نستعين بتردد ثابت لقياس المُدد. وفي حقل جاذبية، يتطلب مبدأ التكافؤ أن يكون ثمة فارق طفيف بين ساعتين موضوعتين في مستويين مختلفين. ولوصف هذا التأثير، يدور الحديث حول «تحرك الأشعة أو تفاوتها في مجال للجاذبية.»

(٦) النتائج غير المتوقعة لمبدأ التكافؤ

تعد الشوكة الرنانة آلة بسيطة تهتز بتردد محدد بصورة جيدة، وهو أيضًا تردد الصوت الناتج. وعلى الرغم من اختلاف الطبيعة والحجم، يمكن أن ينطبق هذا القول على مصدر

ضوئي أو على جسم إشعاعي. وإذا كان تردد الإشعاع الصادر دقيقًا، فهذا يعني أن النظام الذري أو الجزيئي أو النووي المُصدِر للأشعة يحتوي بداخله على آلية تهتز بتردد مساوٍ. فما تتطلبه أي ساعة هو اهتزاز دقيق ومستمر، وهكذا يعد التشابه مع المصدر الإشعاعي مبررًا.

يمكن اعتبار المصدر واللاقط الذي يعلوه بـ ٢٢,٥ مترًا في تجربة هارفرد بمنزلة ساعتين مصنوعتين بطريقة مماثلة، ولكن يوجد اختلاف طفيف بينهما. ففي حالة الساعتين المزودتين ببندول أو ساعتي الجيب المزودتين بالمرو لا شيء يثير الدهشة. ولكن في حالة الذرات أو الجزيئات أو النوى، يعد الأمر أكثر إثارة للدهشة. فإن هذه الآليات للعالم المجهري تجهل الأعطال والتلف وآثار درجة الحرارة والضغط، كل هذه العوامل التي من شأنها أن تسبب خللًا في سير الساعات. فإن تشابه ذرتين أو نواتين ليس مثل تشابه نموذجين للساعة نفسها صنعهما المصنع ذاته في اليوم ذاته. فقد نقول إن الذرتين أو النواتين متشابهتان لدرجة كبيرة، فلا شيء يميز بينهما. وبذلك كيف نفسر أن سير المصدر لا يكون بإيقاع سير اللاقط نفسه؟

لا يوجد بديل، فإن المصدر — وهو ساعة بلا عيوب — يتقدم بصورة أبطأ قليلًا من اللاقط؛ لأنه عند سفح المبنى «يمر الوقت بصورة أبطأ» من مروره على ارتفاع بعض الطوابق حيث وُضع اللاقط. ويعد الفارق حقًّا طفيفًا للغاية.

(٧) هل يمثل مبدأ التكافؤ متناقضة؟

يؤكد مبدأ النسبية أن أي نظامَي عطالة متشابهان من وجهة نظر قوانين الفيزياء (الفصل الخامس عشر). ولا يمكننا الاعتماد على أي قانون فيزيائي لقياس السرعة المطلقة لنظام عطالة محدد، بما أنه لا معنى لهذا التعبير. فعندما أعلن أينشتاين عن مبدأ التكافؤ، صاغ استحالة مماثلة. ففي غرفة رائد فضاء بداخل صاروخ لا توجد أي تجربة فيزيائية تسمح بالتمييز بين آثار تسارع مستقيم وآثار مجال للجاذبية، شريطة أن يكون منتظمًا.[١٦] فيتعين النظر عبر النافذة لمعرفة هل كان الصاروخ يرتكز على السطح أو يوجد على مسافة بعيدة من أي جرم سماوي، وأن محركاته دائرة.[١٧]

عندما نفكر جيدًا في مبدأ التكافؤ، لا نجد فيه ما يثير التعجب إلى هذا الحد. فعندما تُترك الأجسام الكثيفة في مجال للجاذبية، فهي تتصرف بطريقة مماثلة، فيلتوي مسارها، وقد يكون على شكل قَطع مكافئ إذا كان المجال منتظمًا. وكان نيوتن يعلم ذلك بالفعل.

فإن المطالبة بأن يكون مسار الضوء مستقيمًا هي بمنزلة الرغبة في ترسيم حدود بين ما هو موجود وما لا وجودَ له، فذلك عمل شبه ميئوس منه بما أنه، وفقًا لميكانيكا نيوتن، ترسم الكتلةُ غيرُ المعدومة — أيًّا كان صغرها — مسارًا على شكل قطع مكافئ، ولا يعتمد هذا الشكل إلا على سرعتها. أما اليوم، بعد اقتناعنا بأن النيوترينوات لها كتلة، فلم ننجح في قياسها نظرًا لضعفها. ولو لم يكن أينشتاين قد صاغ مبدأ التكافؤ لكان فيزيائيو الجسيمات استطاعوا التأكد من أنها ليست معدومة بمراقبة مسار النيوترينوات في مجال للجاذبية.[١٨] فدون مبدأ تكافؤ ربما كانت الكتلة تُساوي جزءًا من مائةٍ أو جزءًا من مليارٍ من كتلة الإلكترون، أو ربما أقلَّ من ذلك مليار مرة، وربما كان المسار قطعًا مكافئًا ولكنه ربما صار مستقيمًا إذا كانت الكتلة معدومة تمامًا. هذا غريب، فلو لم يكن مبدأ التكافؤ موجودًا لكان يتعين اختراعه.

ومع ذلك قد يصبح التكافؤ بين الكتلة والطاقة باطلًا إذا كان الشعاع الضوئي لم يتأثر بوجود مجال جاذبية. وقد اخترع أينشتاين نفسه مفهوم الضوء[١٩] الذي يُقصد به مُكوِّن الموجة الكهرومغناطيسية. وعلى حد علمنا، فإن كتلته معدومة تمامًا ولكنه يجرف معه طاقة ما. فكيف لا تتصرف هذه الطاقة أمام الجاذبية مثل الكتلة؟

وفي النهاية يصعب اعتبار مبدأ التكافؤ متناقضة، بل هو نقطة انطلاق صلبة لصياغة نظرية الجاذبية المتفقة مع مبدأ النسبية.

(٨) صيحات استهجان ضد التأثير عن بعد

بعد أن صاغ أينشتاين مبدأ التكافؤ نحى جانبًا نظرية الجاذبية بصورة مؤقتة، وكانت له أسباب وجيهة؛ فكانت تشغله مواضيع بحث أخرى وكانت أيضًا بداية مسيرته الأستاذية، في عام ١٩٠٩ عُين أستاذًا مشاركًا للفيزياء النظرية في كلية هندسة زيورخ، ثم أصبح في عام ١٩١١ أستاذًا ذا كرسي بجامعة براج. وفي العاصمة التشيكية كرَّس أفكاره مجددًا للجاذبية.

كان إلغاء مفهوم التأثير عن بعد جزءًا من خطة أينشتاين. فقد كان نيوتن من قبل قد تبنى موقفًا براجماتيًّا، وكان يحذر من التأملات التي لا طائل منها بشأن أصل الجاذبية. وكان شكل قانون الجاذبية الكونية يناسبه بما أنه كان يفسر كل الملاحظات، ولكن ذلك لم يمنعه من أن يكتب في يوم ما: «إن كون الجاذبية [...] أساسيةً إلى هذه الدرجة لكي يستطيع جسم ما أن يؤثر على جسم آخر عن بعد عبر الفراغ ودون مساعدة

بيئة محيطة [...] يمثل لي فكرة غريبة جدًّا [...]» وفي بداية القرن العشرين كان التأثير عن بعد لا يزال يسود قانون الجاذبية؛ نظرًا لعدم وجود بديل أفضل. وفي المقابل كانت الكهرومغناطيسية قد استُبعدت بفضل أعمال فاراداي وماكسويل.

وعندما تخضع شحنة كهربائية لقوة ما في نقطة في الفضاء، فذلك يعني أنها في هذه النقطة تخضع لتأثير «مجال كهربائي أو مغناطيسي». ويصعب أن نتصور ما هو المجال، فإن الشحنات والتيارات الكهربائية والمغناطيس تولد بالقرب منها مجالات قد تكون ساكنة أو متحركة. وإذا مرت شحنة بالقرب من شحنة أخرى أو من مغناطيس فتنحرف عن مسارها، ليس بفعل تأثير عن بعد، بل لأنها تتواصل مباشرةً مع المجال الذي يسود بالقرب من الشحنة أو المغناطيس. ذلك كان تفسير فاراداي وماكسويل، ويكتمل معنى هذا التفسير عندما تتحرك مصادر هذه المجالات، بما أن المجالات أيضًا تتحرك حينئذٍ، وبما أن ماكسويل يشير إلى أنه في الفراغ يتم هذا الانتشار بسرعة c؛ فإن المجالات الكهرومغناطيسية المتحركة ليست إلا موجات كهرومغناطيسية!

يكون مجالٌ ما مصحوبًا بطاقة يحملها معه عندما يتنقل. وباستثناء الكتلة، يمتلك هذا المجال كل خصائص المادة وعلى غرارها أيضًا يمثل الفضاء إطارًا لتطوراته.

كان من المثير تطبيق المنهج ذاته على الثقالة أو الجاذبية، فلا يهم الاسم الذي نطلقه عليها، ولكن في الوقت الذي عكف فيه أينشتاين على هذه المشكلة كانت الأمور غامضة نوعًا ما، فكل ما كان معروفًا هو أن الجاذبية تخضع لقانون نيوتن. فكيف يتم إلغاء التأثير عن بعد مع الاحتفاظ بمميزات قانون الجاذبية؟

(٩) زمكان مشوَّه

في عام ١٩٠٧ منحت الحياة لأينشتاين أول فرصة للثأر. فعندما كان طالبًا في كلية الهندسة، كان أستاذه عالم رياضيات ألمانيًّا كبيرًا يُدعى هيرمان منكوفسكي (١٨٦٤–١٩٠٩)، وكان مثْلَ كثير من زملائه يعتبر أينشتاين هاويًا؛ لكيلا نقول هاذيًا. وعندما علم منكوفسكي بأعمال تلميذه السابق تحلى بالشجاعة والأمانة وراجع حكمه وأصبح أحد التلاميذ الأوائل لأينشتاين! وفي حين أن نيوتن كان قد قام بتعريف الزمان والمكان المطلقين كلٌّ على حدة، أثبت منكوفسكي أن اكتشافات أينشتاين كانت قد أسست المفهومين في كيان واحد؛ وهو «الزمكان» الذي تحدث بداخله الظواهر الفيزيائية. وعلى مسافة بعيدة من أي جرم سماوي لا يحمل الزمكان أي مفاجأة. وتتحرك الأشعة الضوئية في خط

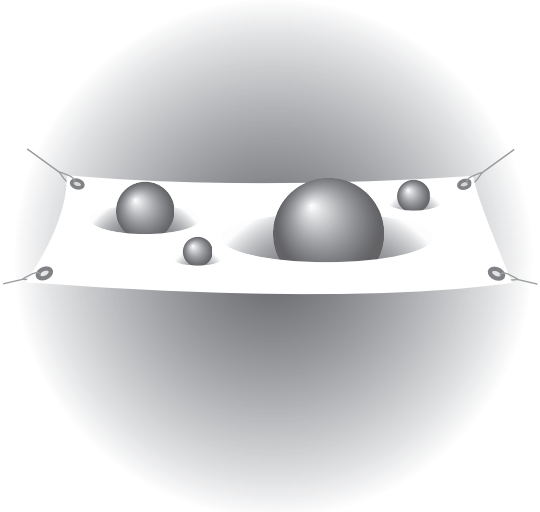
مستقيم ويمر الوقت في كل الأماكن بسرعة ثابتة، وحينما تكون الساعات غير متحركة فيما بينها يمكن جعلها متزامنة. وفي المقابل تتعقد الأمور بالقرب من جرم سماوي فتنحرف الأشعة الضوئية وتختلف الساعات فيما بينها، ويكون ذلك مؤشرًا على تشوه الزمكان.

في فيزياء نيوتن إذا رسم القمر قطعًا ناقصًا حول الأرض، فذلك لأنه يخضع بصورة دائمة لقوة جاذبية تُعد النموذج الأولي للتأثير عن بعد. وفي المقابل إذا كان حقيقيًّا أن كوكبنا يشوه الزمكان بجواره، فتحْتَ تأثير هذا التشوه يدور القمر حول الأرض بدلًا من أن يكون مساره مستقيمًا. فعندما يسقط حجر من أعلى برج بيزا وعندما يرسم القمر قطعًا ناقصًا حول الأرض، «فهما يتلقيان الأوامر من المكان المحيط»، فالأرض لا تجذب ولا تدفع الجسمين المتحركين، فهي تشوه المكان حولها مما يحدد حركتهما.[٢٠] وثمة صورة غالبًا ما نتخيلها عن هذا التأثير الذي ينقسم إلى زمنين؛ وهي صورة الصفيحة المطاطية الممدودة التي توضع عليها كرات ذات أحجام مختلفة (شكل ١٦-٣). وإذا حركنا كرة دون أن نلمس سواها، فسوف تتحرك الكرات المجاورة أيضًا، ولكنها لن تستجيب فورًا للاضطراب. وعلى غرار كل الصور تعد صورة الصفيحة غير مكتملة لكنها معبرة.

كان أينشتاين لا يزال في طور التأمل البحت، ومن أجل بلوغ الهدف المحدد وإقناع المجتمع العلمي كان يتعين عليه أن يكون قادرًا على وصف تشوه الزمكان بصورة متجانسة. وعندما يتوصل إلى ذلك يجب أن يربط بينه وبين كتلة الأجرام السماوية المحيطة. وأخيرًا، في حالة ابتعاد تفسير أينشتاين الجديد للجاذبية عن تفسير نيوتن، يتعين عليه أن يثبت أن النظرية الجديدة تظل قريبة للغاية من نظرية نيوتن فيما يتعلق بالتنبؤات الرقمية. فإن نظرية نيوتن ترسم بدقة بالغة حركة الكواكب والقمر الأرضي والأقمار الأخرى، بخلاف بعض الاستثناءات الصغيرة التي لا تفسر بمفردها مثل هذا الدوران.

لا يزال كل ذلك تأملًا غامضًا فيتعين على أينشتاين إقامة علاقة دقيقة بين جرم سماوي والتشوه الذي يتسبب فيه بالقرب منه، ويجب عليه أيضًا تحديد طريقة استجابة حَجَر أو القمر لتشوه المكان، وإلا فسيظل مشروعه وهمًا.

في عام ١٩١٢ عاد أينشتاين إلى زيورخ، ولحسن حظه عُين أستاذًا بكلية الهندسة، ويبدو أنه في ذلك الوقت اكتشف طريقًا يقوده إلى تحقيق الهدف الذي يَنشُدُه. فتذكر



شكل ١٦-٣: إذا مددنا صفيحة مطاطية ووضعنا عليها بعض الكرات، فإن كلًّا منها ستشوِّه حاملها بقدر حجمها. فإن الكرة الصغيرة التي قد نطلقها على الصفيحة سوف تتبع مسارًا ملتويًا يحدده وجود الكرات الصغيرة دون أن تتم مع ذلك ممارسة تأثير مباشر بين الكرات على الصفيحة والكرات الصغيرة. وتخضع الكرات نفسها إلى التأثير غير المباشر لكل الأجسام الأخرى الموضوعة على الصفيحة.

أنه خلال فترة دراسته أعجبته إحدى محاضرات الرياضيات بصفة خاصة: «تذكرتُ فجأة أن نظرية جاوس كانت جزءًا من محاضرة الهندسة التي كان يلقيها جيزر [...] وأدركت أن أسس الهندسة لها معنًى في الفيزياء.»[٢١] ربما كانت هي الذكرى الأكثر روعة في حياته.

الفصل السابع عشر

الجاذبية مسألة هندسية

(١) كيف نتعرف على طالب استثنائي في فصل مكتظٍّ بالطلبة؟

نحن في نهاية القرن الثامن عشر في مدينة براونشفايغ[١] ويُدعى معلم المدرسة بوتنر. وفي فصل مكون من حوالي أربعين طالبًا يقوم هذا المعلِّم بالتدريس في الوقت ذاته لمراحل سنية مختلفة، فعندما يخصص حديثه إلى إحدى هذه المراحل، يكلف باقي الطلبة بمهمة قاسية جدًّا كي يتركوه وشأنه. وفي يوم ما طلب منهم جمع الأرقام الصحيحة من واحد إلى مائة، ولكن سرعان ما انتهى أحد هؤلاء المنبوذين الأشقياء ووضع اللوح الذي كتب عليه على الطاولة.

إذا كانت المهمة تبدو للطلبة طويلة وغير مجدية، فهي بدائية للمعلم بمجرد امتلاكه لبعض المبادئ الأساسية للجبر. وكان بوتنر يتأمل الطلبة الذين يتصببون عرقًا في سخرية، إلا أنه اضطرب بسبب سلوك جاوس الصغير أحد أفراد المرحلة السِّنِّية التي بدأت لتوِّها فصول علم الحساب. فقد خطَّ هذا الطفل الذي يبلغ عشرة أعوام شيئًا على لوحه بصورة سريعة ثم وضعه على الطاولة، والتزم الصمت بعدها. اعتقد بوتنر أنه طفل غير مهذب وينبغي معاقبته سريعًا. ثم حان الوقت الذي انتهى فيه الجميع من عملهم الإضافي، وعندما عاين المعلم الألواح ظل مندهشًا؛ فإن جاوس لم يكتب على لوحه إلا رقمًا: ٥٠٥٠، وهو نتيجة العملية.

كان الرياضي والفيزيائي وعالم الفلك الألماني كارل فريدريتش جاوس (١٧٧٧–١٨٥٥) يحب أن يقص هذه النادرة في نهاية حياته، فلم يكن أحد من قبل قد علمه كيف يجمع متتالية حسابية، وهو تسلسل يختلف كل رقم فيه عن سابقه بكم محدد (١ في هذه الحالة) ولكن لم يمنعه ذلك من اكتشاف مفتاح المسألة فورًا.

لُقب جاوس بـ «أمير الرياضيين» ويُعتبر أكبرهم، فقد قدم دليل نضجه المبكر قبل أن يبلغ العاشرة من عمره. ففي سن ثلاثة أعوام سمع والده يقوم بحساباته مع عماله، فنبهه إلى وجود خطأ وأقر الأب أن ابنه محق، ونجهل كيف كان قد تعلم الحساب.

ووفقًا لما ذكره من كتبوا سيرة جاوس، فهو كان يَدين بذكائه إلى أمه وبصحته إلى أبيه الذي كان حرفيًّا يبني نافورات وحدائق. وهذا يعني أن والد جاوس لم يكن يشبه ليوبولد موزارت، وأنه لم يفعل شيئًا لتشجيع مسيرة ابنه المهنية. ولو كان كارل فريدريتش تشبَّه بوالده فقط لكان عمِل بحرفته. ولكن حكم بوتنر، المعلم المنتقد، كان قويًّا بدرجة كافية، فقد اشترى من جيبه الخاص لجاوس الصغير أفضل كتاب ممكن عن علم الحساب، وسلم الطفل بصفة خاصة إلى مساعده الشاب يوهان مارتن بارتلز. فقد كان هذا المساعد العاشق للرياضيات مكلفًا بتعليم الكتابة للمبتدئين. وبعد عدة أعوام عُين أستاذًا في الرياضيات بجامعة كازان. فكان جاوس في أيدٍ أمينة، ويستطيع أن يبدأ مسيرته.

في عام ١٨٠٧ بعد أن تردد جاوس على جامعة جوتنجن عُين مديرًا لمرصد هذه المدينة. وقد يبدو غريبًا أن رياضيًّا بهذه القيمة قد أمضى حياته المهنية على رأس مرصد فلكي. ولكن كان ذلك بالنسبة له خيارًا منطقيًّا؛ فلم يكن وضعه المالي مستقرًّا في الوقت الذي قبِل فيه هذا المنصب. ولكن لا تعد الحجج المالية كافية لتفسير قراره، فعندما تُحسب حركات الأجرام السماوية الخاضعة لقوانين نيوتن كانت التعقيدات ضخمة، ولا عجب إذا كان جاوس قد أراد قبول التحدي. ففي عام ١٨٠١ كان قد أثبت بالفعل مهارته. فكان سيريس، أول كويكب معروف، قد اكتُشف في الأول من يناير من العام ذاته، ولكنه سرعان ما توارى عن أنظار علماء الفلك؛ لأن مساره جعله يمر بالقرب من الشمس. ولكن بواسطة بعض الملاحظات الدقيقة نجح جاوس في حساب مسار الكويكب الضال بابتكار منهج إحصائي جديد لا يزال مستخدمًا حتى الآن.

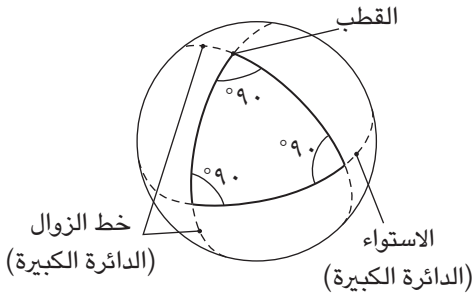
(٢) الكيف بدلًا من الكم

حصل أمير الرياضيين خلال مسيرته على النتائج الأكثر إثارة للدهشة في نظرية الأرقام، وهو ما لم يمنعه من تحقيق اكتشافات أساسية في فروع أخرى من الرياضيات. وعندما

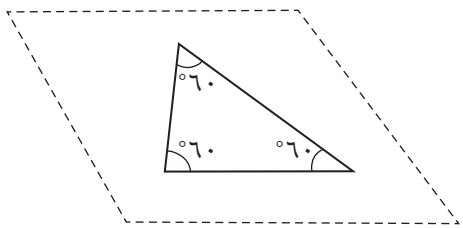
نشر جاوس «قليلٌ من الفواكه، لكن ناضجة»، كان يفضل الكيف على الكم. وقد كشفت دراسة مذكراته التي صدرت بعد وفاته عن عدد هائل من الاكتشافات التي لم تُنشر قط. وإذا كان نيوتن يأبى أن ينشر اكتشافاته خوفًا من ردود فعل الآخرين، فإن الحاجة إلى الإتقان هي التي كانت تمنع جاوس.

كان جاوس رياضيًّا في المقام الأول وعالِمَ فلكٍ في بعض الأحيان، ولكنه كان أيضًا فيزيائيًّا. وكانت إسهاماته في علم الكهرباء الساكنة والمغناطيسية بصفةٍ خاصةٍ مهمةً للغاية، وكان يهتم أيضًا بالتقنيات. ونعرف جميعًا هذه النقاط المضيئة التي تلمع على منحدر تل بعيد عندما تسطع الشمس، فهي تَنتج عن الوجود العَرَضي لسطح عاكس يرسل أشعة الشمس في اتجاهنا. وبناء على مبدأ هذه الظاهرة، صنع جاوس جهازًا مفيدًا للغاية لعلم مساحة الأرض، وهو المعكاس الشمسي، فهو مزيج من المرآة والتلكسوب؛ أي جهاز إرسال مصدره الضوئي هو الشمس. وكان جاوس يضع معكاسًا شمسيًّا في موقع معين كان يستهدفه من نقطة بعيدة لأغراض جيوديزية. وكان هذا النظام يحسن دقة القياس، فقد سمح له برسم خرائط مميزة عن مملكة هانوفر. ولكن لم يكن علم مساحة الأراضي نشاطًا ثانويًّا بالنسبة إلى جاوس، ولكنه كان مصحوبًا بعدد من الأفكار العميقة بشأن الهندسة. وتتعلق إحدى هذه الأفكار بتقوس سطح ما.

لتحليل تقوس كرة ما، من الطبيعي أن نقذفها في الفضاء، ولكن يوضح عمل مهم لجاوس أن هذا التحديد يمكن أن يتم بطريقة «ذاتية»؛ أي دون أي مرجع مع المكان الذي تغرق فيه الكرة. وتنطبق الملاحظة نفسها على كل الأسطح. ومن أجل معرفة الشكل الصحيح للأرض، ليس ضروريًّا أن نصعد إلى القمر ونراقب الأرض من أعلى: «ففي رحلات الفضاء يمكننا أن نجد بديلًا للمسح.» وخلال القرن الثامن عشر أكدت مجددًا قياسات جيوديزية دقيقة فكرة نيوتن التي تقول إن الأرض مسطحة عند القطبين ومنتفخة عند الاستواء بفعل دورانها، مما كان قد استبعد نهائيًّا اقتراحًا متناقضًا لديكارت. ولكن يوضح جاوس كيف يسمح قياس الزوايا والأطوال بالقرب من نقطة ما بمعرفة قيمة تقوس السطح. ويوضح شكل ١٧-١ بطريقة بسيطة أن خصائص المثلثات على كرة ما مختلفة عن خصائصها في السطح المستوي، فلتقوُّس السطح تأثير مؤكد على الهندسة السائدة. ويبدو جليًّا أن جاوس كان قد تساءل سؤالًا أساسيًّا: «هل تعد الهندسة علمًا تجريبيًّا؟»



(أ)



(ب)

شكل ١٧-١: يكون نظير الخط المستقيم على كرة ما هو خط «الدائرة الكبيرة» (يتفق مع أقصر طريق بين النقطتين المحددتين). وهنا، لا تُحترم قواعد الهندسة المسطحة. ويمكننا أن نتحقق من ذلك بواسطة مثلث دائري خاص يضم ثلاث زوايا ٩٠° (أ) وليس ٦٠° مثلما يكون الحال في المثلثات متساوية الأضلاع المرسومة على سطح إقليدي (ب).

(٣) كيف يجب أن يكون تصوُّرنا عن الهندسة؟

كان يتعين على البابليِّين أو المصريين أن يتقنوا سلسلة من القواعد الهندسية في أعمال المسح التي كانوا يقومون بها. وكان البابليُّون يجيدون نظرية فيثاغورس قبل المعلم الساموسي بألف عام، ولكن لا شيء يشير إلى أن ذلك كان أكثر من معرفة فطرية. ثم أتى اليونانيون، فتغيرت الهندسة تمامًا من فيثاغورس إلى إقليدس، فلم يعد الأمر يتعلق بتطبيق وصفات مساح على الهندسة، بل ببنائها في صرح منطقي صلب ومتماسك

وجمالي في آن واحد. فقام اليونانيون باكتشاف كبير؛ وهو البرهنة التي قادت منطقيًّا طالبَ الرياضيات إلى استنتاجٍ لا يمكن دحضُه انطلاقًا من مقدمات منطقية مقبولة.

تبدو الهندسة سلسلة من الإثباتات تقود كلٌّ منها إلى صيغة نظرية، وهو ما يعد مرحلة من مراحل بناء أي أثر. ويستند العمل بأكمله على «مسلمات» لاقتراحات بسيطة تُعتبر بديهية. ولا يمكن إثبات المسلمات، فهي تصلح كأساس للصرح بأكمله. ولا يكون اختيارها عشوائيًّا، فيجب أن تمثل كلًّا متماسكًا وليس متناقضًا. ولا تكون أي مسلمة زائدةً عن اللزوم فكلٌّ منها ضروري. وبذلك تمثل قائمة النظريات التي نتوصل إليها مجموعة اقتراحات هندسية معترف بها.

تتعلق الهندسة، مثلما جاءت في كتاب «العناصر» لإقليدس، بخصائص «الأشكال المسطحة» مثل المثلث أو الدائرة. ويخبرنا هذا الكتاب بصفة خاصة بأن مجموع زوايا مثلثٍ ما يساوي دائمًا زاويتين عموديتين؛ أي ١٨٠°. ولم يكن الرياضي السكندري يكتفي بالهندسة المسطحة، فمدَّ دراسته إلى المكان الثلاثي الأبعاد.[٢] فيدور الحديث حول السطح والمكان الإقليديَّين للإشارة إلى إطار هندسة إقليدس.

حتى بداية القرن التاسع عشر، انشغل العديد من الرياضيين بمسألة ذات طابع منطقي وفلسفي في آن واحد؛ فقد تساءلوا حول اختيار المسلمات التي وضعها إقليدس كمقدمات منطقية لكتابه: فهل كان يمكننا تقليل عددها؟ هل يمكن استنتاج بعض المسلمات من مسلمات أخرى؟

اتبع جاوس طريقًا مختلفًا تمامًا؛ فقد اعترض على طابع هندسة إقليدس التي لا يمكن المساس بها وتساءل حول صحتها: فهل يعد المكان بالفعل إقليديًّا؟ هل يساوي دائمًا مجموع زوايا مثلث ١٨٠°؟ كان جاوس يدير بعثة مكلفة برسم خرائط لهانوفر. وبواسطة معكاسه الشمسي استهدف بعض المواقع المختلفة ورسم العديد من المثلثات بينها، فهو يعرف جيدًا أن مجموع الزوايا في هذه المثلثات يساوي ١٨٠°. ويتعين على المساح الذي يرغب في تحسين قياساته أن يخشى من الانكسار الجوي واختلاف درجات الحرارة والأخطاء البشرية أكثر من التفاوت المحتمل بين خصائص المكان الإقليدي وخصائص المكان الفيزيائي الذي نعيش فيه. ولكن رأى جاوس أنه إذا توصلنا إلى القضاء على كل مصادر أخطاء القياس، فقد نستطيع ملاحظة أن مجموع زوايا مثلث «تجريبي» لا يساوي ١٨٠° بل بالأحرى ١٧٩° ٥٩′ ٥٩,٩٩٩″. وربما يعتمد مجموع الزوايا أيضًا على حجم المستطيل.[٣]

(٤) الهندسة لا تهبط من السماء

تكمن جدارة أي عالم كبير في إثارة طلابه وإيضاح طرق جديدة يستطيعون استكشافها. وكان ذلك هو ما حدث مع جاوس الذي كان تلميذه هو ريمان.

كان الرياضي الألماني جورج فريدريتش برنهارد ريمان (١٨٢٦–١٨٦٦) روحًا نقية، وكان متواضعًا وخجولًا ومتشككًا يخشى التحدث أمام الجموع، وهو طبع لا يهيئه إطلاقًا للشهرة ويختلف مع جرأة فكره العلمي. وكان ريمان مثل جاوس يبحث بشدة عن الإتقان. وكانت كتاباته قليلة، ولكن كانت إصداراته بمنزلة الروائع. فكان مولعًا بالتاريخ ومولعًا بصورة أكبر بالرياضيات. وعندما التحق بجامعة جوتنجن درس في البداية علم اللاهوت لإرضاء والده الراعي البروتستانتي، ولكنه سرعان ما اتجه إلى الرياضيات وانتقل إلى جامعة برلين التي كانت آنذاك المنبر الأعلى للرياضيات الألمانية.

وعند عودته إلى جوتنجن عرض ريمان مخطوط أطروحته على جاوس الذي تحمس لها، وهو ما لم يكن يحدث إلا نادرًا عندما يتعلق الأمر بعمل الآخرين. ثم حان وقت مناقشة أطروحة «التأهيل» التي تسمح في دول الاتحاد الألماني بالتدريس في الجامعات. وكان يتعين على ريمان تنظيم مؤتمر تجريبي، واقتراح ثلاثة موضوعات لمؤتمرات في الكلية. وبصورة عامة طلبت الكلية من المرشح تقديم أول موضوع وربما الثاني أيضًا. وكان الموضوع الثالث الذي اختاره ريمان يتعلق بأسس الهندسة. وكانت معالجته صعبة للغاية، لدرجة أن ريمان لم يكن لديه وقت كبير للبحث فيه. ولكن هذا الاقتراح الثالث شغل بال جاوس لحسن الحظ، فقد اضطر المرشح البائس وغير المهيأ بصورة كافية إلى تقديم موضوع صعب أمام أمير الرياضيين الذي ظل طيلة حياته يفكر في هذا الموضوع دون أن ينشر شيئًا في هذا الشأن.

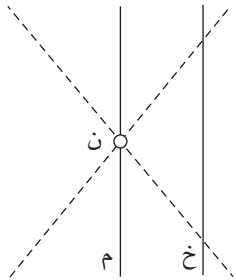
أصيب ريمان بوعكة صحية — وستظل حالته الصحية سيئة دائمًا — ولم يكن لديه إلا وقت قصير لتحضير درسه التجريبي. ولكن نهاية الأساطير تكون دائمًا سعيدة. ففي عام ١٨٥٣ نظم ريمان مؤتمرًا مجردًا من الملامح التقنية التي قد تثير استياء أعضاء الكلية غير المتعمقين في الرياضيات، فاستقبله جاوس بحماس. وكانت الرسالة التي حملت عنوان «حول الافتراضات الخفية عن الهندسة» رائعةً من روائع تاريخ الرياضيات. فقد طبق على الأماكن مختلفة الأبعاد النتائج التي كان جاوس قد توصل إليها بنفسه حول الأسطح. وفيما يلي ما قاله الرياضي والفيلسوف الإنجليزي ويليام كليفورد (١٨٤٥–١٨٧٩) عن ريمان: «أوضح ريمان أنه مثلما يوجد أنواع مختلفة

من الخطوط والأسطح، يوجد أيضًا أنواع مختلفة من الأماكن ثلاثية الأبعاد، وبواسطة التجربة فقط يمكننا أن نعرف إلى أي نوع ينتمي المكان الذي نعيش فيه.»[٤] تم عبور هذه الخطوة وهو ما يعد حدثًا جللًا.

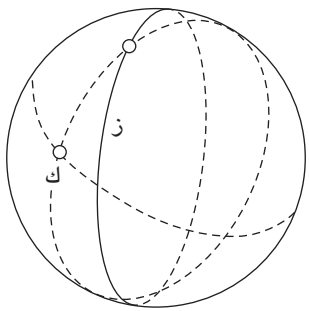
فلنرسم في السطح الإقليدي خطًّا مستقيمًا «خ» ونثَبت نقطة خارج هذا الخط. ويمكننا أن نمرر عبر هذه النقطة خطًّا مستقيمًا واحدًا ليس له أي نقطة مشتركة مع (خ). ويكون هو الخط المستقيم الموازي لـ (خ). يمثل هذا الاقتراح في الهندسة الإقليدية مسلمة، «مسلمة إقليدس الخامسة»، فهي إذن أساسية ولكن لا يمكن أن تنتقل دون تغيير إلى سطح ما مثل الكرة أو السطح الناقص، الذي تُستبدل فيه بالخطوط المستقيمة «خطوط جيوديزية» تمثل تعميمها الطبيعي. وعلى غرار الخطوط المستقيمة للسطح الإقليدي فهي تقوسات تشكل أقصر طريق بين نقطتين من السطح الذي تُرسم عليه. وعلى الكرة تكون الخطوط الجيوديزية هي الدوائر الكبيرة (شكل ١٧-١). وعلى كوكب الأرض، يُعتبر خط الاستواء وخطوط الزوال خطوطًا جيوديزية. فمن أجل الوصل بين مطارين متباعدين، تجعل شركات الطيران عامةً الطائرات تمر بطول الدوائر الكبرى، مما يسمح بتوفير الوقت والوقود. وتتقاطع كل خطوط الزوال عند القطبين، وهو ما يتلاءم مع قاعدة عامة: «لا يمكننا أن نمرر عبر نقطة من الكرة تقع خارج خط جيوديزي (خ) خطًّا جيوديزيًّا لا يتقاطع مع (خ)» (شكل ١٧-٢). فتوجد أسطح يمكننا أن نمرر عليها عددًا لا نهائيًّا من الخطوط الجيوديزية الجديدة التي لا تتقاطع مع الخط الجيوديزي الأولي، وذلك عبر نقطة ما تقع خارج هذا الخط.

كان إدراك ريمان أساسيًّا، فلا يوجد خارج المكان الإقليدي أماكن ثلاثية الأبعاد يُستبدل فيها بمسلمة إقليدس الخامسة مسلمة مختلفة دون أن ينتج تناقض ما. ويؤكد ريمان أن التجربة هي التي تحسم الأمر في هذه الظروف. فلنبحث إذن الخطوط الموازية أو المثلثات في المكان الفيزيائي وسوف نعرف إذا كانت تخضع للهندسة الإقليدية أم لا. فلا تهبط الهندسة من سماء أفلاطون أو إقليدس، فيتعين اختبار قوانينها قبل تبنيها. وفيما يتعلق بنا، لا يتم الاختبار إلا بواسطة قياسات خشبية أو معدنية تخضع لقوانين الفيزياء. أما فيما يتعلق بعلم الفلك، فإن القياسات الوحيدة التي نمتلكها هي مسارات الأشعة الضوئية، فهي تخضع أيضًا لقوانين الفيزياء.

تعد الهندسة فرعًا من فروع الرياضيات، ولكن يجب أن تخضع هندسة المكان الفيزيائي للتجربة.



(أ)



(ب)

شكل ١٧-٢: عبر نقطة (ن) تقع خارج خط مستقيم (خ) من السطح، نستطيع تمرير خط مستقيم واحد فقط لا يتقاطع مع (خ)، وهو الخط الموازي (م) نسبةً إلى (خ). فإن كل الدوائر الكبيرة التي تمر بنقطة (ك) الواقعة خارج خط الزوال (ز) تتقاطع على الكرة مع (ز).

(٥) عمل محفوف بالمخاطر

في عام ١٩١٢ أدرك أينشتاين أنه يتعين عليه تناول أسس الهندسة إذا كان يريد تجاوز مبدأ التكافؤ وصياغة نظرية جاذبية جديدة. فكان العمل ضخمًا وكان كل شيء يدعو إلى الاعتقاد بأنه عمل يستحيل تنفيذه.

فمن الحقيقي أن قرب جرم سماوي ما يثني مسار الأشعة الضوئية ويبطئ سير الساعات، وذلك نتيجة لمبدأ التكافؤ. وبصورة أكثر عمومية، تشوِّه الكتلة والطاقة الزمكان بالقرب منهما، ولكنها ملاحظات نوعية لا يمكن لأينشتاين أن يكتفي بها. فيتعين عليه أيضًا أن يجتاز أربعة عوائق على الأقل.

يبدو العائق الأول مرعبًا، ويتعلق بإيجاد علاقة كمية بين وجود الكتلة والطاقة وتشوه الزمكان. ولا يعد العائق الثاني أقل رعبًا فينبغي أن تكون العلاقة التي سيجدها — إذا وجدها — شبيهة جدًّا بقانون الجاذبية الذي صاغه نيوتن. وفي عام ١٩١٢ ربما لم يكن أحد قادرًا على ذكر مثال واحد جاد لموقف لا يصف فيه قانون $1/r^2$ الملاحظات بصورة كافية. فذلك مختلف عن تقلبات عطارد المفاجئة الذي يتقدم حضيضه ٤٣″ قوسية كل قرن، مما قد يبرر إلغاء قانون نيوتن عن الجاذبية (الفصل الثالث عشر). فلا تعيد أي نظرية إنتاج كل الملاحظات بالضبط، ربما لأن الملاحظات جميعها تشوبها أخطاء، أو لأن المراقب لا يجيد فهم كل الظواهر الضارة. وإذا كان قانون نيوتن عن الجاذبية غير مرضٍ في بداية القرن العشرين فذلك فقط لأنه يقر بالتأثير الفوري عن بعد. فإن القانون الجديد الذي يفكر أينشتاين في استبداله بقانون نيوتن يجب إذن أن يكون تصميمه مختلفًا تمامًا مع إعادة إنتاج مجموعة تنبؤات القانون القديم.

وبالإضافة إلى ذلك لا يفكر أحد في تقدم حضيض عطارد إلا أينشتاين تحديدًا. وفي عام ١٩٠٧ كتب إلى كونراد هابيتش أحد الخبراء الثلاثة في أكاديمية أولمبيا، ليقول له إنه تناول هذه المشكلة، وهو عمل سابق لأوانه؛ لأنه في مجال الجاذبية لا يزال أينشتاين في مرحلة مبدأ التكافؤ.

ربما كان تجاوز العائق الثالث أسهل، وإذا رأت نظرية أينشتاين الجديدة النور، فهو يعرف على الفور كيف يصف حركة القذائف على سطح الأرض أو بالقرب من أي جرم سماوي. فإذا كانت الجاذبية هي التي تشوه الزمكان، فإن تأثيرها يندرج تلقائيًّا في التشوه نفسه. فلم يعد لقوة الجاذبية تأثير، فإن أي جسم يمر في المكان المشوه لا يكون لكتلته أهمية، فهو يتبع تلقائيًّا خطًّا جيوديزيًّا للزمكان المطابق لموقعه وسرعته. لكن لماذا يكون خطًّا جيوديزيًّا؟

توجد إجابات عديدة. ففي غياب الجاذبية يتبع الجسم خطًّا مستقيمًا من الزمكان غير المشوه. ويتضح أنه في هذه الحالة البسيطة يتعلق الأمر تحديدًا بخط جيوديزي. وفي حالة وجود أجرام سماوية يتشوه الزمكان، مما يعدل شكل الخطوط الجيوديزية

التي تظل مع ذلك محددة بواسطة الهيكل الهندسي للزمكان فقط. وهذا بالفعل ما نتوقعه من مسارات جسم متحرك بما أنها لا تعتمد على كتلته.[٥] يمثل هذا المفهوم عن الحركة تعميمًا لمبدأ العطالة على سقوط الأجسام. ففي غياب الثقالة يخضع الجسم المتحرك لمبدأ العطالة برسم خط جيوديزي مستقيم، ويكون في «حالة انعدام جاذبية». وفي حالة وجود الثقالة يحدث الأمر ذاته باختلاف أن الخط الجيوديزي يكف عن الحركة المستقيمة المنتظمة. ولكنه «يشعر أنه في حالة انعدام الجاذبية!»

وفيما يتعلق بالعائق الأخير وهو عائق صعب، فعندما يتوصل أينشتاين إلى بعض الملاحظات الأساسية التي من شأنها أن ترجح كفة نظريته، عليه أن يقول: «انظروا إلى نظريتي، فهي تعيد إنتاج تنبؤات نظرية نيوتن بدقة، ولكن توجد بعض نقاط الاختلاف بين النظريتين، فأذكرها لكم لكي تتمكنوا من اختبارهما في وقت واحد وتحديد أيٍّ منهما أقرب للملاحظة.»

كانت فرص النجاح ضئيلة ولكن الأمر يستحق العناء؛ لأن أسس نظرية نيوتن لم تعد مقبولة منذ ظهور النسبية الخاصة، إلا أننا نظل حائرين من نجاح أينشتاين في كسب الرهان.

(٦) مارسيل جروسمان

كان الرياضي السويسري مارسيل جروسمان (١٨٧٨–١٩٣٦) زميل أينشتاين في الدراسة بكلية الهندسة بزيورخ. وفي مناسبات عديدة كان يساعد أينشتاين في الفترات العصيبة، فكان طالبًا نابغًا وشديد التدقيق في التفاصيل، فكان يحضر المحاضرات في مواعيدها، في حين أن زميله كان يتغيب عنها؛ نظرًا لانشغاله بقراءة كبار المؤلفين في لغتهم الأصلية بدلًا من الاستماع لمعلمين منفرين ومملين. ففي عصرٍ لم يكن الأساتذة فيه يوزعون كتيبات، كان يتعين إذن على الطلبة تسجيل ملاحظات بأنفسهم بناء على ما كانوا يسمعونه خلال المحاضرة. وقبل الامتحان كانوا يستعدون بقراءة هذه الملاحظات مرة أخرى. وفي هذه المناسبة استعان ألبرت العابث بالملاحظات التي كان جروسمان قد دونها. ويَدين ألبرت أيضًا إلى مارسيل جروسمان بتعيينه في مكتب براءات الاختراع. فقد كان مارسيل قد نبه والده إلى الصعوبات المهنية التي كان ألبرت قد تعرض لها، فتعاطف جروسمان الأب مع هذه المرافعة، فتحدث مع مدير المكتب وأوصاه بشدة بصديق ابنه.

وفي عام ١٩٠٧ سلك جروسمان طريقه في المجال الأكاديمي وأصبح أستاذًا في الهندسة بكلية الهندسة في زيورخ، فعقد محاضرات إتقان لمعلمي المدارس. وفي عام ١٩١٠ صار أحد مؤسسي الجمعية السويسرية للرياضيات. وفي العام التالي عُين عميدًا لقسم الفيزياء والرياضيات في كلية الهندسة.[٦] فبادر باقتراح كرسي الأستاذية على أينشتاين، وهو ما يعد تحولًا كبيرًا في مسار الأمور لطالب سابق لم يكن أحد يريد أن يعطيه حتى منصب معيد!

وفي هذا الوقت كان أينشتاين يعلِّم في براج وكان مطلوبًا في جامعات أخرى أو معاهد بحثية في أوروبا، ولكنه يحب المدينة التي درس بها الفيزياء ويَعرف مكانة كلية الهندسة فوافق على الفور. وعندما استقر في زيورخ كان يعلَم بالفعل أنه يجب عليه أن يستعين بهندسة المساحات إذا أراد صياغة نظرية جديدة للجاذبية. وبحثًا عن المساعدة في مجال لا يتقنه، لجأ إلى جروسمان الذي — على حد قول أينشتاين — توجه على الفور إلى مكتبة الكلية وأخبر أينشتاين منذ اليوم التالي بآخر التطورات المحرزة في هذا المجال على يد ريمان وخلفائه. ثم واصل جروسمان تعاونه مع أينشتاين حتى ١٩١٥. ففي هذا الوقت كان أينشتاين قد أقام في برلين؛ حيث صار بروفسور ومدير قسم الأبحاث بمعهد كيزر فيلهلم، وهو مركز الفيزياء العالمية الذي كان النازيون يستعدون لتدميره باسم الكراهية العنصرية.

كان لهتلر خلفاء. فالتربية التاريخية تستغرق وقتًا طويلًا حتى تتغلغل في الأذهان.

(٧) عطارد يستعيد مكانة شرعية في النظام الشمسي

كانت الحرب العالمية الأولى مجزرة دامية أطلق عليها الفرنسيون «آخِر الأواخر» حتى اندلاع الحرب التالية. كانت بمنزلة جنون جماعي تتحمل مسئوليته كل الأطراف المشتركة فيه. فعلى الجبهة لم يكن المحاربون يتركون الخنادق إلا للسقوط تحت نيران الرشاشات. وفي الخلفية كانت شعوب المعسكرَين لا تتحمل الحرمان إلا بسبب شعور دائم بالكبت يدفع إلى تحويل الإخفاقاتِ المخزية إلى تقدمٍ واعد، والمعاركِ الدامية إلى انتصاراتٍ عظيمة. فهل يمكن للثقافة والعلم أن يزدهرا في ظل هذه المعاناة؟

لا توجد قاعدة في هذا الشأن: تنبت الزهور على الروث. ففي برلين في نوفمبر ١٩١٥ وصل أينشتاين إلى نهاية بحثه، فبعد عمل شاق وسلسلة من النجاحات غير المكتملة والإخفاقات الجزئية التي لم تحبطه قط، توصل في النهاية إلى مؤشر جاد. فقد انتهى

من «نظرية النسبية العامة» التي تمثل نظرية جديدة للجاذبية تحل محل نظرية نيوتن. فماذا حدث في هذا الشتاء الثاني في أثناء الحرب؟

لا يمكن لمبدأ التكافؤ أن يكون إلا خطوة أولى في الطريق المؤدي إلى نظرية جديدة للجاذبية. فبمساعدة جروسمان عهد أينشتاين إلى نفسه مهمة اكتشاف علاقة أكيدة بين وجود الكتل وتقوس الزمكان. وقد توصل إلى هذه العلاقة في ١٩١٥، وكان السبب في تعقيدها هو مفهوم تقوس الزمكان. فبدلًا من قانون نيوتن الوحيد الذي يُرجع شكل مجال الجاذبية إلى توزيع الكتل في الكون، صاغ أينشتاين عشر علاقات. وقد يبدو هذا التفاوت صادمًا. وفي الحقيقة، ثمة وحدة جلية بين قانون نيوتن الذي يصف القوة المؤثرة على كتلة في مجال للجاذبية، هذا القانون الذي يحدد حركةَ شحنةٍ كهربائيةٍ خاضعة لمجالات كهرومغناطيسية من ناحية، ومن ناحية أخرى الوصف الذي ذكره أينشتاين للقوة التي تخضع لها كتلة بالقرب من تشوه الزمكان. ومن نوع إلى آخر من أنواع القوة، يزيد التعقيد بصورة منتظمة ولكن يظل الهيكل ثابتًا.[٧]

بمجرد أن صاغ أينشتاين نظرية النسبية العامة يتعين عليه إخضاعها للتجربة. فوضع شمسًا خيالية في نقطة ثابتة من الفضاء وكوكبًا خياليًّا أيضًا بجوارها الذي أخضعه لقواعد النسبية العامة. فغمرته سعادة بالغة تفوق تلك التي كان يطمح إليها.

فقد رسم الكوكب الخيالي قطعًا ناقصًا حول الشمس الخيالية طبقًا لقوانين كبلر. ولكن بدلًا من أن يبقى الحضيض ثابتًا في الفضاء رسمت ببطء دائرة حول الشمس. وتعتمد سرعة تحركها على متوسط نصف قطر المدار، فكلما كان صغيرًا كانت الحركة سريعة. وفي حالة عطارد يرسم الحضيض دورانًا بقيمة ٤٣″ قوسية كل قرن، وهو ما لوحظ بالضبط.[٨]

كان تحرك حضيض عطارد هو الحركة الكوكبية الوحيدة التي لم تستطع ميكانيكا نيوتن تفسيرها. وكان لوفرييه قد حاول دون جدوى أن ينسب هذه الحركة إلى كوكب وهمي، فولكان، وكان يضعه في موقع أقرب إلى الشمس من عطارد نفسه (الفصل الثالث عشر).

لقي أينشتاين ونظرية النسبية العامة نجاحًا مبهرًا؛ فقد كان التقدم البطيء لحضيض عطارد البقعة الوحيدة التي تلطخ سماء نيوتن كالغبار على قماشة ناصعة البياض. كانت الميكانيكا السماوية لنظام يحتوي على أكثر من جسمين معقدة للغاية، لدرجة أنه ربما لم يكن قد فكر في إصلاح ميكانيكا نيوتن على أساس هذا الفارق

الطفيف بين الملاحظة والنظرية، وأينشتاين شأنه شأن أي شخص آخر. ولكن بما أن تقدم الحضيض لم يكن شرطًا في صياغة نظريته،[٩] كانت النتيجة التي توصل إليها أينشتاين تمثل ما هو أفضل من مؤشر ملائم. فكان ذلك بمنزلة دليل دامغ على صحتها ومثلما قال لاحقًا: «خلال بضعة أيام، لم أكن أتمالك نفسي من فرط الحماسة.»[١٠]

(٨) الاختبارات التقليدية الثلاثة للنسبية العامة

عندما كان أينشتاين يعمل على نظريته كان قد فكر في ثلاثة «اختبارات تقليدية للنسبية العامة»، ثلاثة مواقف قد يمكن من خلالها الحسم بين نظرية الجاذبية الجديدة ونظرية نيوتن، وبين تنبؤات كلٍّ منهما. ومن ناحية ترتيب الأحداث، كان تقدم حضيض عطارد يمثل أول اختبار تقليدي للنسبية العامة، بما أن أينشتاين لم يقتنع فعلًا بصحته إلا عندما تحقق من أن النظرية الجديدة تفسر هذا التشوه.

ويثبت الاختبار الثاني، الذي أُجري في ١٩١٩، أن الشمس تتسبب في انحراف مسار الأشعة الضوئية (الفصل السادس عشر). وإذا افترضنا أن الضوء يتكون من جزيئات ذات كتلة ما وسرعة محددة جيدًا، فإن نظرية نيوتن تتفق أيضًا هي الأخرى مع وجود انحراف،[١١] ولكنها تتوقع أن ينحرف الشعاع المار بمحاذاة الشمس بقيمة ٠,٨٧″ في حين أن النسبية العامة تتوقع قيمة مضاعفة. وترجح الملاحظة كفة أينشتاين، ولكن الملاحظات التي أُجريت في ذلك الوقت كانت لا تزال غير دقيقة. فكان العديد من علماء الفلك لا يمتلكون الوسائل الرياضية اللازمة لفهم النظرية. وكانت الأمور تسير ببطء. وفي عام ١٩٥٥ عُقد في برن أول مؤتمر مخصص للنسبية العامة. وفي هذا المحفل اعترف المشاركون بأن ملاحظات انحراف الأشعة الضوئية تؤيد نظرية أينشتاين، ولكن ظل هذا الاعتراف مع ذلك يشوبه الحذر.

ويتعلق الاختبار الثالث بتحرك الأشعة في مجال جاذبية (الفصل السادس عشر). وفي المؤتمر ذاته، في ١٩٥٥، تم الإعلان عن أن محاولات قياس هذا التحرك ليست مقنعة بدرجة كبيرة. فعلى الرغم من ملاحظة أشعة الإصدار القادمة من سطح الشمس، فإنه لا يمكن استخلاص أي نتيجة مؤكدة؛ لأن الأسباب المحتملة لهذا التحرك عديدة. فعلى سبيل المثال إذا كان الغاز المُصدِر للأشعة متحركًا، فيمكن للأشعة في آن واحد أن تتحرك وأن تتسع؛ مما يحجب تأثير الجاذبية المحتمل. وفي هذه الظروف سوف تمثل تجربة باوند

وريبكا (الفصل السادس عشر) مفاجأة سعيدة؛ لأنها سوف تثبت — بلا أي غموض — وجود تأثير مرتبط بالنسبية العامة.

ها هي الاختبارات التقليدية الثلاثة للنسبية العامة، وهي متواضعة جدًّا مقارنةً بالهيكل الرياضي المعقد الذي يحظر دخول غير الخبراء إلى المعبد، والذي يفسر التحفظ الذي يبديه الفيزيائيون حياله. «في بلادنا، يوجد الكثير من الناس [الذين يدمرون موهبتهم العلمية في سبيل تأملات ميتافيزيقية] وإذا كان ينبغي للعلم أن يتقدم فلا نريد أكثر من ذلك.» «لا يستطيع أيُّ أنجلوساكسوني أن يفهم النسبية، فهُم يتصفون بالحكمة.» «منذ أن اقتحمت الرياضيات النسبية لم أعد أنا نفسي أفهم أي شيء فيها.» فهذه الجمل الثلاث كتبها ثلاثة ممن نالوا جائزة نوبل.[١٢]

ورغمًا عنها، إذا أمكننا القول، ثمة تأثير آخر للاختبارات التقليدية الثلاثة، فهي تكشف إلى أي مدًى من الدقة تصِف نظرية نيوتن الظواهر الملحوظة، ولا سيما حركة النجوم. لم تقلل النسبية العامة إطلاقًا من شأن نظرية نيوتن التي تم إهمالها، ولكنها أشارت إلى التغييرات التصورية اللازمة لجعلها متفِقة مع النسبية الخاصة. وفي بعض الظروف الخاصة، تشير أيضًا في الحقيقة إلى التصويبات التي يتعين القيام بها لكي تظَل الملاحظات متفقة مع الحقائق الواقعة.

(٩) الجيل الثاني للنسبية العامة

كانت الدلائل التجريبية للنسبية العامة تنحصر طيلة خمسة وأربعين عامًا في أول اختبارين تقليديين. وشهدت الستينيات تجربة باوند وريبكا واكتشاف النجوم النابضة وبداية العصر الفضائي. واليوم، تحققنا لمرات عديدة من الاتفاق بين النسبية العامة والظواهر التي تحدث في النظام الشمسي، وهو اتفاق تام. ونكتفي هنا بذكر مجالين وجدتْ فيهما النسبية العامة تطبيقًا ملحوظًا.

أشرنا فيما سبق إلى وجود النجوم النابضة، تلك المصادر التي تطلق أشعة كهرومغناطيسية تومض سريعًا (الفصل الثالث عشر). وبدلًا من أن تُصدر هذه النجوم النابضة أشعتها في كل الاتجاهات مثل الشمس أو مثل غالبية النجوم، تشبه منارات قوية وتصدر حزمتين من الموجات الكهرومغناطيسية التي تدور مع النجم. وحين تنتشر إحدى هاتين الحزمتين في كوكب الأرض، يتعرض المراقب لإصدار دوري ويعلم من خلال تردد هذا الإصدار سرعة دوران النجم حول محوره. وتخبرنا الترددات الملحوظة أيضًا

بصورة مباشرة بعدد الدورانات التي يقوم بها النجم النابض في ثانية واحدة، والتي تتراوح من ١ إلى ١٠٠٠ وفقًا للنجم، وهو ما قد يؤدي إلى انفجار الشمس إذا كانت تخضع لسرعة دوران مماثلة. وتقاوم هذه النجوم النابضة الانفجار؛ لأن كثافتها تقارب كثافة النواة الذرية، وهو ما يجعل كتلتها أكبر بقليل من كتلة الشمس (٢ × ١٠^{٣٠} كيلوجرامات)، وهي كتلة مضغوطة بداخل كرة يبلغ قطرها عشرات الكيلومترات.

تمثل النجوم النابضة ساعات سماوية ذات دقة لا مثيل لها. فإن تردد الإصدار معروف بدقة بنسبة ١٠$^{-١٢}$. ولكن في عام ١٩٧٤ اكتشف الأمريكيان راسيل هيلس وجوزيف تيلور نجمًا نابضًا يدور حول محوره في ٥٩ ملِّي ثانية، وسرعان ما لاحظوا فيه شذوذًا؛ فقد كان تردد الذبذبات متغيرًا؛ إذ تبكِّر تارة وتتأخر تارة، في حين كان التغير في التردد منتظمًا؛ إذ يمثل فترة قدرها ٧,٧٥ ساعات؛ أي إن مغامرةَ فترة دوران القمر إيو هي التي تتكرر، مع مراعاة فرق النسب (الفصل الحادي عشر).

استنتج رومر من عدم انتظام تردد خسوف إيو أن سرعة الضوء كانت محدودة. ولكن التسلسل المنطقي الذي اتبعه هيلس وتيلور يسير في اتجاه معاكس، فقد استنتجا من الثابت الضمني لسرعة الضوء ومن ملاحظاتهما أن النجم النابض الذي اكتشفاه يجب أن يدور حول جرم سماوي لم يلاحظاه، وذلك على غرار إيو الذي يدور حول المشتري. ولم يدعْ تحليل المعطيات واللجوء إلى الميكانيكا السماوية مجالًا للشك، فهذا النجم ليس معزولًا في الفضاء، بل يمثل نظامًا مزدوجًا، فهو يمتلك هو ورفيقه كتلة متساوية تقريبًا (١,٤ من كتلة الشمس)، ويدوران حول مركز جاذبيتهما المشترك، بما أن فترة الدوران أقل من ٨ ساعات.[١٣] وكان كل شيء يدعو إلى الاعتقاد بأن الرفيق غير المرئي للنجم النابض هو أيضًا نجم نيوتروني. ويعد هذا النجم النابض المزدوج مختبرًا سماويًّا حقيقيًّا يسمح باختبار تنبؤات النسبية العامة بدقة لا مثيل لها. ويبلغ تقدم الحضيض ٤,٢° قوسية كل عام، وهي قيمة يمكن مقارنتها بالـ ٤٣′ كل قرن التي يتسم بها الثنائي عطارد–الشمس. ولكن يوجد ما هو أفضل من ذلك.

تنتج الموجات الكهرومغناطيسية من تسارع الشحنات الكهربائية. وفيما يتعلق بموجات الراديو ينتج هذا التسارع عن الحركة المستمرة للإلكترونات في البث. وفي حالة النجم النابض المزدوج، توجد ظاهرة مماثلة، فإن النجمين قريبان جدًّا ويكون التسارع المكتسب مهمًّا للغاية، لدرجة أن «موجات الجاذبية» الصادرة — وهي تقوسات داخلية للزمكان تنتشر بسرعة الضوء — تحمل كمًّا هائلًا من الطاقة. ويمكن ملاحظة خصائص

المدارات، فيقل المحور الكبير ٧ أمتار كل عام. وفي خلال ٣٠٠ مليون عام سيتلامس الجسمان. ويمكن تحليل هذه التغيرات التي تطرأ على المدار ومعدل إصدار موجات الجاذبية، بفضل معطيات تغيُّر تردُّد النجم النابض المزدوج، فهي تتفق بالضبط مع تنبؤات النسبية المعممة. وشتان الفارق بينها وبين الاختبارات التقليدية الثلاثة.

يجهل الكثيرون أن النسبية العامة تدخل حتى في حياتنا اليومية!

إن نظام تحديد المواقع العالمي — بالإنجليزية Global Positioning System، والذي يشتهر بحروفه الثلاثة الأولى GPS — هو النظام الوحيد من نوعه المعمول به بصورة كاملة. فيستطيع أي شخص يحمل لاقط هذا النظام أن يعرف موقعه بالتحديد على سطح الأرض أو في البحر أو الهواء أو الفضاء بالقرب من الأرض. ويعمل النظام بفضل حساب المسافة التي تفصل بين اللاقط والعديد من الأقمار المدارية التي يبلغ ارتفاعها ٢٠٠٠٠ كيلومتر، وتُحسب هذه المسافة بواسطة الوقت الذي تستغرقه الموجات الكهرومغناطيسية — المويجات — لاجتيازها. ويقارن لاقط النظام بين ساعة الإصدار التي تحددها الإشارة وساعة الاستقبال. وبما أن اللاقط لا يمتلك ساعة دقيقة، فيتعين تحديد ساعة الاستقبال بصورة غير مباشرة عن طريق المقارنة بين المعطيات التي تنقلها الأقمار الأربعة في الوقت نفسه، وهو ما يسمح بطريقة ما بجعل ساعة اللاقط وساعة الأقمار متزامنتين.[١٤] وهنا تتدخل بالضرورة النسبية الخاصة والعامة.

وبالنسبة للَاقط نظام تحديد المواقع العالمي، فتتحرك أقمار هذا النظام بسرعة كبيرة، لدرجة أن ساعاتها تعمل بسرعات متباينة. ويقترن هذا الاختلاف بالنسبية الخاصة، فيجب أن نأخذ ذلك في الاعتبار إذا أردنا جعل كل الساعات متزامنة بصورة صحيحة. ولكن ليس ذلك كل ما في الأمر، فما زال ثمة دور للنسبية العامة، لا سيما عبر تحرك الأشعة في حقل جاذبية. فنحن نظن ذلك ولكن هذين التأثيرين النسبيين ليسا السببين الوحيدين في تعقيد ضبط نظام تحديد المواقع العالمي.

وفي يومنا هذا لم تعد النسبية العامة تحتاج إلى الاختبار بما أنها تحققت كثيرًا، فهي تُستخدم أيضًا في علم الكونيات، هذا العلم الذي يسعى إلى تحديد بنية الكون وتطوره في مجمله، والذي لم يكشف لنا عن كل أسراره. وثمة موضوع آخر يتعلق بالجاذبية وقد استغرق بعض الوقت للظهور، على الرغم من أنه كان قد تم تناوله في القرن الثامن عشر.

(١٠) الأجسام المعتمة

بعد صدور كتاب «المبادئ»، ظلت طبيعة الضوء مجهولة، لدرجة أن علاقتها بنظرية الجاذبية كانت غير مفهومة. وعندما أثبت رومر في ١٦٧٦ أن سرعة الضوء محدودة (الفصل الثامن)، لم يؤكد أنها ثابتة، وإلا كان حاول حسابها بواسطة معطيات الملاحظة. ومع ذلك، لماذا قد تكون سرعة الضوء ثابتة؟

عندما أثبت نيوتن أن الضوء الأبيض ناتج عن امتزاج ألوان الطيف، استنتج أنه يتكون من جسيمات ألوان مختلفة تكون كتلتها متلاشية مثل كتلة الجسيمات التي تخيلها لوساج فيما بعد. وتخضع الجزيئات التي تمتلك كتلة إلى قوانين الجاذبية، وتكون سرعتها بصفة خاصة محدودة، لدرجة أن نيوتن صاغ نظرية الإصدار حتى قبل البحث الذي قام به رومر، تلك النظرية القائلة إن الضوء يتكون من جسيمات. وقد استأنف أفكاره عالم الفلك والجيولوجي الإنجليزي جون ميتشل (١٧٢٤–١٧٩٣) الذي قد يستحق أن يكون أكثر شهرة، ربما لأنه أول من اعتقد أن سبب الهزات الأرضية هو موجات زلزالية تنتشر في القشرة الأرضية عبر تصدعها. وفي عام ١٧٨٣ استكشف ميتشل بعض نتائج نظرية الإصدار بإخضاع جسيمات الضوء لقوانين علم القذائف. وقد اقترح وجود نجوم ذات كتلة ضخمة وحجم صغير، لدرجة أن الضوء لا يستطيع الإفلات منها. ولاحقًا أطلق عليها لابلاس اسم «الأجسام المعتمة».

وإذا استبعدنا احتكاك الهواء، فسترسم القذيفة على سطح الأرض جزءًا من القطع الناقص قبل أن تسقط من جديد على الأرض.[١٥] وينطبق الأمر ذاته على سطح أي نجم، حتى لو كانت معايير المسارات الممكنة تعتمد على كتلة الجسم السماوي أو حجمه. ولكن لا يعد القطع الناقص هو المصير الوحيد للقذيفة. فإذا اكتسبت القذيفة سرعة مبدئية كافية؛ أي «سرعة الإفلات» التي لا تعتمد إلا على الجسم السماوي، فستنجح في الإفلات من تأثيره والابتعاد عنه بصورة دائمة. وتزداد سرعة الإفلات كلما زادت كتلة النجم وقل نصف قطره، فتجاوز هذه السرعة ١١ كيلومترًا في الثانية على سطح الأرض. وباعتبار أن الضوء يخضع لقوانين الجاذبية مثل أي قذيفة، تخيَّلَ ميتشل نجومًا ذات كتلة ضخمة وكثيفة، لدرجة أن عملية إصدار الضوء على سطحها تمنح الجسيمات سرعة منخفضة عن سرعة الإفلات. وفي هذه الحالة يرتفع الضوء بصعوبة عن سطح النجم ثم يسقط من جديد مثل قذيفة عشوائية.

يقترب نصف قطر الشمس من ٧٠٠٠٠٠ كيلومتر بكتلة تبلغ ٢ × ١٠^{٣٠} كيلوجرام؛ مما يجعل متوسط كثافتها بنسبة ١,٤ مقارنة بكثافة الماء. وبفضل نظرية نيوتن يمكننا

أن نقتنع بسهولة بأن أي جرم سماوي لديه كتلة مساوية لكتلة الشمس يجب أن يُضغط في كرة يبلغ نصف قطرها ٣ كيلومترات؛ وذلك لكي يُعتبر جسمًا معتمًا. وهكذا سيكون متوسط كتلته أكثر من ١,٨ × ١٠^{١٦}، وهو ما يجعل كتلته تبلغ ١٨ مليار طن للسنتيمتر المكعب.[١٦] وفي القرن الثامن عشر كانت المعطيات المتعلقة بالشمس متاحة لأي عالم فلك، لدرجة أن اقتراح ميتشل قوبلَ بتشكك ما. وبالإضافة إلى ذلك كيف يمكن إبراز جسم معتم إذا كان لا يستطيع أن يشع الضوء أو يعكسه؟ وأشار عالم الفلك الإنجليزي أنه يمكننا فعل ذلك عبر تأثير الجاذبية الذي قد يمارسه النجم غير المرئي على أجسام مضيئة قريبة بدرجة كافية. وعلى الرغم من أن الجسم المعتم لا يكون مرئيًّا، فإنه لا يفقد خصائصه الجاذبة.

يكون مصير الأجسام المعتمة محسومًا منذ اعترافنا بالطبيعة الموجية للضوء. فتختفي جسيمات الضوء لفترة ما من صفحات التاريخ، ثم يبحث أينشتاين عنها من جديد، ليس ليجعل منها جزيئات ذات كتلة، بل كمية لا تتجزأ من الطاقة، وهو ما أُطلق عليه فيما بعد اسم الضوء.

(١١) الثقوب السوداء

كان ميتشل قد جمع بطريقة مصطنعة للغاية علم القذائف وانتشار الضوء لابتكار فكرة النجوم المعتمة. وبواسطة النسبية العامة، قاد أينشتاين هذه العملية إلى غايتها، فكان يتعين إذن أن نتوقع ظهور مفهوم الجسم المعتم من جديد، وهو ما لن يحدث مع ذلك بصورة تلقائية.

في بداية الحرب العالمية الأولى كان عالم الفلك والفيزيائي الفلكي الألماني كارل شفارتزشيلد (١٨٧٣–١٩١٦) يمتلك بالفعل سجلًّا حافلًا بالإنجازات، فهو مدير المرصد الفيزيائي الفلكي في بوتسدام، وهو أعلى منصب رفيع يمكن أن يتولاه عالم فلك ألماني. ونجد على قائمة أعمال شفارتزشيلد أعمالًا تجريبية حول القياس الضوئي وكمًّا من الإصدارات النظرية. وعند اندلاع الحرب كان من الممكن أن يكتفي بمواصلة مهمته في بوتسدام، ولكنه سرعان ما تطوع في الجيش الإمبراطوري، فقاد في البداية محطة مناخية، ثم انتقل إلى المدفعية ليحسب مسار القذائف أولًا في فرنسا ثم في روسيا. وفي ذلك الوقت تحديدًا قرأ أول عرض كامل لنظرية النسبية العامة، وهو مقال لأينشتاين صدر في ٢٥ نوفمبر ١٩١٥ في محاضر أكاديمية العلوم في بروسيا. وفي مثل تلك الظروف الصعبة حل

شفارتزشيلد معادلات أينشتاين بطريقة بسيطة، فسعى إلى تحديد نوع تشوه الزمكان الناتج عن وجود جرم سماوي كروي ثابت ومعزول في الفضاء. وهذا النجم لا يدور حول مداره، ولا نعرف عنه سوى أن كتلته تساوي m وأن نصف قطره يساوي r. فقد اكتفى شفارتزشيلد بتحليل تشوه الزمكان خارج الجسم السماوي، وعندما انتهى من حساباته أرسلها إلى أينشتاين الذي أبدى إعجابه بهذا العمل. وكان الحل الذي صاغه شفارتزشيلد يتميز بخاصيتين أساسيتين؛ أولاهما أنه للمرة الأولى تُحل معادلات أينشتاين بصورة كاملة بإبراز تشوه الزمكان بأكمله. وبالفعل لا يظهر الجزء الداخلي من النجم في الحل ولكن سرعان ما سد شفارتزشيلد هذه الثغرة. أما الملاحظة الثانية بشأن هذا العمل فهي ذات أهمية أكبر.

لنعد إلى تأملات ميتشل، ولنتخيل أنه عندما نخفض تدريجيًّا من نصف قطر نجم ما، نثبت كتلته عند قيمة m. وعندما يبلغ نصف القطر قيمة حرجة r_c تتساوى عندها سرعة الإفلات وسرعة الضوء، يصبح النجم معتمًا وغير مرئي من الخارج. وإذا طبقنا الأمر ذاته بفضل حل شفارتزشيلد حول نجم ذي كتلة مساوية m فنلاحظ أن الزمكان يتشوه بصورة متزايدة بالقرب منه. وعندما يبلغ نصف القطر قيمة r_c التي تعتمد على m، يفقد الوصف الهندسي معناه، ويُلغى أحد العناصر ويأخذ الآخر قيمة غير محدودة، وهو ما يعد ظرفًا خطيرًا للغاية مما دفعنا لتسمية نصف القطر الحرج[١٧] «نصف قطر شفارتزشيلد». كيف يمكن أن نفسر هذا الوضع؟ فهل الرياضيات هي التي تخلت عن شفارتزشيلد أم أن هذا الحادث يعكس ظاهرة فيزيائية جديدة؟ لن يعرف شفارتزشيلد نفسه الإجابة. فبعد أن كان قد كتب مقالًا ثانيًا حاول فيه توسيع نطاق دراسته لتشمل الجزء الداخلي من الكتلة، الذي لم تتطرق له مقالته الأولى، تُوفي ضحية لمرض مناعي ذاتي خطير.

وبناء على ما سبق، لم يكن يوجد سبب يجعل أينشتاين وزملاءه يأخذون هذا النوع من الأفكار على محمل الجد. فلكي يؤثر تشوه الزمكان المذكور هنا على نجم ما تأثيرًا كبيرًا، يجب أن يكون نصف قطره أصغر من نصف قطر شفارتزشيلد، وهو ما لا ينطبق على حالة الشمس. فإذا استثنينا تقدم حضيض عطارد، وهي مخالفة صغيرة لقوانين نيوتن، فلا مجال للتخلي عن الهندسة الإقليدية لوصف ما يدور بالقرب منها. ووفقًا لعلماء الفلك في بدايات القرن العشرين، تنطبق الملاحظة ذاتها على باقي النجوم: ففي عام ١٩١٦ كان نصف قطر شفارتزشيلد يمثل تسلية رياضية لطيفة بلا أي نتائج حقيقية تعود بالنفع على علم الفلك.

ولكن تبدلت الأمور تدريجيًّا وأدركنا أن النجوم تتطور، فإن الأشعة التي تصدرها كثيفة للغاية، لدرجة أنها يجب أن تمتلك مخزونًا هائلًا من الطاقة. ويمكن فقط لتفاعلات الاندماج النووية أن تفسر ذلك؛ حيث تبدأ النجوم المألوفة في تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، ثم تحول الهيليوم إلى كربون عند استنفاد مخزونها من الهيدروجين. ثم يحين الوقت الذي لا تستطيع فيه البؤرة المتوهجة التي تحافظ على الطبقات الخارجية للنجم أن تتصدى لانهياره. فيعتمد تطور أي نجم قبل كل شيء على كتلته المبدئية، لدرجة أن شكله النهائي لا تحوم حوله أي شكوك.[١٨] ودون الخوض في التفاصيل يمكننا أن نميز نوعين من التطور.

بما أن الوقود النووي موجود فهو يحفظ الغاز النجمي عند درجة ضغط كافية تسمح له بمقاومة ضغط الجاذبية الذي يزيد مع كتلة النجم. وفي حالة غياب الوقود، يكون النجم مهددًا بالانهيار. ولكن إذا كانت الكتلة النجمية تضاهي كتلة الشمس، فيحدث توازن جديد بين الضغط الداخلي وضغط الجاذبية؛ فقد بلغ النجم مرحلة «القزم الأبيض»، فيقل قطره ويصبح مماثلًا لقطر الأرض، وتختفي التفاعلات النووية بداخله. أما الغازات التي كانت تضمن فيما سبق بقاء الطبقات العليا من النجم، فتترك مكانها لغاز إلكتروني. فقد انتُزِعت كل إلكترونات الغاز النجمي من النوى، فهي التي تصمد أمام الضغط الهائل حتى في درجات الحرارة المنخفضة. ويكفل النوى عدم حمل مجموعة الإلكترونات شحنة كهربائية. وبمجرد تكوُّن القزم الأبيض يتجمد ببطء ويقل بريقه تدريجيًّا، ولكنه يحافظ على توازنه.

لا يعد الغاز الإلكتروني قادرًا على كل شيء، فهو لا يقاوم الانهيار إلا بشرط ألا تتجاوز كتلة القزم الأبيض ١٫٤ من الكتلة الشمسية؛ ولذا اكتُشفت في الثلاثينيات طبقة جديدة للنجوم، وهي مرحلة النجوم ذات النيوترونات التي تشبه مرحلة القزم الأبيض في العديد من الأمور باختلاف أن الغاز الإلكتروني يحل محله غاز نيوتروني، وأن نصف قطر النجم لا يبلغ إلا ٢٠ كيلومترًا، وأن كتلة النجم النيوتروني قد تبلغ حوالي ثلاثة أضعاف كتلة الشمس، وهو الحد الأقصى الذي حُدد في عام ١٩٣٩. أما الأجسام النجمية التي تفوق كتلتها هذا الحد، فلا يمكنها أن تتعلق بإحدى هاتين الطبقتين، فلا شيء يستطيع أن يوقف انبجاسها في حلزون جهنمي يقودها فيما وراء نصف قطر شفارتزشيلد.

عندما ندرك أن النجوم في نهاية المطاف تنكمش، وأن أكبرها حجمًا محكوم عليه بتخطي نصف قطر شفارتزشيلد، نبدأ تدريجيًّا في تصديق هذا النوع الجديد من الأجسام

المعتمة، فإنها قد تكون موجودة بالفعل! يبقى فقط أن نختار لها اسمًا، وكان الفيزيائي الأمريكي جون أرشيبالد ويلر هو من تولى هذه المهمة في ١٩٦٧، فأطلق اسم «الثقوب السوداء» على هذه النجوم الضخمة الغريبة التي لا يمكن أن تفلت منها المادة ولا الضوء. ولا يمكننا إبرازها إلا عبر التأثير الجاذبي الذي تمارسه على الأجرام السماوية القريبة أو على الأشعة الضوئية التي تمر بجوارها. واليوم يعتقد الكثيرون أنهم اكتشفوا ثقوبًا سوداء، لا سيما في كوكبة الطائر؛ حيث يدور نجم ضخم في مدار حول نجم غير مرئي. قد يكون ذلك ثقبًا أسود نجميًّا ناتجًا عن انهيار نجم تبلغ كتلته بعض الكتل الشمسية. ولكننا نعتقد أيضًا أن مركز مجرتنا يضم ثقبًا أسود ذا كتلة ضخمة جدًّا تبلغ مليوني ضعف كتلة الشمس، وأنه في المجرات الأخرى يوجد أشباح يمتلكون كتلة مساوية. وفي كل مرة نكتشف مؤشرات تؤيد وجود ثقب أسود لا نستطيع تأكيدها إلا باستبعاد كل التفسيرات المعقولة الأخرى، وهي مهمة لا يمكن تجاوزها بالمعنى الحرفي للكلمة، ولكن اليوم لم يعد أحد يشكك في وجودها.

تشبه الثقوب السوداء الأجسام المعتمة، ولكن التشوه الذي تسببه للزمكان المحيط يجعل منها أجسامًا غريبة جدًّا. ويُطلق اسم «أفق الحدث» على الغلاف الذي تقع بداخله المادة والضوء في الفخ. وفي هذه المنطقة فقدت هندسة إقليدس صلاحيتها، وسيكون من غير المُجدي أن نحسب نصف قطر دائرة بقسمة محيطها على 2π. وفيما يتعلق بالزمكان، فيمكن رؤية تشوهاته بصورة أكبر، فإن رائد الفضاء الذي قد يعبر الأفق ربما لن يلاحظ شيئًا غريبًا إلا إذا كان لا يستطيع الإفلات منه. وإذا كان يرسل بصورة منتظمة إشارات إلى مراقب أرضي منذ بداية هذه الرحلة بلا عودة، فإن هذا المراقب قد يشعر بأن الزمن المصاحب لرائد الفضاء يمر بصورة بطيئة. وعند مرور الإشارة قد يبدو زمن رائد الفضاء متجمدًا وثابتًا بصورة نهائية، وحتى جاوس نفسه أمير الرياضيين ربما لم يستطع تخيل مثل هذا الاتفاق الغريب بين الفيزياء والهندسة.

الفصل الثامن عشر

ما زال أمامنا الكثير لنعرفه

عندما انتهى أينشتاين من النسبية العامة خصص جزءًا من وقته إلى فيزياء الكم، التي تحمل اليوم اسم الفيزياء الكمية. ويتعلق الأمر بنقل بعض قوانين الفيزياء إلى العالم المجهري — الذري ودون الذري — وهي قوانين لم تكن حتى ذلك الحين مطبقة إلا على العالم العياني؛ أي عالم الأجسام التي يتخطى حجمها حجم الذرة. ولقد أدركنا في الحقيقة بين ١٩١٠ و١٩٣٠ ضرورة تنقيح الفيزياء: فإن قوانين نيوتن على سبيل المثال لا يمكن استخدامها بحالتها عندما نريد وصف العالم المجهري.

كان أينشتاين نشيطًا للغاية خلال بدايات الفيزياء الكمية، فقد فسر في عام ١٩٠٥ التأثير الكهروضوئي، وهو ما استحق من أجله جائزة نوبل. ولاحقًا كانت الفيزياء الكمية قد ازدهرت وكان أينشتاين يعود إليها من وقت إلى آخر. وفي وسط العشرينيات مرت الفيزياء بمرحلة حرجة ولا تزال تحمل بعض آثارها حتى الآن. فعلى الرغم من أنها تصف بدقة ظواهر العالم المجهري، فإن البعض كان يلوم عليها بصفة خاصة أنها تعطي أهمية كبيرة للمصادفة، وأنها تهمل بصورة كبيرة الحتمية، وهي اللواء الذي تبنته الفيزياء بعزم منذ عهد نيوتن.

كان لدى أينشتاين التشكك ذاته ورفض أن يتبع زملاءه في طريق كان يبدو له بلا نتيجة. فبعد أن كان أينشتاين ثوريًّا كبيرًا أصبح محافظًا حقيقيًّا، فقد أدار ظهره لتطوير الفيزياء الكمية وبدأ في صياغة نظرية موحِّدة كان من شأنها توحيد القوتين الوحيدتين المعروفتين آنذاك؛ وهما قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية.

كان البحث عن هذا التوحيد أحد ثوابت التاريخ، فلنَعُد على الأقل إلى طاليس الذي كان يرى أن الماء مبدأ كل شيء، وقد استمر هذا التوحيد مع العناصر الأربعة لإيمبيدوكليس. وفي وقت أكثر قربًا من وقتنا، استمر التوحيد أيضًا عبر خفض عدد

مكونات المادة. فتعود الجزيئات إلى خليط من الذرات، تلك الذرات ذات النواة التي تدور حولها الإلكترونات. وتنقسم النواة نفسها إلى مكونات أولية مثل البروتون والنيوترون اللذين يتكونان بدورهما من كيانات أساسية بصورة أكبر.

باءت نظرية أينشتاين الموحدة بالفشل؛ فقد كشفت دراسة النواة والجزيئات الجديدة عن وجود قوتين جديدتين يمكن من خلالهما فقط فهم بنية النواة والجزيئات وديناميكيتهما، وأُطلق عليهما اسم القوة الضعيفة (التفاعل الضعيف) والقوة الشديدة. فلا معنى إذن لأي توحيد جزئي يجهل هاتين القوتين، وهكذا انتقمت الفيزياء الكمية من عدم وفاء أينشتاين بتحويل نظريته التوحيدية إلى مأزق.

فهل لنا إذن أن نهم بالرحيل وأن ننسحب على أطراف الأصابع مع الشعور بأننا أدَّينا واجبنا؟ لا يمكننا أن نتوقع استسلام من يمدوننا بالمعرفة، فالعلم الراكد هو علم ميت. فبينما كان أينشتاين يسلك طريقًا مختصرًا، كان البحث عن التوحيد متواصلًا بلا هوادة بأشكال مختلفة.

كانت إحدى الطرق المؤدية إلى التوحيد تميل إلى دمج نظريتين؛ وهما نظرية أينشتاين عن الجاذبية ونظرية الفيزياء الكمية. ويمكن الخلط بين مجال تأثير الجاذبية والمجال العياني الذي يضم الأجسام التي تملأ حياتنا اليومية والعالم السماوي. وباستثناء ذلك، لا يوجد أي عيب في هذه النظرية، فهي أنيقة وبسيطة في مبادئها، ومن وجهة النظر الفلسفية لا تثير أي اعتراضات، وهو ما يختلف تمامًا مع وضع الفيزياء الكمية، فإن مجال تطبيقها يختلف كليًّا عن مجال تطبيق النسبية العامة: تساوي القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون حوالي $١٠^{٤٠}$ أضعاف القوة الجاذبة التي قد تُمارس بينهما إن أمكننا قياسها. ويُضاف إلى ذلك أن النظرية الكمية تتعارض مع بديهتنا. وحتى يومنا هذا لم يتم توحيد الجاذبية والفيزياء الكمية.

إن تطبيقات العِلْمين في مجالات مختلفة لن تمكننا من تجاهل عدم توافقهما الظاهري. ويهتم علم الكونيات ببدايات الكون الذي كان آنذاك كثيفًا للغاية، لدرجة أنه كان يجب على الجاذبية والفيزياء الكمية أن يظهرا في آن واحد. فربما يكون هذا التعايش لا يزال يحدث بجوار الثقوب السوداء. ولكي تستطيع الفيزياء الإجابة عن كل الأسئلة التي تتعلق بها على الأقل بصورة مبدئية، يجب أن تستعد لتوحيد الجاذبية والفيزياء الكمية في يوم ما.

وحتى يحين ذلك الوقت، وبما أن الجاذبية تبدو أنها تتجاهل العالم المجهري، فلماذا لا نسعى إلى توحيد القوى الثلاث التي تسود هذا المجال؛ وهي القوة الكهرومغناطيسية

والقوة الضعيفة والقوة الشديدة؟ لقد أدى هذا الإجراء الواعد إلى صياغة «نظرية النموذج المعياري في فيزياء الجسيمات»، وهي نظرية توصلت إلى وصف موحد لأنواع القوى الثلاث ولمجموع الجسيمات المجهرية التي تتكون منها المادة، وهي تتفق أيضًا مع مبادئ الفيزياء الكمية ونظرية النسبية الخاصة، ولكنها لا تتفق مع الجاذبية، وحتى حينما يتناول الفيزيائيون هذا التنافر مع الجاذبية يعتبرون أن نظرية النموذج المعياري ناقصة.[١]

إذا حاولنا إخفاء طبيعتنا، فسرعان ما نجدها تظهر من جديد، فلقد راهن الفيزيائيون على أنه كانت توجد نظرية وحيدة تشمل الجاذبية وتفسر كل الظواهر المعروفة. أما الآن فأصبح مجال البحث شبيهًا بورشة نحات في خضم عمله، فنبدأ في تمييز رسم أولي على التمثال الرخامي، ولكن الأرض مغطاة بالأتربة والحصى التي أوقعها المنشار والمقص من الحجر. وتمتلئ أيضًا ورشة فيزيائيي الجسيمات الحاليين بالمخلفات، فنميز فيها جسيمات لم يتضح قط وجودها المتوقع بالرغم من استخدام المعجلات التي يتزايد حجمها، ونجد أيضًا جسيمات مثل البروتون الذي تنبأْنا بانشطاره — البطيء جدًّا — ولكن هذه الجسيمات ظلت مستقرة بصورة كبيرة. ويُضاف إلى ذلك أن جزءًا كبيرًا من المادة التي تملأ الكون هي ذات طبيعة غامضة، وتُسمى «المادة السوداء» لأنها لا تشع. ويُضاف إليها أيضًا عنصر أكثر غموضًا؛ وهو «الطاقة السوداء» التي نجهل عنها كل شيء إلا أنها قد تكون مسئولة عن التوسع المتسارع للكون. فيتعين أن نمدح الطبيعة التي لا تتوقف عن مفاجأة هؤلاء الذين يريدون أن ينتزعوا منها كل أسرارها، فهي تبدو كما هي وليس كما نريد نحن أن تكون.

فلنشكر الله أن تاريخ الجاذبية لم ينتهِ، فما زال أمامنا الكثير لنعرفه.

الملحقات

(أ) زيادة مدة طول اليوم

في الماضي كانت سرعة دوران الأرض أكبر، ويشهد على ذلك الكسوف الكلي الذي لوحظ في بابل في عام ١٣٦ قبل الميلاد، فهو يوضح أنه منذ ذلك التاريخ تتجاوز الزاويةُ الكلية التي ترسمها الأرض في أثناء دورانها بـ ٤٩° الزاويةَ التي نحسبها بناءً على قياسات المدة الحالية لليوم. وإذا سلمنا بأن التباطؤ كان منتظمًا بين عام ١٣٦ قبل الميلاد وعام ٢٠٠٠، فمن السهل أن نحسب معدل تباطؤ دوران الأرض.

تقوم الأرض بدورة كاملة في ٢٤ ساعة، فهي تحتاج إذن ٣ ساعات و١٦ دقيقة لتقوم بزاوية ٤٩°. ومن أجل إثبات ذلك، فلنتخيلْ أرضًا «مثالية» وأرضًا «حقيقية» تشبه الكوكب الذي نعيش عليه. وتقوم الأرض المثالية بدوران ذي سرعة ثابتة ومساوية لسرعة كوكبنا في يوم الكسوف. وتمثل تلك الأرض المثالية، التي تدور، ساعةً مضبوطة تسمح بتحديد الوقت المرجعي. وفيما يتعلق بالأرض الحقيقية، فنحن نعرف أنها تبطئ بصورة مستمرة، فهي بمنزلة «ساعة فلكية» يكون تأخيرها محددًا بواسطة تباطؤ الدوران الأرضي. ويُقدر التأخير المتراكم في ٢١٣٦ عامًا بـ ٣ ساعات و١٦ دقيقة، وهو ما يُحسب بفضل المعطيات التي وفرها لنا علماء الفلك البابليُّون.[١]

وفي يوم الكسوف تُضبط الساعتان إحداهما على الأخرى. وبهدف التبسيط نفترض أن الساعة الفلكية تبطئ بصورة منتظمة وأن قياسًا دقيقًا قد يسمح بإبراز التأخير الصغير τ الذي يتراكم بعد انقضاء كل ٢٤ ساعة. وبعد يومين يصبح هذا التأخير τ : 3τ لليوم الأول و2τ لليوم التالي، بما أنه عندما ينقضي اليوم تخضع الساعة لتباطؤ جديد. وهنا تجدر الإشارة إلى خاصية فريدة للساعة الفلكية؛ فإن كل يوم يتسبب في تباطؤ جديد. كانت الأمور مختلفة فيما يتعلق بالساعة الميكانيكية التي كان يستخدمها جدودنا، فحتى إذا كان عملها أسرع أو أبطأ من الساعة المثالية، فإنها كانت ثابتة تقريبًا

شريطة أن نستبعد تأثير التغيرات المحتملة لدرجة الحرارة أو تَلَف التروس أو المواد المزيتة. وفي المقابل فإن عمل الساعة الفلكية ليس ثابتًا؛ فالأرض تبطئ بالتناسب مع الزمن المستغرق، ولكن تباطؤها هو ما يكون ثابتًا.

يبلغ التأخير المتراكم بعد ثلاثة أيام $(1 + 2 + 3)\tau$ وعندما يمر (N) يوم نلاحظ تأخيرًا قدره $(1 + 2 + 3 + \ldots + N)\tau = 1/2 \cdot N(N + 1)\tau \approx 1/2 \cdot N^2\tau \ldots$ (علامة $\approx$ تشير إلى التساوي بالتقريب)، وهو تبسيط مسموح به شريطة أن تكون (N) رقمًا كبيرًا. ويحتوي ٢١٣٦ عامًا على حوالي ٧٨٠٠٠٠ يوم لدرجة أن تأخير الساعة الفلكية في عام ٢٠٠٠ كان يبلغ $3 \times 10^{11}\tau$. وبما أن هذا التعبير يجب أن يكون مساويًا لـ ٣ ساعات و١٦ دقيقة أو ١١٧٦٠ ثانية، تعطي قسمة بسيطة القيمة المطلوبة: $\tau \approx 4 \times 10^{-8}$ ثانية. وإذا طالت مدة النهار كل يوم بنسبة $\tau \approx 4 \times 10^{-8}$ ثانية، فهي تزيد ٤,١ ملِّي ثانية في قرن يضم ٣٦٥٢٥ يومًا. «فمنذ تاريخ كسوف بابل» انقضى أكثر من ٢١ قرنًا، لدرجة أنه خلال هذه المدة «طالت مدة اليوم بنسبة تقارب ثلاثة أجزاء من المائة من الثانية.»

وتجدر الإشارة إلى أن التأخير المتراكم (٣ ساعات و١٦ دقيقة) يزيد بمقدار مربع الزمن المستغرق، في حين أن التغير القرني لمدة اليوم (٠,٠٣ ثانية) يزيد خطيًّا مع الوقت. وتسمح مثل هذه الملاحظة بفهم أفضل لسبب اختلاف هاتين المدتين إلى هذه الدرجة.

(ب) توالي حالات الخسوف والفترات التقريبية

إذا أردنا التنبؤ بحالات الخسوف بدقة بالغة فينبغي أن نعرف بالضبط حركة الأجرام السماوية المعنية وحجمها والمسافة بين بعضها والبعض. ولا تتعلق الحركة فقط بتحرك النجوم، بل أيضًا بسرعة دورانها واتجاه محور دورانها بالنسبة إلى سطح دائرة البروج. ولكن يمكننا أن نتناول حالات خسوف القمر بصورة أبسط «انطلاقًا من معلومة متوسط الفترات الأكثر أهمية لحركة الأجسام المعنية.» إن المعلومات التي نكتسبها بهذه الطريقة غير مكتملة، ولكنها تسمح بتحديد الدورية التقريبية لظاهرة الخسوف القمري، وهي أول عامل يتيح لنا التنبؤ بها.

إن القيمتين اللتين ننطلق على أساسهما هما «متوسط مدة الإقمار»؛ أي ٢٩,٥٣٠٥٨٨٨٥٣ يومًا، ومتوسط الزمن الذي يستغرقه القمر للمرور من إحدى العقد إلى العقدة المقابلة؛ أي «نصف الشهر العقدي»: ١٣,٦٠٦١١٠٤٠٨٥ يومًا، والنسبة بين الرقمين ٢٩,٥٣٠٥٨٨٨٥٣ / ١٣,٦٠٦١١٠٤٠٨٥ = (٨)٢,١٧٠٣٩١٦٨١، وهو رقم ليس معروفًا بالضبط بما أن الكسر العشري الموجود بين القوسين ليس مؤكدًا. ولا نستطيع أن نعرف هل كان هذا الرقم جذريًّا — فيمكن في هذه الحالة كتابته في صورة كسر جذري — أو غير جذري مثل $\sqrt{٢}$ أو π، ثابت الدائرة، لا يمكن كتابة غير الجذري مثل النسبة بين رقمين صحيحين أيًّا كان كبرهما. فمن أجل تصنيف رقمٍ ما ضمن الأرقام الجذرية أو غير الجذرية، يتعين أن نعرف تعريفه أو التعبير الدقيق عنه، وهو ما لا ينطبق على النسبة (٨)٢,١٧٠٣٩١٦٨١، وتنتج عن ذلك قياسات فلكية تكون بالضرورة غير دقيقة.

ولكن توجد طريقة نظامية تسمح بتمثيل أيِّ رقم عبر سلسلة من الكسور الجذرية التي تقترب منه تدريجيًّا. وإذا طبقنا هذه الطريقة على النسبة بين فترتي إقمار، هذه الطريقة التي تعتمد على نظرية الكسور المتتالية، فهي تسمح بإعداد جدول ب-١ الذي يضم كسورًا جذرية تقترب بصورة أفضل من نسبة (٨)٢,١٧٠٣٩١٦٨١.

وفي هذه الحالة، فإن إعداد قائمة المقامات المتتالية للكسور الجذرية الناتجة يتعلق بإعداد قائمة «الفترات التقريبية» التي يتسم بها توالي حالات الخسوف، بترتيب متصاعد. وهي تعبر عن عدد فترات الإقمار:

٥ ٦ ٤١ ٤٧ ٨٨ ١٣٥ ٢٢٣ ٣٥٨ ...

يسمح جدول ب-١ بتفسير قائمة الفترات التقريبية، فإذا حدث خسوف في تاريخ محدد، فثمة فرصة لحدوثه من جديد بعد ٥، ٦، ٤١، ٤٧، ٨٨، ١٣٥، ٢٢٣ أو ٣٥٨ فترة إقمار، باختلاف أن هذه الفرصة تزيد كلما زاد الفاصل الزمني (العمود الثالث من جدول ب-١). فحتى إذا كان الخسوف ضعيفًا جدًّا بعد خمس فترات إقمار، فلا يستهان به بعد ست فترات إقمار، ويصبح أكثر أهمية إذا انتظرنا ٢٢٣ أو ٣٥٨ فترة إقمار.

ب-١: تقريبات جذرية متتالية للنسبة بين مدة الإقمار ونصف الشهر العقدي، وهو الزمن الذي يستغرقه القمر للمرور من عقدة إلى العقدة المقابلة. ويشير العمود الثاني إلى طول الدور القمري الذي يتفق مع التقريب المختار، وهي فترة تقريبية. أما العمود الثالث فهو يضم القيمة المطلقة للفارق بين (ق) فترة إقمار و(م) مرور من عقدة إلى أخرى.

تقريب للنسبة بين المدد في صورة كسر جذري م/ق م = عدد أنصاف الأشهر العقدية ق = عدد فترات الإقمار	فترات تقريبية، يُعبَّر عنها بعدد فترات الإقمار	القيمة المطلقة للفارق بين (ق) فترة إقمار و(م) نصف شهر عقدي (بالأيام وكسورها)
١١/٥	٥ فترات إقمار = ١٤٨ يومًا	٢,٠١
١٣/٦	٦ فترات إقمار = ١٧٧ يومًا	٠,٣٠٤

(ب) توالي حالات الخسوف والفترات التقريبية

تقريب للنسبة بين المدد في صورة كسر جذري م/ق م = عدد أنصاف الأشهر العقدية ق = عدد فترات الإقمار	فترات تقريبية، يُعبَّر عنها بعدد فترات الإقمار	القيمة المطلقة للفارق بين (ق) فترة إقمار و(م) نصف شهر عقدي (بالأيام وكسورها)
٤١/٨٩	٤١ فترة إقمار = ٣ أعوام و١٥ يومًا	٠,١٩٠
٤٧/١٠٢	٤٧ فترة إقمار = ٣ أعوام و٢٩٢ يومًا	٠,١١٤
٨٨/١٩١	٨٨ فترة إقمار = ٧ أعوام و٤٢ يومًا	٠,٠٧٥٢
١٣٥/٢٩٣	١٣٥ فترة إقمار = ١٠ أعوام و٣٣٦ يومًا	٠,٠٣٩١
٢٢٣/٤٨٤	٢٢٣ فترة إقمار = ١٨ عامًا و١١ يومًا	٠,٠٣٦١
٣٥٨/٧٧٧	٣٥٨ فترة إقمار = ٢٨ عامًا و٣٤٥ يومًا	٠,٠٠٣٠
...	...	...

(جـ) دورة ساروس

يبرز هيكل دورة ساروس الفترات التقريبية المختلفة التي ترد في كلٍّ من العمود الثالث من جدول ب-١ وشكل ٢-٦ على حد سواء.

يمكن قراءة الجدول من أعلى إلى أسفل بدايةً من اليسار، ويتفق كل رقم من الأرقام الموجودة مع شهر من شهور التقويم البابلي الذي كان قمريًّا-شمسيًّا. وربما لا يمثل الجدول الذي نعرفه إلا جزءًا من وثيقة أصلية أكثر أهمية.

لا يوجد العمود الأخير من جدول جـ-١ في الوثيقة الأصلية، وهو يسمح للقارئ بمعرفة مدة الفاصل الزمني المنقضي بين كل حالة خسوف (وهي متساوية في كل أعمدة الوثيقة الأصلية)، وذلك يعني أن هيكل الدورة يدهش بسبب انتظامه ويمكننا أن نتحقق من أن كل عمود من الأعمدة الخمسة التي وصلت إلينا كاملة يتفق مع مدة دورة ساروس؛ أي ٢٢٣ فترة إقمار. ويتكون كل عمود من ٣٨ سطرًا؛ مما يعني أن كل ساروس كان يحتوي على ٣٨ حالة خسوف وفقًا لمن أعد هذا الجدول، وهو ما كان بمنزلة سوء تقدير لعددها الحقيقي؛ وهو ٤٢ بصورة عامة. يمكن تفسير هذا الفارق بصورة بسيطة.

في بداية الفواصل الزمنية التي لا تضم إلا خمسة أشهر، لا يذكر الجدول إلا خسوفًا واحدًا، ولكن في هذه الحالة غالبًا ما نلاحظ خسوفين قمريين غير مرئيين بصورة واضحة بفاصل زمني يُقدر بشهر، ولا يمر القمر في كل خسوف منهما إلا بمنطقة ظل الأرض. وفي هذه الحالة يعكس القمر جزءًا من الضوء الشمسي، لدرجة أن الخسوف يصبح غير مرئي بصورة واضحة بالعين المجردة، وهذا هو السبب الأساسي الذي يجعل تعداد حالات الخسوف القمرية غير دقيق في الجدول.[١]

جـ-١: إعادة تمثيل لدورة ساروس، وهي جدول حالات الخسوف القمرية، ويمتد هذا الجدول من حكم أرتاكسركيس الثاني وحتى أنطوكيوس الأول. وقد لحق باللوح ضرر بالغ، فقد اختفى الجزء الأيسر وصار العمود السادس غير مكتمل. ويحتوي اللوح على قائمة الأعوام (غير المدرجة في الجدول) والأشهر القمرية التي لوحظ فيها خسوف أو يُتوقع ملاحظتُه دون أي تعليق. يشير اسم الحاكم إلى بداية فترة حكمه. وعندما يُكتب رقم بخط عريض وتحته سطر، فإن الفاصل الزمني الذي يليه يحتوي على شهر إضافي وفقًا لقواعد دورة ميتون. وعندما يحمل رقم الشهر علامة أ يكون الشهر نفسه إضافيًّا (يعد الجدول إعادة تمثيل مبسط نوعًا ما لرسم مستخلص من بانكويك (١٩٨٩)، الذي استوحى بدوره من إصدار ليسوعيين ألمانيين (إبينج جي، ستراسماير إس جي) دورة ساروس للبابليين (مجلة علم الأثريات الآشورية، العدد الثامن، ص١١، (١٨٩٣))).

		(اختفى هذا الجزء)				عدد الأشهر القمرية المنقضية منذ آخر خسوف (لا يرِد هذا العمود في اللوح الأصلي)
١٠	١٠	**١١**	١١	١١	**١٢**	٦
٤	٤	**أرسيس** ٤	٥	٥	٥	٦
١٠	١٠	١٠	**١١**	١١	١١	٦
٢	٣	٣	٣	٤	٤	٥
٨	**٩**	٩	٩	**١٠**	١٠	٦
٢	٢	**داريوس** ٣	**أنتيجونوس** ٣	٣	٤	٦
٨	٨	**٩**	٩	٩	**١٠**	٦
١	٢	٢	٣	٣	٣	٦
٧	٨	٨	**٩**	٩	٩	٦
١	٢	٢	٢	٣	٣	٦
٧	**٧**	٨	٨	**٩**	٩	٦
٧	١٢	١	١	١	٢	٥
٦	٦	٦أ	٧	٧	**٨**	٦
١٢	١٢	١٢	١	١	١	٦
٥	٦	٦	٦أ	٧		٦

		(اختفى هذا الجزء)			عدد الأشهر القمرية المنقضية منذ آخر خسوف (لا يرِد هذا العمود في اللوح الأصلي)
١١	**١٢**	١٢	١٢	١	٦
٥	٥	**إسكندر** ٦	٦	٦أ	٦
١١	١١	**١٢**	١٢	١٢	٦
٤	٤	٤	**سلوقس** ٥	٥	٥
١٠	١٠	١٠	**١١**	١١	٦
٣	٤	٤	٤	٥	٦
٩	**١٠**	١٠	١٠	**١١**	٦
٣	٣	٤	٤	٤	٦
٩	٩	**١٠**	١٠	١٠	٦
٣	٣	٣	٤	٤	٦
٩	٩	٩	**١٠**	١٠	٦
١	٢	٢	٢	٣	٥
٧	**٨**	٨	٨	**٩**	٦
١	١	٢	٢	٢	٦
٧	٧	**٨**	٨	٨	٦
١٢أ	١	**فيليب** ١	٢	٢	٦
٦	٧	٧	**٨**	٨	٦
١٢	١٢أ	١	١	٢	٦
أوماسو ٦	٦	**٧**	٧	٨	٦
١١	١١	١٢	١٢	١٢أ	٥
٥	٥	٥	٦	٦	٦
١١	١١	١١	**١٢**	١٢	٦
٤	٥	٥	٥	٦	٦

ولا يختلف من عمود إلى آخر إلا أرقام الأشهر وأسماء الحكام وسلسلة الأشهر الإضافية، وهي مؤشرات لا تتفق مع حالات الخسوف في شيء. ونظرًا للهيكل الخاص لدورة ساروس، يتفق كل سطر كامل مع مجموعة من حالات الخسوف المتماثلة التي تفصل بينها دورة ساروس كاملة. وإذا كان الجدول يتعلق بفترة أطول، فإنه لا بد أن ينطوي بالتأكيد على حالات من عدم الانتظام التي تؤثر على توالي حالات الخسوف، والتي تعد بمنزلة عملية شبه دورية وليست دورية.

(د) حالات مرور الزهرة

يمكن للمراقب الأرضي أن يشهد عطارد والزهرة فقط وهما يمران أمام الشمس بما أنهما أقرب إلى الشمس من الأرض، وهذا ما نسميه بحالة المرور. وعلى غرار القمر، تعتبر مدارات الكواكب السفلية مائلة قليلًا بالنسبة إلى سطح دائرة البروج. وفي هذه الظروف يمكننا أن نطبق على حالات المرور تقديرات شبيهة جدًّا بالتقديرات الواردة في ملحق ب بشأن حالات خسوف القمر، ولا سيما فيما يتعلق بالبحث عن فترة تقريبية. فعلى العكس، لا يتسبب المحاق بالضرورة في حدوث كسوف شمسي، فهو نتيجة لميل المدار القمري، وهذا ما ينطبق أيضًا على الكواكب السفلية. ولا يكفي أن يكون عطارد أو الزهرة في قران سفلي لكي نلاحظ مرورًا؛ فهو حدث نادر فيما يتعلق بعطارد (يحدث ١٣ أو ١٤ مرورًا لعطارد في القرن)، وشديد الندرة فيما يتعلق بالزهرة.[١]

لا يعد توالي حالات الخسوف ظاهرة دورية، ولكن يمكن أن نبحث فيه عن فترات تقريبية. وفي هذا الصدد تعد حالات الخسوف القمرية وحالات المرور متشابهة جدًّا. فمن أجل تحديد فترة تقريبية محتملة نقوم بما قمنا به في ملحق ب: نحسب النسبة بين المدتين. تتعلق المدة الأولى بالدوران الاقتراني للكوكب؛ أي الزمن الذي يفصل في المتوسط بين اقترانين سفليين. أما المدة الثانية فهي تَصِف الزمن الذي يستغرقه الكوكب في المتوسط للمرور من إحدى عُقَد المدار إلى العقدة المقابلة. وإذا استخدمنا مصطلحات حالات الخسوف القمرية، فتساوي هذه المدة نصف الدوران العقدي.

ومن أجل إبراز الفترات التقريبية التي تَصِف توالي حالات مرور الزهرة، نقوم بالضبط بما يحدث مع حالات الخسوف، فنعتمد على المعطيات التي تتعلق بالدوران الاقتراني والدوران العقدي، فيفصل الدوران الاقتراني بين اقترانين سفليين للزهرة، ويستغرق في المتوسط ٥٨٣,٩٢١٣٦٠٩ يومًا، وهو ما يعد بلا شك أطول مقارنةً

بالدوران الفلكي للزهرة (٢٢٤,٧ يومًا). وهذا يعني أنه عندما يقوم الزهرة بدوران فلكي كامل تتقدم الأرض في الاتجاه ذاته ولكن بصورة أبطأ. ولكي يصبح الزهرة مصطفًّا من جديد مع الأرض والشمس، يتعين عليه إذن أن يستمر في مساره بعد قيامه بدورة كاملة حول الشمس. أما فيما يتعلق بالدوران العقدي الذي يُرجِع الزهرةَ إلى العقدة ذاتها على مداره، فهو يستغرق ٢٢٤,٦٩٨٨٩٤٦ يومًا؛ أي أقصر قليلًا من الدوران الفلكي؛ مما يعني أن خط العقد يقوم بحركة تراجعية في الاتجاه المعاكس لحركة الكوكبين. ومثلما يحدث في حالات الخسوف القمرية، تُحسب الفترات التقريبية بقياس النسبة بين مدة نصف الدوران العقدي 1/2RD ومدة الدوران الاقتراني RS.

إن النسبة $x \equiv 1/2\mathrm{RD}/\mathrm{RS}$ تساوي:

$$1/2 \cdot 224,6988946/583,9213609 \approx 0,1924051$$

وإذا حددنا قائمة الكسور الجذرية التي تقترب بصورة متزايدة من النسبة بين المدتين، نجد على التوالي:

$$x \equiv 1/2\mathrm{RD}/\mathrm{RS} \approx 1/5;\ 5/26;\ 71/369;\ 76/395;\ \ldots$$

(يعني الرمز $\equiv$ هنا أن x هي اختصار النسبة بين نصف الدوران العقدي والدوران الاقتراني في حين أن علامة $\approx$ تشير إلى التساوي بالتقريب.)

يعني وجود كسر ١ / ٥ أنه في نهاية الدوران الاقتراني (حوالي ٥٨٤ يومًا) سيكون الزهرة قد قام بحوالي دورانين ونصف دوران عقدي؛ أي ما يعادل أقل قليلًا من ٥٦٢ يومًا، ويبقى ٢٢ يومًا لكي يحدث الاقتران السفلي؛ مما يمنع حدوث أي مرور للزهرة. ومن هذا المنطلق يعد كسر ٥ / ٢٦ أكثر إثارة للاهتمام؛ لأن ٥ دورانات اقترانية تستغرق ٢٩١٩,٦ يومًا، في حين أنه يلزم الزهرة ٢٩٢١ يومًا لكي يقوم بـ ٢٦ نصف دوران عقدي. ونظرًا لأن نسبة x لا تضم إلا قيمًا متوسطة، ولأنه لا يؤخذ بعين الاعتبار في هذا الحساب الشكل الإهليجي لمسارات الأرض والزهرة وحجم الشمس؛ فنجد أن مرورين متتاليين قد لا يفصلهما بالفعل إلا ٢٩٢٠ يومًا، وهو ما يتفق بالمصادفة مع ٨ أعوام ويومين؛ وهي الفترة التقريبية الأولى التي نلاحظها بالفعل.

جدول د-١: جدول حالات مرور الزهرة بين عامَي ١٦٠٠ و٢٣٠٠. وخلال هذه الفترة، تتراوح الفواصل الزمنية بين مرورين متتاليين بين ٨ أعوام و١٢١ عامًا ونصف أو ١٠٥ أعوام ونصف. وبما أن ١٠٥ + ٨ + ٨ = ١٢١، فيمثل ١٢١ عامًا ونصف دورة ساروس حقيقية.

تاريخ المرور	الفترة الزمنية المنقضية منذ آخر مرور
٧ ديسمبر ١٦٣١	
٤ ديسمبر ١٦٣٩	٨ أعوام
٦ يونيو ١٧٦١	١٢١ عامًا ونصف
٣ يونيو ١٧٦٩	٨ أعوام
٩ ديسمبر ١٨٧٤	١٠٥ أعوام ونصف
٦ ديسمبر ١٨٨٢	٨ أعوام
٨ يونيو ٢٠٠٤	١٢١ عامًا ونصف
٦ يونيو ٢٠١٢	٨ أعوام
١١ ديسمبر ٢١١٧	١٠٥ أعوام ونصف
٨ ديسمبر ٢١٢٥	٨ أعوام
١١ يونيو ٢٢٤٧	١٢١ عامًا ونصف
٩ يونيو ٢٢٥٥	٨ أعوام

يقترب كسر ٧١ / ٣٦٩ من نسبة x بصورة أكبر: فيستغرق كلٌّ من ٧١ دورانًا اقترانيًّا و٣٦٩ نصف دوران عقدي ٤١٤٥٨,٤ يومًا و٤١٤٥٧,٠ يومًا بالترتيب؛ أي أكثر من ١١٣ عامًا ونصف بيومين، وهي ثاني فترة تقريبية يمكننا ملاحظتها. أما ٧٦ / ٣٩٥ فهو يقترب من x بصورة أكبر بما أن ٧٦ دورانًا اقترانيًّا تستغرق ٤٤٣٧٨,٠٢٣٤٣ يومًا (١٢١,٥ عامًا)، في حين أنه يجب انتظار ٤٤٣٧٨,٠٣١٦٨ يومًا لكي ينتهي آخر نصف دوران عقدي من أصل ٣٩٥. ويكون الفارق بين المدتين ضعيفًا للغاية، لدرجة أن ١٢١,٥ يمثل دورة ساروس حقيقية لحالات مرور الزهرة.

يؤكد جدول حالات مرور الزهرة للفترة من القرن السابع عشر وحتى القرن الثالث والعشرين وجود ثلاث فترات تقريبية مذكورة فيما سبق. ويرد ذلك في جدول د-١.

عندما نعاين هذا الجدول ينبغي أن نتذكر أنه لا يتعلق إلا بعدد محدود من حالات المرور، فإن كل جدول طويل للغاية قد يبرز مختلف الفترات التقريبية ولكن بطريقة ليست دورية. ونلاحظ أيضًا أن المرور القادم متوقع حدوثه في ١١ ديسمبر ٢١١٧.

مسرد المفردات

آثار ميغاليثية: تتكون من صخور هيل المتراصَّة في شكل دائري أو إهليجي. وتتكون ستونهنج من مجموعة آثار ميغاليثية متحدة المركز.

ارتداد العُقَد: يلاحظ المراقب الأرضي أن عُقَد المدار القمري تتنقل بطول مسار القمر، وتتعارض حركتها مع حركة القمر، لدرجة أن الفاصل الزمني بين مرورين متتاليين للقمر بالعقدة ذاتها أقلُّ من مدة دورانه حول الأرض.

أشعة كونية: هي جزيئات مشحونة سريعة للغاية قادمة من محيط ما بين النجوم.

اعتدال: هو أحد اليومين في العام اللذين تكون فيهما مدة طول النهار مساوية لمدة طول الليل. وتتوافق بداية كلٍّ من الربيع والخريف مع اعتدالين لكلٍّ منهما، وهذان اليومان هما ٢١ مارس و٢٣ سبتمبر بصفة عامة.

اقتران: عندما يصل أي نجمين من بين الشمس أو القمر أو الكواكب إلى خط الزوال السماوي ذاته في وقت واحد، نقول إنهما في اقتران. ونظرًا إلى أن مستوى مدارات القمر والكواكب المختلفة يميل قليلًا بالنسبة إلى دائرة البروج، فإنه يوجد بالضرورة بين النجمين المقترنين فارق زاوي بسيط.

اقتران سفلي: يكون الكوكب في اقتران سفلي عندما يمر بين الشمس والأرض. وعندما تكون الشمس هي التي بين الأرض والكوكب يكون في اقتران علوي. ويمكن تطبيق هذا المفهوم على حالات أخرى، ولا سيما على الكواكب التي لا تدور حول الشمس بل تدور حول نجمها.

أقمار جاليليو: الاسم الشائع لأكبر أربعة أقمار للمشتري. وهي تذكر بأن جاليليو هو أول من لاحظها.

التقويمان الميلادي واليولياني: يُعتبر التقويم الميلادي هو التقويم الأكثر استخدامًا حاليًّا، وهو ينحدر من التقويم اليولياني الذي عمل به يوليوس قيصر في عام ٤٦ قبل الميلاد. وعن طريق إدخال سنة كبيسة كل أربعة أعوام أدى الإصلاح اليولياني إلى عامٍ مدني يضم في المتوسط ٣٦٥,٢٥ يومًا. ونظرًا إلى أن العام الاستوائي لا يضم في المتوسط إلا ٣٦٥,٢٤٢٢ يومًا، بدأ التقويم اليولياني يختلف تدريجيًّا عن الفصول. فكان البابا جريجوار الثالث عشر هو من أصلح التقويم اليولياني في عام ١٥٨٢ بإلغاء بعض السنوات الكبيسة. واليوم نعتبر أن السنة الكبيسة هي التي يقبل رقمها القسمة على ٤ باستثناء تلك التي لا يقبل رقمها القسمة على ٤٠٠، في حين أنه يقبل القسمة على ١٠٠، مثل أعوام ١٧٠٠ و١٨٠٠ و١٩٠٠ و٢١٠٠.

العناصر «الأربعة»: وهي التراب والماء والهواء والنار عند قدماء اليونانيين، وكانت العناصر الأربعة هي المبادئ المكونة لأي مادة.

العنصر الخامس: هو العنصر الخامس الذي يُضاف أحيانًا إلى العناصر الأربعة التي نص عليها إيمبيدوكليس. ويعد العنصر الخامس، الذي يُطلق عليه أيضًا اسم أثير، هو العنصر المخصص للأجرام السماوية.

انحراف الضوء: هو ظاهرة بصرية تؤدي إلى تحرك ظاهري لنجم ما، وتنتج عن تأثير مزدوج لحركة الأرض على مدارها وسرعة الضوء.

انزياح نحو الأحمر (أو الأزرق): هو قلة (أو زيادة) ظاهرية لتردد شعاع ضوئي. ويحدث عندما يبتعد أو يقترب المصدر الضوئي بسرعة كبيرة من المراقب، ويمكن ملاحظة الانزياح نحو الأحمر في حالة المجرات البعيدة جدًّا التي تبتعد عنا بسبب توسع الكون. ويمتد هذا المفهوم ليشمل أي شعاع كهرومغناطيسي.

إنقاذ الظواهر: يكمن «إنقاذ الظواهر» لدى القدماء في إعداد نموذج هندسي يعيد إنتاج حركة كلٍّ من الشمس والقمر والكواكب بطريقة كافية، دون أن يتساءل صانع النموذج بالضرورة عن أصل الظاهرة. وكان النظام البطلمي يسعى في البداية إلى إنقاذ الظواهر.

انقلاب: خلال الانقلاب الصيفي (عامةً ٢١ يونيو في نصف الكرة الشمالي) تكون مدة طول النهار أطول، في حين أنها تكون عند أقل قيمها في وقت الانقلاب الشتوي (عامةً ٢٢ ديسمبر).

انكسار: هو انحراف شعاع ضوئي عندما ينتقل من محيط شفاف إلى آخر. وعندما تكون الحدود بين المحيطين جلية (مثل الانتقال من الهواء إلى الماء) يحدث الانحراف فجأةً. ويمكن أن يكون الانحراف تدريجيًّا (الانتقال من الفراغ إلى الغلاف الجوي، الذي يكون خفيفًا في البداية ثم يصبح أكثر كثافة).

اهتزاز النيوترينوات: هو انتقال يخضع له نيوترينو متحرك عندما يغير دوريًّا من نكهته.

بدارية: هو مصطلح يستخدمه علماء الفلك للإشارة إلى حركة دورية لا تتعلق بصورة مباشرة بجرم سماوي، ولكن تتعلق بالأحرى باتجاه محور أو نقطة هندسية معينة. ويدور الحديث حول مبادرة الاعتدالين أو عُقَد المدار القمري (في الحالة الأخيرة، نتحدث أيضًا عن ارتداد العُقَد).

تأثير دوبلر: يعتمد الشعاع الكهرومغناطيسي أو الضوئي في الفراغ على السرعة النسبية بين المصدر والمستقبِل، وعندما يبتعد الجهازان أحدهما عن الآخر يبدو التردد الذي يقيسه المستقبل أنه يقل. وهو ما نسميه انزياحًا نحو الأحمر، أو انزياح ألوان الطيف المرئي التي تتفق مع التردد الأكثر انخفاضًا. وعندما يقترب المستقبِل من المصدر، يحدث انزياح نحو الأزرق.

تحويل منهجي: هو موقف فلسفي يكمن في إرجاع مجال معرفي إلى مجال أكثر تخصصًا في مواجهة العلم. ويؤكد التحويل المنهجي بصفة خاصة أن كل الظواهر الفيزيائية والبيولوجية والنفسية ترجع فقط إلى مجموعة القوانين الأساسية للفيزياء.

تعارض: هو مرور متزامن لنجمين في خطوط زوال سماوية تفصلها زاوية ١٨٠°.

تقويم شمسي: هو تقويم يستخدم العام وحدة زمنية له على غرار التقويم الميلادي. وفي هذا التقويم لا يمثل الشهر أكثر من قسمة عشوائية، وهو ما يعد إرث تقويم قمري أكثر قدمًا.

تقويم قمري: هو تقويم يكون فيه الشهر القمري هو الوحدة الزمنية الوحيدة على غرار التقويم الإسلامي.

تقويم قمري-شمسي: هو تقويم قمري يكون متفقًا مع تغير الفصول عن طريق الإدخال الدوري إلى حد ما لشهر إضافي. كان التقويم البابلي قمريًّا-شمسيًّا.

تقويمات فلكية: هي جداول فلكية تحدد الموقع المحسوب للأجرام السماوية في كل يوم من العام أو بفاصل منتظم ومتقارب.

ثابت أفوجادرو: يساوي ثابت أفوجادرو ٦,٠٢٢ × ٢٣١٠، وهو عدد الذرات التي يحتوي عليها ١٢ جرامًا من نظير الكربون ١٢، والتي تمثل مولًا واحدًا (جزيئًا جراميًّا) من هذه المادة.

ثابت كوني: هو ثابت يدخل ضمن صيغة القوانين الأساسية للفيزياء. ووفقًا للمفهوم الحالي لا تعتمد قيمته على المكان ولا على العصر الذي نقيسه فيه. وهو لا يعكس أيضًا خصائص مكان معين. ومن بين أمثلة الثوابت الكونية نجد سرعة الضوء والشحنة الكهربائية وثابت الجاذبية.

ثقب أسود: هو جسم ضخم ذو حقل جاذبية كثيف للغاية، لدرجة تمنع إفلات أي شكل للمادة أو أي إشعاع.

جدول حالات الكسوف: هو قائمة بحالات كسوف الشمس وخسوف القمر تصلح لمدة ومنطقة أرضية محددتين.

حتمية: هو مبدأ يقول إن حدوث ظاهرة ما تحدده بالكامل شروط أولية تضمن وجودها وتطورها.

حجب: هو اختفاء عابر لنجم خلال التقائه بجرم سماوي أقرب ذي حجم ظاهري أكبر.

حركة انتقالية: هو حركة جسم أو شكل، بعيدًا عن أي دوران.

حركة تراجعية: إذا نظرنا إلى الكواكب من الأرض، نجدها تفعل مثلما تفعل الشمس والقمر؛ فتتحرك من الغرب إلى الشرق بالنسبة إلى النجوم الثابتة. ولكن قد يبدو الكوكب لفترة قصيرة كأنه يرجع إلى الخلف مع احتمال استئنافه لسيره في اتجاه الشرق، وهو ما نسميه بحركة تراجعية.

حركة خاصة لنجم: هي حركة نجم بالنسبة إلى النجوم الأكثر بعدًا التي تبدو لنا ثابتة وتُعرِّف هكذا الكرة السماوية. ولا يمكن إدراك الحركة الخاصة إلا بالنسبة إلى النجوم الأكثر قربًا من الشمس.

حركة طبيعية: في المفهوم الأرسطي عن العالم، لا تخضع حركة الجسم إلى أي قوة؛ فالحجر الذي نسقطه أو فقاعة الهواء التي تتكون في قاع مستنقع يكتسبان حركة طبيعية يبحث خلالها الجسم عن مكانه «الطبيعي»؛ الأرض للجسم الصلب والهواء للفقاعة التي ترتفع عبر السائل. وتنتمي النجوم إلى العالم السماوي، وبدلًا من أن تُوجه حركتها الطبيعية وفقًا للخط العمودي، تكون دائرية منتظمة. وتتعارض الحركة الطبيعية مع الحركة العنيفة التي يتطلب حدوثها تأثير قوة.

حركة عنيفة: في المفهوم الأرسطي، تتعارض الحركة العنيفة مع الحركة الطبيعية (انظر هذه الكلمة). ويرى أرسطو أن الحركة العنيفة تَنتج دائمًا عن قوة، وتكون سرعة الجسم المتحرك بالتناسب مع هذه القوة.

حساب الأعياد الكنسية: هو قاعدة حساب أو لوغاريتم يسمح بإعداد تقويم الأعياد التي يتغير تاريخها كل عام، ولا سيما تاريخ عيد الفصح.

حساب لا نهائي في الصغر: يُقصد بهذه العبارة عادةً مجموعة العلامات والأساليب المتبعة في حساب التفاضل والحساب الكلي وحساب التغيرات، على النحو الذي تم إعدادها به في القرنين السابع عشر والثامن عشر.

حضيض: هي نقطة على مسار كوكب تكون فيها المسافة إلى الشمس عند قيمتها الدنيا. وتتعارض مع نقطة الأوج.

خسوف كلي للقمر: هو خسوف قمري يختفي خلاله قرص القمر بالكامل في ظل الأرض دون أن يصبح مع ذلك غير مرئي تمامًا؛ إذ ينخفض بريقه بدرجة كبيرة ويبدو القرص القمري في لون أحمر داكن.

خط الزوال: هو دائرة كبيرة تعبر القطبين الأرضيين. ويمر خط زوال واحد فقط في كل النقاط الأخرى على سطح الأرض.

خط جيوديزي: في الهندسة، يُقصد بالخط الجيوديزي المسار الأقصر بين نقطتين على مساحة نمتلك الوسائل لقياس المسافات عليها. يُعمم هذا المفهوم ليشمل المنحنيات المرسومة في مساحة ذات أبعاد معينة.

خط عُقَد المدار القمري: هو خط يصل بين عقدتي المدار القمري، ويدور خط العُقَد حول مركزه، لدرجة أن كل عقدة تقوم بدورة كاملة بطول دائرة البروج في ١٨,٦١ يومًا.

دائرة البروج: بالنسبة للمراقب الأرضي، هي المسار السنوي الذي تسلكه الشمس على القبة السماوية. وتحدد دائرة البروج سطحًا، وهو سطح دائرة البروج، يقطع الكرة السماوية ويقسمها إلى جزأين متساويين. أما إذا كان المراقب على سطح الشمس، فيبدو له أن دوران الأرض يندرج في هذا السطح. وتكون مسارات القمر والكواكب الأخرى متوازية مع دائرة البروج، لدرجة أنه يبدو للمراقب الأرضي أن كل هذه الأجسام تتحرك تقريبًا بطول دائرة البروج. وفي المقابل يعد مدار بلوتو مائلًا بصورة كبيرة بالنسبة إلى دائرة البروج، وهو ما يعد أحد الأسباب التي جعلته يفقد صفة كوكب.

دائرة كبيرة: هي دائرة يتفق نصف قطرها مع نصف قطر الكرة التي توجد عليها، والتي تقسمها إلى نصفين متساويين. وإذا نقلنا ذلك إلى الكرة الأرضية، فسنجد أن خط الاستواء وكل خط من خطوط الزوال يُعتبر دوائر كبيرة، في حين أن الخطوط الموازية — ما عدا الاستواء — ليست دوائر كبيرة. ويمثل كل خط في دائرة كبيرة خطًّا جيوديزيًّا.

دائرة ناقلة: هي دائرة في نظام بطليموس تتمركز حول الأرض وترسمها نقطة هندسية تكون هي مركز فلك التدوير.

دوران اقتراني أو فترة اقترانية: عندما نتحدث عن القمر، فالدوران الاقتراني هو حركة دورية تحدث بين محاقين متتاليين، ويستغرق هذا الدوران في المتوسط ٢٩ يومًا و١٢ ساعة و٤٤ دقيقة و٢,٨ ثانية. وبصورة أعم، هو حركة جرم سماوي بين اقترانين متتاليين مع الشمس.

دورة ميتون: هي دورة تتكون من ١٢ سلسلة، وكل سلسلة من ١٢ شهرًا قمريًّا (سنة عادية)، و٧ سلاسل تتكون كلٌّ منها من ١٣ شهرًا قمريًّا (سنة كبيسة). وتعادل مدتها تقريبًا ١٩ عامًا من التقويم الميلادي.

زاوية اختلاف: هي نصف انتقال زاوي لموقع جرم سماوي، وينتج عن تغير موقع المراقب الأرضي. ويُحسب الانتقال بالنسبة للكرة السماوية، ويمكن رصده بالنسبة

لمجموعة النجوم الثابتة. ومن المفترض أن تكون النقطتان المستهدفتان متواجهتين، وأن يكون النجم المستهدف على السطح الأوسط.

زاوية الرأس: في علم الفلك، هي زاوية تقع بين الخط الرأسي الذي يعبر نجمًا ملحوظًا وخط الزوال الذي يعبر المراقب.

زمكان: في النسبية، هو كيان فريد تحدث بداخله الظواهر، وهو يحل محل المكان والزمان المطلقين لدى نيوتن.

ساروس: هو فاصل زمني يتفق مع ٢٢٣ فترة إقمار؛ أي ٦٥٨٥,٣٢ يومًا أو ١٨ عامًا و١٠,٥ أيام. فإذا حدث أي كسوف شمسي أو خسوف قمري في تاريخ ما، فمن المرجح أن يحدث كسوف مماثل عندما تنقضي دورة ساروس، وهو ما نسميه كسوفين متماثلين. وخلال دورة ساروس، نلاحظ في المتوسط ٤٥ كسوفًا شمسيًّا و٤٥ خسوفًا قمريًّا.

سرعة الإفلات: هي سرعة يتعين أن تبلغها القذيفة للإفلات من قوة جاذبية جرم سماوي والابتعاد عنه بصورة كبيرة. ولا تعتمد سرعة الإفلات على كتلة القذيفة ولا على اتجاهها في البداية، شريطة أن يمكننا التغاضي عن الكبح الناتج عن وجود غلاف جوي.

شبه الظل: هي منطقة على سطح الأرض لا يكون فيها كسوف الشمس إلا جزئيًّا؛ فلا يحجب القمر قرص الشمس بالكامل.

شكل مسطح: يكون الشكل مسطحًا حينما يمكن إدراجه في سطح مستوٍ، وعكسه: رسم معوج.

شهر فلكي: هو مدة دوران قمري كامل (٢٧,٣٢١٦٦ يومًا). ويلاحظ المراقب الأرضي أن القمر يعود إلى الموقع ذاته بالنسبة للنجوم الثابتة في نهاية شهر فلكي.

شهر قمري: هو وحدة التقويم القمري الذي يساوي فترة الإقمار، ويضم الشهر القمري بالضرورة عددًا صحيحًا من الأيام (في الأساس ٢٩ أو ٣٠ يومًا). وفي التقويمين البابلي أو الإسلامي يبدأ الشهر في اليوم الذي يمكن فيه رؤية هلال القمر للمرة الأولى بعد غروب الشمس.

طاقة سوداء: هي شكل غير معروف من أشكال الطاقة، ربما يملأ الكون بأسره ويكون سببًا في قوة جاذبة دافعة.

ظل: هو منطقة على سطح الأرض يُحجب عنها القرص الشمسي بالكامل خلال كسوف كلي.

عالم ما تحت القمر وعالم سماوي: كان أرسطو يرى أن الكون ينقسم إلى جزأين، فتنتمي الأرض وجوارها (هنا في الأسفل) إلى عالم ما تحت القمر الذي يخضع للقوانين التي نعرفها. أما القمر والشمس والكواكب والنجوم فهي تنتمي إلى العالم السماوي، وتنتشر في نظام معقد من الكرات المتداخلة التي تضم كوكبنا. وتمثل الكرة القمرية الحدود الدنيا لعالم سماوي يختلف عن عالمنا بحركته وخلوده وتكوينه.

عام استوائي: هو المدة التي تفصل بين مرورين متتاليين باعتدال الربيع. ويتعلق الأمر هنا بمفهوم يتفق بأفضل طريقة مع احتياجات الإنسان؛ لأنه يحترم مدة كل فصل من فصول السنة. ويحتوي العام الاستوائي في المتوسط على ٣٦٥,٢٤٢٢٠ يومًا، ويختلف بذلك عن بقية تعريفات العام التي تتلاءم مع مدد مختلفة بصورة طفيفة.

عدد غير جذري: هو عدد لا يقبل أن يكون ناتج قسمة رقمين صحيحين مهما كان كبرهما. فإن $\sqrt{٢}$ وπ عددان غير جذريين.

عطالة: هي مقاومة الأجسام للتسارع الذي تكتسبه. ويكون قياس العطالة عبر الكتلة.

عقدة: هي نقطة تقاطع مدار القمر مع دائرة البروج. وتكون العقدة صاعدة عندما يمر القمر من هذه النقطة من النصف الجنوبي للكرة السماوية إلى نصف الكرة الشمالي وتكون نازلة في الحالة المعاكسة. ويُستخدم المصطلح ذاته في حالة المدارات الكوكبية.

عقدي (شهر، دوران): هو متوسط الفاصل الزمني بين عودتين متتاليتين للقمر إلى العقدة الصاعدة في مداره. ويوجد أيضًا الدوران العقدي ومدته ٢٧ يومًا و٥ ساعات و٥ دقائق و٣٥,٨ ثانية. ويستخدم هذا المصطلح أيضًا بشأن مرور عطارد أو الزهرة.

فترة: هي فاصل زمني يُعاد في نهايته حدوث ظاهرة بصفة منتظمة، فيتسم كلٌّ من اهتزاز البندول أو توالي أطوار القمر بوجود فترات.

فترة إقمار: ويُطلق عليها أيضًا شهر اقتراني، وهي متوسط المدة التي تفصل بين محاقين متتاليين؛ أي ما يعادل ٢٩ يومًا و١٢ ساعة و٤٤ دقيقة و٢,٨ ثانية. يمكن أن تتراوح فترة إقمار معينة بين ٢٩ يومًا و٦ ساعات، و٢٩ يومًا و٢٠ ساعة. وطالما

كانت فترة الإقمار تُعتبر وحدة زمنية. وهي أيضًا وحدة زمنية للتقويمات القمرية التي يمثل الشهر بالنسبة لها المرجع الزمني بدلًا من العام. ففي اللغة اليونانية يعني مقطعًا mênê وmên القمر والشهر بالترتيب. وحتى يومنا هذا تُقرب اللغة الألمانية Mond وMonat والإنجليزية moon وmonth هذين الجذرين. وقد فضل تقويمنا مد الشهر يومًا أو اثنين لكي يتلاءم بصورة أفضل مع العام.

فترة فلكية: هو الزمن الذي يستغرقه كوكب للقيام بدورة كاملة حول الشمس أو قيام القمر بدورة كاملة حول الأرض (وهو ما نسميه شهرًا فلكيًّا).

فلك التدوير: في نظام بطليموس هو دائرة صغيرة يرسمها نجم في الوقت الذي يرسم مركزها هو الآخر دائرة ثانية تُسمى دائرة ناقلة، وتتمركز حول الأرض التي كان من المفترض حينئذٍ أنها ثابتة.

فوتون أو ضوء: هو مكون موجة كهرومغناطيسية ويُعتبر جسيمًا أساسيًّا. فقد ينتج الفوتون أو يصدر خلال عملية الإطلاق أو الامتصاص أو التصادم؛ مما ينتج جزيئات مشحونة. وتكون طاقة الفوتون بالتناسب مع تردده.

فيثاغورس (مبرهنة فيثاغورس): في المثلثات القائمة يساوي مربع طول الوتر مجموع مربعات طول كلٍّ من الجوانب الأخرى.

فيزياء نفسية: هي دراسة علمية للعلاقة بين الأسباب الفيزيائية والإحساس الناتج.

قزم أبيض: هو المرحلة قبل الأخيرة لتطور نجم نفد وقوده النووي. فإن نصف قطر قزم أبيض له كتلة مساوية لكتلة الشمس يساوي نصف قطر الأرض. وتكون درجة حرارة القزم الأبيض بصفة عامة أكثر ارتفاعًا، ولكنه يتجمد تدريجيًّا ليتحول إلى قزم أسود يستحيل رؤيته مباشرةً.

قطب سماوي: بالنسبة للمراقب الأرضي هو نقطة على الكرة السماوية وتبدو النجوم الثابتة على أنها تقوم بدوران حول هذه النقطة في كل ليلة. ويقع القطبان السماويان على الخط العمودي لكلٍّ من القطبين الأرضيين.

قوة عطالة: هي قوة خيالية تسمح بتطبيق قوانين نيوتن على أنظمة متسارعة. وتعد قوة العطالة مقابلة لتسارع النظام الذي تظهر فيه، مثل السيارة. ولا تزال ميكانيكا نيوتن صالحة في النظام المتسارع، شريطة أن ندرج قوة العطالة بين القوى التي تؤثر بصورة مباشرة على الأجسام المتحركة.

كرة الثوابت: لدى القدماء، هي جزء من السماء يضم كل الأجسام المضيئة. وإذا نظرنا إليها من الأرض نجدها تقوم بحركة دائرية منتظمة حول أحد القطبين السماويين. وتنتمي النجوم بخلاف الشمس إلى كرة الثوابت.

كرة سماوية: هي كرة تتمركز حول مراقب أرضي وتندرج عليها كل الأجرام السماوية. ويتحدد موقعها وحركتها عن طريق حركة النجوم الثابتة. وهي تكتسب حركة دورانية حول محور الأرض.

كسوف كلي للشمس، كسوف حلقي: هو كسوف شمسي يختفي خلاله قرص الشمس بالكامل خلف قرص القمر. وعندما تظل حلقة ضوئية مرئية في محيط المنطقة المظلمة يكون الكسوف حلقيًّا.

كسوفان متماثلان: هما كسوفان تفصلهما دورة ساروس واحدة أو أكثر من دورة، أو بصورة عامة تفصلهما فترة تقريبية واحدة أو أكثر من فترة.

كوكب سفلي: هو الاسم الذي نطلقه في التصنيف الفلكي على عطارد والزهرة اللذين لا يتجاوز بُعدهما عن الشمس ٢٨° (عطارد) و٤٨° (الزهرة) عندما نراقبهما من الأرض. وإذا كان القدماء قد لاحظوا هذه الخاصية الفريدة، فإنهم كانوا يجهلون سببها: فإن مداري الكوكبين السفليين يقعان بداخل مدار الأرض.

كوكب علوي: هو الاسم الذي يطلقه علماء الفلك على الكواكب الأخرى غير عطارد والزهرة، طالما أن موقعها الظاهري على القبة السماوية لا يحده موقع الشمس. ونعرف اليوم أن كل مداراتها لها محاور أكبر من محور الأرض.

كوكب قزم: هو جرم سماوي يدور حول الشمس، وهو ضخم بدرجة كافية تجعل شكله كرويًّا تقريبًا. ويختلف الكوكب القزم عن الكواكب العادية في أنه قضى على كل الأجسام التي من شأنها أن تدور حول مدار قريب. ومنذ ٢٠٠٦ يُعتبر بلوتو كوكبًا قزمًا مع إيريس الذي تم اكتشافه في ٢٠٠٥، وهو أضخم بقليل من بلوتو.

كويكب: هو كوكب صغير في المجموعة الشمسية ولا يتخطى قطره سوى بضع مئات الكيلومترات. ويقع مدار غالبية الكويكبات بين مداري المريخ والمشتري، ويكون بصفة عامة أكثر ميلًا من مدارات الكواكب.

مأخوذ: نتيجة وسيطة تُستخدم خلال التسلسل المنطقي في البرهنة الطويلة.

مادة سوداء: في علم الفيزياء الفلكية تعني هذه العبارة المادة غير المكتشَفة التي ربما تملأ الكون، فوجودها مسلَّم به؛ لأن الكتلة الملحوظة للمجرات لا تبدو كافية لتفسير حركة النجوم التي تحتوي عليها.

مبادرة الاعتدالين: هو انقلاب للقبة السماوية بأسرها نتيجةً للتغير البطيء لاتجاه محور دوران الأرض. فبدلًا من أن يشير المحور بصورة دائمة إلى النقطة ذاتها، يرسم دائرة على القبة السماوية في حوالي ٢٦٠٠٠ عام، لدرجة أن النجم القطبي لن يكون في خلال بضعة قرون مؤشرًا على جهة الشمال.

مبدأ الاحتفاظ بالطاقة: هو مبدأ يقول إنه خلال أي تحول لنظام معزول، تكون الطاقة النهائية ذات قيمة مساوية لقيمتها في حالتها الأولى؛ أي قبل التحول.

مبدأ التكافؤ: هو مبدأ يقول إنه لا تسمح أي تجربة فيزيائية بالتمييز بين نظام متسارع ونظام يخضع لمجال جاذبية منتظم.

مبدأ العطالة: هو الاسم الذي نطلقه أحيانًا على قانون نيوتن الأول، ونسميه أيضًا قانون العطالة.

متتاليات حسابية: هي مجموع عدد محدود من العناصر بحيث يزيد كل عنصر، بدايةً من العنصر الثاني، عن العنصر السابق بكم ثابت. فإن ١ + ٢ + ٣ + ٤ هو مثال بسيط لمتتالية حسابية.

متعدد الأوجه: هو مادة صلبة يحدها عدد محدود من الأوجه المضلعة. وعندما يكون متناسقًا (أي إنَّ أَوْجُهَهَ والزوايا التي تفصلها متشابهة) يُطلق عليها اسم المجسمات الأفلاطونية، ويوجد خمسة أنواع مختلفة للمجسمات الأفلاطونية؛ وهي: رباعي الأوجه، والمكعب (ستة أوجه)، وثُماني الأوجه، واثنا عشري الأوجه، وعشريني الأوجه.

متناقضة أولبرز: هي تناقض ظاهري بين ملاحظة أن السماء الليلية سوداء اللون، وافتراض أن الكون ساكن وغير محدود.

مخروطي الشكل (قطع): هو منحنًى ينتج عن قطع مستوًى لمخروط دائري. ويُطلق على القطع الناقص والدائرة والقطع المكافئ والقطع الزائد اسم قطع مخروطي الشكل، أو مخروط.

مركزية الأرض للكون: هي نظرية تجعل من الأرض مركزًا للكون، وهي تتعارض مع مركزية الشمس للكون.

مركزية الشمس للكون: هي نظرية تجعل من الشمس مركزًا للكون، وهي تتعارض مع مركزية الأرض للكون.

مرور: في علم الفلك هو مرور كوكب سفلي أمام الشمس، ويُستخدم هذا المصطلح اليوم للإشارة إلى مرور كوكب لا ينتمي للمجموعة الشمسية أمام نجمه.

مستعر أعظم: هو انفجار نجم ذي كتلة كبيرة قد يصبح خلال بضعة أيام أكثر بريقًا عشرة مليارات مرة مقارنة بالنجم الذي تولد عنه أو الذي وصل تحديدًا إلى هذه المرحلة. قد يتخطى بريق المستعر الأعظم بصورة مؤقتة بريق المجرة التي ينتمي إليها. وبعد أن يبلغ الحد الأقصى لبريقه، ينطفئ تدريجيًّا.

مسلمة: هي أحد الاقتراحات التي نبني عليها نظرية رياضية أو منطقية.

مشكلة ذات ثلاثة أجسام: هي مشكلة تكمن في تحديد حركة ثلاثة أجسام في تفاعل مشترك. فعندما تكون قوة التجاذب المشتركة هي قوة الجاذبية، وعندما تكون الأجسام ذات تماثل كروي، تكون المشكلة ذات جسمين قابلة تمامًا للحل. وفي المقابل، لا يوجد لمشكلة ذات ثلاثة أجسام في الظروف ذاتها حل عام (أو تحليلي) قد يسمح بمعرفة الحركة المستقبلية للأجسام الثلاثة بالضبط بواسطة معطيات أولية معينة.

مضلع، مضلع متناسق: هو شكل مسطح يحده خط منكسر مغلق، ويضم على الأقل ثلاثة أوجه، ويكون متناسقًا حينما تكون كل زواياه متساوية.

ميوون: جسيم مشحون يتشارك في العديد من الخصائص مع الإلكترون، باختلاف أن كتلته أكبر ٢٠٧ مرات، وأنه غير مستقر بما أن متوسط مدة بقائه يكاد يفوق بصعوبة جزءًا على مليون ثانية.

نجم نابض: هو مصدر إشعاع كهرومغناطيسي كثيف ومتغير مع الوقت بسرعة كبيرة. وهو يكشف عن وجود نجم نيوتروني لا يتخطى قطره أكثر من بضع عشرات الكيلومترات. وتتكون النجوم النابضة عند انهيار نجم ضخم (مستعر أعظم).

نجم نيوتروني: هو نجم ذو كثافة عالية للغاية، يمكن أن يكون مصدرًا لإشعاع كهرومغناطيسي يتغير دوريًّا، فهو إذن نجم نابض. يعد النجم النيوتروني هو المرحلة الأخيرة لتطور بعض النجوم.

نجوم ثابتة: بالنسبة للقدماء هي الأجرام السماوية الدائمة التي إذا نظرنا إليها من الأرض تبدو أنها مثبتة على الكرة السماوية. وتبدو كأنها لا تكتسب إلا حركة دائرية يومية حول أحد القطبين السماويين.

نشاط إشعاعي: ينتج الجسم المشع في الأساس ثلاثة أنواع من الإشعاعات، وهي أشعة α (ألفا) التي تتكون من نوى الهيليوم وأشعة β (بيتا) التي تتكون من الإلكترونات، أما إشعاع γ (جاما) فهو ذو طابع كهرومغناطيسي مثل الضوء أو موجات الراديو ولكن تردده أكبر بكثير.

نصف قطر شفارتزشيلد: عندما يكون نصف قطر جرم سماوي أقل من نصف قطر شفارتزشيلد يضطرب الزمكان بشدة بجواره، وهو ما ينتج عنه ثقب أسود. ويعتمد نصف قطر شفارتزشيلد على كتلة النجم المعني.

نظام عطالة: هي مساحة ربما تكون متحركة تخضع لقانون نيوتن الأول أو قانون العطالة، فالقطار المنطلق بسرعة ثابتة على مسار مستقيم هو مثال على نظام عطالة. وتكتسب كل أنظمة العطالة حركة منتظمة بعضها بالنسبة إلى بعض.

نظام متسارع: هو نظام مرجعي يخضع لتسارع بالنسبة إلى نظام عطالة.

نظام مرجعي: هو مجال محدود وغير قابل للتشويه نقوم فيه بقياسات نقارنها بالقياسات التي تتم في النظم الأخرى. وقد تتحرك النظم المرجعية بعضها بالنسبة إلى بعض، فالمراقب غير المتحرك بطول طريق سكة حديدية ينتمي إلى نظام «ساكن» عندما يقيس سرعة مسافر يتنقل داخل قطار؛ نظام «متحرك».

نموذج: هو تمثيل مبسط لعملية أو نظام فيزيائي. قد يكون النموذج مصغرًا أو مجسمًا — وهو حال العديد من القباب الفلكية — ولكنه غالبًا ما يكون ذا طابع رياضي.

نيازك: هي أجزاء من أجرام سماوية تسقط على الأرض أو على كوكب آخر. وتنتج غالبية النيازك التي تسقط على الأرض عن تصادم كويكبات.

نيوترينو: هو جسيم غير مشحون ذو كتلة ضئيلة للغاية ويظهر بصفة خاصة عند انشطار β. وتظهر النيوترينوات بثلاث نكهات مختلفة تقترن بالترتيب بالإلكترون أو بالميوون μ أو بالتاو τ.

وحدة فلكية: في علم الفلك، تُستخدم الوحدة الفلكية مقياسًا للطول، وهي تساوي متوسط المسافة بين الشمس والأرض؛ أي حوالي ١٥٠ مليون كيلومتر.

مراجع الكتاب

المراجع المقترحة، باستثناء المراجع المسبوقة بعلامة النجمة، في متناول القارئ غير المتخصص في العلوم.

(١) المراجع العامة

Barrow John D., *Pi in the Sky,* Penguin Books (1993).

Barrow John D., *The Constants of Nature,* Vintage (2003).

Bell Eric Temple, *Les grands mathématiciens,* Payot (1961).

Bellone Enrico, *Galilée, le découvreur du monde,* Belin Pour la Science (2003).

Bergia Silvio, *Einstein, le père du temps moderne,* Pour la Science, série Les génies de la science (2002).

Berry Arthur, *A Short History of Astronomy,* Dover (1961).

Bonnard André, *Civilisation grecque,* La Guilde du Livre (1980).

Brown Peter Lancaster, *Megaliths, Myths and Men, an Introduction to Astroarchaelogy,* Dover (2000).

Caspar Max, *Kepler,* Dover (1993).

* Chandrasekhar S., *Newton's Principia for the Common Reader,* Clarendon (1995).

de Closets François, *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire,* Seuil (2004).

*Copernic Nicolas, *Des Révolutions des Orbes Célestes,* traduction française du Livre I de l'ouvrage paru en 1543 et figurant dans la compilation de Stephen Hawking, *Sur l'épaule des géants,* Dunod (2003).

Cribier Michel, Spiro Michel et Vignaud Daniel, *La lumière des neutrinos,* Seuil (1995).

Crosswell Ken, *Planet Quest,* Oxford University Press (1999).

Dreyer J. L. E, *Tycho Brahe: A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century,* Adam and Charles Black (1890).

Dreyer J. L. E., *A History of Astronomy from Thales to Kepler,* Dover (1953).

Eisenstaedt Jean, *Einstein et la relativité générale. Les chemins de l'espacetemps,* CNRS éditions (2003).

Eisenstaedt Jean, *Avant Einstein,* Seuil (2005).

Euler Léonard, *Lettres à une princesse d'Allemagne,* Presses polytechniques et universitaires romandes (2003).

Galilée, *Lettre à Christine de Lorraine et autres écrits coperniciens,* Librairie Générale Française (2004).

Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles,* Presses universitaires de France (1995).

Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* Seuil (1992).

Gindikin Semyon G, *Tales of Physicists and Mathematicians,* Birkhäuser (1988).

Gleick James, *Isaac Newton, un destin fabuleux,* Dunod (2005).

Grosser Morton, *The Discovery of Neptune,* Harvard University Press (1962).

Hoffmann Banesh, *Albert Einstein, créateur et rebelle,* Seuil (1975).

Holton G., Rutherford F. J. et Watson F. G., *The Project Physics Course I, Concepts of Motion; II, Motion in the Heavens,* Text and Handbook, Holt, Rinehart and Winston (1970).

Hoyle Fred, *L'astronomie,* Editions du Pont Royal (1963).

Institut de Mécanique Céleste, *Les éclipses de Soleil. L'Eclipse totale du 11 août 1999,* EDP; *Le manuel des éclipses,* EDP Sciences (2005).

*Kepler Johannes, *L'harmonie du Monde,* traduction française du Livre V de l'ouvrage paru en 1619 et figurant dans la compilation de Stephen Hawking, *Sur l'épaule des géants,* Dunod (2003).

Keynes John Maynard, "Newton the Man", in *Newton Tercentenary Celebrations, July 1946*, Cambridge University Press (1947).

Keynes Milo, *The Personality of Isaac Newton,* Notes Rec. R. Soc. Lond. **49** (1), 1 (1995).

Koestler Arthur, *Les somnambules,* Calman–Lévy (1960).

Lefort Jean, *La saga des calendriers ou le frisson millénariste,* Pour la science (1998).

Levasseur–Regourd A.–Chantal, de la Cotardière Philippe, *Les comètes et les astéroïdes,* Seuil (1997).

Lombardi Anna Maria, *Kepler, le musicien du ciel,* Pour la Science, série Les génies de la sciences (2001).

Luminet Jean–Pierre, *Le rendez–vous de Vénus,* Lattès (1999).

Maor Eli, *Venus in Transit,* Princeton University Press (2004).

Neugebauer O., *The Exact Sciences in Antiquity,* Barnes and Noble Books (1993).

*Newton Isaac, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* [trad. de l'anglais] par feue Madame la Marquise du Chastellet, J. Gabay (1990).

*Pais Abraham, *Subtle is the Lord …, The Science and Life of Albert Einstein,* Clarendon (1982).

*Pais Abraham, *Inward Bound,* Clarendon (1986).

Pannekoek A., *A History of Astronomy,* Dover (1989).

Panza Marco, *Newton,* Les Belles Lettres (2003).

Peterson Ivars, *Le chaos dans le système solaire,* Pour la Science Belin (1995).

Sarton, George, *Ancient Science and Modern Civilization,* Harper Torch-book (1959).

Sarton, George, *Ancient Science through the Golden Age of Greece,* Dover (1993).

Sarton, George, *Hellenistic Science and Culture in the last Three Centuries B. C.,* Dover (1993).

Schwinger Julian, *Einstein Legacy,* Scientific American Library (1986).

Smart W. M. *John Couch Adams and the Discovery of Neptune*, Occasional Notes of the Royal Astronomical Society **11** (August 1947).

Sobel Dava, *La fille de Galilée,* Odile Jacob (2001).

Sokal Alan et Bricmont Jean, *Impostures intellectuelles,* Odile Jacob (1997).

*Thorne Kip S., *Trous noirs et distorsions du temps,* Flammarion (1997).

Westfall Richard, *Newton,* Flammarion (1994).

Wheeler John Archibald, *A Journey into Gravity and Spacetime,* Scientific American Library (1990).

(٢) المراجع الخاصة بكل فصل

الفصل الأول: ويستمر الدوران ... لكن بسرعة أقل

Doblhofer Ernst, *Le déchiffrement des écritures,* Arthaud (1959).

Gillet Alain, *Une histoire des marées,* Regards sur la Science, Belin (1998).

Morrison L. V., Stephenson F. R., *Contemporary Physics* **38**, 13 (1997).

Parisot Jean-Paul, Suagher Françoise, *Calendriers et chronologie,* Masson (1996).

Stephenson F. R., *Historical Eclipses and Earth's Rotation,* Cambridge University Press (1987).

الفصل الثاني: التنين يقف بجوار عقدة

Couderc Paul, *Le calendrier,* PUF, collection Que sais-je? (1981).

*Epping J., Strassmaier S. J. Der Saros-Canon der Babylonier, *Zeitschrift für Assyriologie* **8**, 11 (1893).

*Khinchin A. Ya, *Continued Fractions,* The University of Chicago Press (1961).

Longrigg James, "Thales" in *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Coulson Gillispie (ed), Charles Scribner's Sons (1981).

الفصل الثالث: ارقص مع القمر

Hawkins Gerald S., Stonehenge Decoded, *Nature* **200**, 306 (1963).

Newham C. A., "Stonehenge—a Neolithic 'Observatory'", *Nature* **211**, 456 (1966).

الفصل الرابع: قبة فلكية من العصر الحجري الحديث

Hawkins Gerald S., "Stonehenge Decoded", *Nature* **200**, 306 (1963).

Hawkins Gerald S., "Stonehenge: a Neolithic Computer", *Nature* **202**, 1258 (1964).

*Hoyle Fred, "Stonehenge—An Eclipse Predictor", *Nature* **211**, 454 (1966).

*Hoyle Fred, "Speculations on Stonehenge", *Antiquity* **XL**, 262 (1966).

الفصل الخامس: عالم دانتي

*Brehme Robert W., "New Look at the Ptolemaic system", *American Journal of Physics* **44**, 506 (1976).

Maury Jean-Pierre, *Comment la Terre devint ronde,* Decouvertes Gallimard (2005).

الفصل السادس: زوجتي وحماتي

Wilson, David B., *Galileo's Religion Versus the Church's Science? Rethinking the History of Science and Religion,* Phys. Perspect. **1**, 65 (1999).

الفصل السابع: محاكمة جاليليو لن تتم

Arnaudon L. *et al., Effects of Terrestrial Tides on the LEP Beam Energy*, CERN SL/94–07 (BI).

Drake Stillman, Galileo Galilei, in *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Coulson Gillispie (ed.), Charles Scribner's Sons (1981).

Jauch J. M. *The Trial of Galileo Galilei*, CERN 64–36 (1964).

Wilson, David B., "Galileo's Religion Versus the Church's Science?

Rethinking the History of Science and Religion", *Phys. Perspect.* **1**, 65 (1999).

الفصل الثامن: الخسوف أم الكرونومتر؟

Cohen I Bernard, "Rømer and the First Determination of the Velocity of Light" (1676), *Isis* **31**, 327 (1940).

Quill Humphrey, *John Harrison: The Man Who Found Longitude,* Baker (1966).

Sobel Dava, *Longitude,* Jean–Claude Lattès (1995).

Tuinstra Fokke, "Rømer and the Finite Velocity of Light", *Physics Today* (December 2004).

الفصل التاسع: كبلر مسَّاح السماء

Connor James A., *Kepler's Witch,* Harper Collins (2005).

Depondt P., de Vericourt G., *Kepler,* Editions du Rouergue (2005).

الفصل العاشر: السقوط سيكون أكثر قوة

*Benedek George, Villars Félix, *Physics with Illustrative Examples from Medicine and Biology,* AIP Press et Springer–Verlag (2000).

Zanda B., Rotaru M. édit. *Meteorites. Their Impact on Science and History,* Cambridge (2001).

الفصل الحادي عشر: فليكن نيوتن!

*Goodstein David and Judith, *Feynman's Lost Lecture, The Motion of the Planets Around the Sun,* Vintage (1997).

Weinstock R., Speiser D, *Contemporary Physics* **24**, 623 (1983).

Westfall Richard, *Hooke Robert, in Dictionary of Scientific Biography*, Charles Coulson Gillispie (ed.), Charles Scribner's Sons (1981).

الفصل الثاني عشر: يجب اتخاذ تدابير

Van Helden Albert, *Measuring the Universe. Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley,* The University of Chicago Press (1985).

الفصل الثالث عشر: جاذبية مدهشة

Aronson Samuel, "The Gravitational Theory of Lesage", *Natural Philosopher* **3**, 51 (1961).

Feynman Richard, *La nature de la physique,* Points Science, Seuil (1980).

Gough J. B., "Lesage, George–Louis", in *Dictionary of Scientific Biography,* Charles Coulson Gillispie (ed.), Charles Scribner's Sons (1981).

Lévy–Leblond Jean–Marc, *L'esprit de sel,* Points Science, Seuil (1984).

الفصل الرابع عشر: الدلائل على حركة الأرض

*Rindler Wolfgang, *Essential Relativity,* van Nostrand (1969).
Tobin William, *Léon Foucault,* EDP Sciences (2002).

الفصل الخامس عشر: أينشتاين أخيرًا

*Einstein Albert, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper,* Annalen der Physik **17**, 132 (1905). Voir aussi *Sur les épaules des géants*, textes réunis et commentés par Steven Hawking, Dunod (2002).

الفصل السادس عشر: الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي

*Einstein Albert, *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energie Inhalt abhängig?* Annalen der Physik **18**, 639 (1905). Voir aussi *Sur les épaules des géants*, textes réunis et commentes par Steven Hawking, Dunod (2002).

الفصل السابع عشر: الجاذبية مسألة هندسية

Bühler W. K. *Gauss, a Biographical Study*, Springer (1981).
Damour Thibault, *Si Einstein m'était conté,* le cherche midi (2005).

ملاحظات

الفصل الأول: ويستمر الدوران ... لكن بسرعة أقل

(١) يضيف القاموس، على هذا العدد الإجمالي، الصمتَ الذي يسبق كلمةً لا يتم الوصل بينها وبين ما قبلها، ثم بعضَ الأصوات اللازمة لنطْق بعض الكلمات ذات الأصل الأجنبي. وباختيارها بشكل خاص في اللغتين الإنجليزية والإسبانية، يبرهن «لو نوفو بوتي روبير» أن هذه الفئة الأخيرة هي إلزامية بصورة كاملة.

(٢) يجب ألا يظل الاكتشاف الفينيقي حبرًا على ورق، إذا أمكننا القول؛ فهو أصل الكتابات الغربية. إن الأبجدية الفينيقية، التي تسبق مباشرةً الأبجدية اليونانية، تتخلى تمامًا عن الكتابة المسمارية، وتتشكَّل من علامات قريبة من تلك التي ما زلنا نستخدمها اليوم. وبما أن اللغة الدارجة في أوغاريت كانت من أصل سامٍ، لم تكن حروف العلة مُسجَّلة فكان يتعيَّن على اليونانيين إدخالُها. ونشير أيضًا إلى أن الكتابة الصوتية بصورة كبيرة لا تلتقي كثيرًا إلا في تعليم نطق اللغات. وهي الوحيدة التي تستحق لقب المرحلة الأخيرة من الكتابة.

(٣) ترجع أقدم الكتابات الهيروغليفية إلى عام ٣٠٠٠ قبل الميلاد. كانت تلك الكتابات مثالية لتزيين جدران المعابد والمقابر لكنها كانت شبه غير صالحة للاستخدام في معاملات الحياة اليومية. ولهذا الغرض، استُعيض عنها بنوع آخر من الكتابة تُدعَى الكتابة الهيراطيقية، استُعيض فيها عن كل رمز هيروغليفي بحرف مُزخرَف. وفي عام ٦٠٠ قبل الميلاد حل محل الكتابة الهيراطيقية نوع جديد أبسط، يُدعى الكتابة الديموطيقية، المشتقة من اللفظة الإغريقية ديموس، أي الشعب. وإن أصل الكلمة ليوضح تمامًا وظيفة الكتابة الديموطيقية.

(٤) لهذا السبب قد يتعين علينا الحديث عن الكتابات المسمارية لا الكتابة المسمارية.

(٥) دوبلوفر، ١٩٥٩.

(٦) في أثناء عملية فك الرموز، استطاع جروتفند أن يستفيد من مؤشرات إضافية من النوع ذاته، وخاصةً من فكرة أن الملك الذي يوقع على النقش يسمَّى «الملك الكبير، ملك الملوك»: تتردد كلمة الملك في الابتهالات دون توقف.

(٧) ستيفنسون، ١٩٨٧.

(٨) هذا هو على الأقل ما حكاه البعض عن ممثل قديم ذي أدوار ثانوية أصبح رئيسًا للولايات المتحدة. وهذا ما زعموه أيضًا عن رئيس فرنسي يبدو من فلورنسا كان يدَّعي أنه يمتلك ثقافة واسعة.

(٩) جيليه، ١٩٩٨.

(١٠) لا تعتمد قوى المد والجزر الناتجة عن جرم سماوي إلا على قُطره الظاهري ومتوسط كثافته، وهذا يعني أنه إذا كان دور الشمس في ظاهرة المد والجزر أقل من دور القمر، فذلك لأن متوسط كثافتها أضعف من متوسط كثافة القمر بنسبة ٢,٢. وفي المقابل أيًّا كان ما يستطيع المنجِّمون قوله، فإن عمل الكواكب غير محسوس، سواء على مستوى البحر أو في مصائرنا الشخصية.

(١١) بلغة الفيزيائي، يُحتفظ بالوقت الحركي.

(١٢) يمكننا الربط بين الزيادة السنوية للمسافة بين الأرض والقمر بزيادة فترة دورانها، وذلك بالإشارة إلى تطبيق قانون كبلر الثالث على الأرض والقمر. وينص هذا القانون على أنه طالما ظل المدار القمري دائريًّا على نحو ما، يتناسب مربع فترة دوران القمر طرديًّا مع مكعب المسافة بين الأرض والقمر.

(١٣) بيتر جي كي كانْ، وستيفن إم بومبيا، مقال إيقاع النمو والتطور الديناميكي لنظام الأرض والقمر، مجلة نيتشر عدد ٢٧٥، صفحة ٦٠٦، ١٩ أكتوبر ١٩٧٨.

الفصل الثاني: التنين يقف بجوار عقدة

(١) يحتار البعض بين نعتين مترادفين إلى حد ما؛ وهما «بابلي» و«كلداني». ولعدم تضخيم الأمور سنلتزم دائمًا بالنعت الأول.

(٢) فيما يلي نجهل المشاكل المرتبطة بتذبذب مدة الإقمار.

(٣) ربما تكون هذه التذبذبات عَرَضية (ظروف مناخية، حوادث أرضية) لكن بعضها له أصل فلكي بحت.

(٤) لوفور، ١٩٨٨.

(٥) تتلاءم «دقائق الشهر» و«ثواني الشهر» بالترتيب مع ستين جزءًا من المائة وثلاثة آلاف وستة أجزاء من المائة. ففي نظام ستيني يتم التعبير عن الكَسر بستين جزءًا من المائة وثلاثة آلاف وستة أجزاء من المائة وهكذا. تتميز المعطيات المستخرجة من الجداول بدقة تسمح في الأساس بالوصول إلى ١ / ١٢٩٦٠٠٠٠ من الشهر؛ أي ٠,٢ ثانية، لكن هذه الدقة وهمية.

(٦) كودرك، ١٩٨١. أغفل السيد كودرك الدور الذي لعبه البابليُّون في هذا الأمر. ويبدو أنه يجهل أيضًا أنه في أثينا كان يوجد معبد مخصص لأثينا بدلًا من مينرف.

(٧) لم يدخل مثلُ هذا التقويم حيزَ التنفيذ قطُّ في اليونان.

(٨) يمكن للقارئ الذي يهتم بالترتيب الذي يضمن أقل فجوة مع الفصول أن يرجع إلى كتاب جون لوفور (١٩٩٨).

(٩) تم تعديل حساب الأعياد في أثناء الإصلاح الذي أجراه البابا جريجوار الثالث عشر، الذي استبدل بالتقويم اليولياني الذي كان معمولًا به آنذاك التقويمَ الميلادي، وذلك في عام ١٥٨٢.

(١٠) لا تمثل قيمة فترة الإقمار المعروضة هنا إلا قيمة متوسطة، لكن لا يلعب هذا الموقف أي دور في الحجاج التالي.

(١١) على غرار فترة الإقمار، يتعلق الأمر بمتوسط المدة.

(١٢) لكي يحدث خسوف لا أهمية لاختيار العقدة التي يمر بها القمر، ولذلك يعد الفاصل الزمني المذكور في الاستدلال هو نصف الشهر العقدي، وهو الوقت الذي يستلزمه القمر لكي يمر من عقدة إلى أخرى.

(١٣) من وجهة نظر الرياضيات يُبرهن على انعدام التوافق بأنه نظرًا لأخطاء اختلاف القياس تكون النسبة بين فترة الإقمار ومدة طول العام رقمًا غير جذري.

(١٤) يتعلق الأمر بظاهرة شبه دورية.

(١٥) باختيار كلمة ساروس كان هالي قد اختلط عليه الأمر مع مصطلحٍ لا يبدو أنه يشير لدى البابليِّين إلا إلى مدة كبيرة جدًّا.

(١٦) كانت أول ثماني حالات خسوف من القائمة جزئيةً بسبب شبه الظل: لم يدخل القمر إلا في شبه ظل الأرض. وكانت الحالات العشر التالية جزئية أيضًا ولكن

بسبب الظل: التحم القمر بظل الأرض. وتبعها ٢٦ خسوفًا كليًّا؛ حيث يتعين أن تُلاحظ الحالة الأخيرة في عام ٢٣٢٥. وستحتوي القائمة أيضًا على ٢٨ خسوفًا جزئيًّا، ١٠ منها بسبب الظل و١٨ بسبب شبه الظل.

(١٧) «مزيد من الضوء!»

(١٨) سارتون، ١٩٩٣.

الفصل الثالث: ارقص مع القمر

(١) تظهر أقدم نماذج الكتابة على ألواح من أوروك وتعود إلى عام ٣٣٠٠ قبل الميلاد. ويعني ذلك أن التصنيفات التاريخية التي تجوز لبلاد الرافدَيْن لا يمكن تطبيقها دون حذر على المناخ الثقافي لستونهنج.

(٢) يعد هذا التقديم بسيطًا. نقتبس من براون: «شَغَلَ الجدال حول ستونهنج بال العامة فضلًا عن المتخصصين [...] وقد كشف تحقيق أن علماء الآثار لا يرفضون جميعُهم الافتراض الفلكي، في حين أن علماء الفلك من جانبهم لا يؤيدونه جميعهم. ومع ذلك فإن ما يعترف به العالَم أجمع هو أن ستونهنج [...] هي حتمًا فريدة في تاريخ البشرية.»

(٣) تعني كلمة هيل بالإنجليزية الكعب، ولكن يبدو أن اسم الصخر له أصل آخر.

(٤) تظهر صعوبات أخرى لمن يريد قياس اتجاه، إحداها واضحة؛ فالشمس ليست نقطةً بل قرصٌ؛ مما يصعِّب تحديد نقطة الأفق التي تشرق وتغرب فيها. تعدُّ هذه الصعوبة حقيقية، لا سيما أن الأشعة الضوئية القريبة من الأفق تصبح مقوسة إلى حد ما بسبب الانكسار.

(٥) تختص الدورية البريطانية نيتشر بنشر الاكتشافات المهمة في كل العلوم الدقيقة والطبيعية. وفي الأصل يمثل أي مقال منشور في دورية نيتشر مرجعًا مميزًا.

(٦) إن اتجاهات كل المدارات الكوكبية وتمايلها واتجاهات محاور دورانها وسرعة دورانها ... أي كل ضوابط النظام الشمسي متغيرةٌ إلى حد ما؛ وذلك نتيجة لتفاعل كل الأجرام السماوية في النظام الشمسي. فكلٌّ منها يؤثر على حركة شركائه. ولا يتميز القمر إلا بسرعة تغيراته وتعقُّدها.

(٧) وستفال، ١٩٩٤.

(٨) بكل دقة يُشترط في حركة القمر وجود كل الأجرام السماوية، ولا سيما وجود كل الكواكب. لكن تأثير الأرض القريبة والشمس الضخمة مهيمن، لدرجة أن من يحلل حركة القمر يبحث أولًا عن أسبابها في وجود الأرض والشمس؛ ولذلك يكفي في حالة القمر اللجوء للمشكلة ذات الثلاثة أجسام وحدها، وهي معقدة في حد ذاتها.

(٩) في وقت الاعتدال تشرق الشمس بالضبط في شرق نقطة المراقبة وتغرب بالضبط في غربها. في هذه الظروف يحدد المدار الظاهري للشمس سطحًا يمر بنقطة المراقبة. وإذا ثبَّتنا وتدًا، فيسير الظل طوال اليوم بمحاذاة الخط المستقيم الذي يربط الشرق بالغرب عند نقطة المراقبة.

(١٠) نشأ الجدل الذي حدث عند إعلان فك رموز ستونهنج من جديد عندما أُعلن في ٢٠٠٢ عن اكتشاف قرص نبرا، وهو قرص برونزي قطره ٣٠ سنتيمترًا ربما يعود إلى عام ١٦٠٠ قبل الميلاد. وقد عَثر عليه منقِّبون غير رسميين في نبرا (ألمانيا). يحمل القرص ألواحًا مرصعة من الذهب، يعتقد البعض أنها تمثل هلالًا قمريًّا والشمسَ ومجموعةَ الثريا، بالإضافة لبعض النجوم. ويُضاف إلى ذلك قوسٌ يمكن تفسيره بأنه المسافة الزاويَّة التي تفصل الشروق والغروب في فترتي الانقلاب الصيفي والشتوي، والتي كان نيوهام وهوكينز قد اعتقدا أنهما اكتشفاها في موقع ستونهنج (شكل ٣-٣). ونذكر أيضًا زخرفة قد ترمز إلى مركب شمسي أو إلى مجرة درب التبانة. ويبدو أن القرص أصلي وتاريخه صحيح. ونشأ الجدال بين مؤيدي التفسير الفلكي للقرص ومن لا يريدون أن يروا فيه سوى ملمح سري أو ديني. وحتى الآن لا يعد قرص نبرا، على غرار أثر ستونهنج، سوى قطعةٍ إضافية توضع في ملف علم الفلك الأثري، ولم تسمح بإنهاء التحقيق.

الفصل الرابع: قبة فلكية من العصر الحجري الحديث

(١) إن النواة ليست كيانًا غير متغير. فيمكن أن تتخذ أشكالًا عدة: ويرتبط بكل شكل كمٌّ خاص من الطاقة. وفي هذه النقطة يوجد تشابه كبير مع الذرة التي توجد في حالتها الأساسية (وتكون طاقتها إذن ضئيلة)، أو في حالة الاستثارة (فتسعى إلى العودة إلى حالتها الأساسية). وتعتمد نتيجة أي تفاعل نووي على طيف حالات الاستثارة لكلٍّ من النوايا المعنية. وبعد تفكير معقد، أعاد هويل تكوين خاصية ملحوظة لِطَيْف

نواة الكربون، وهي الوحيدة، على حد قوله، القادرة على تفسير وفرة إنتاج الكربون في النجوم. تمَّ التحقق من افتراض هويل بالتجربة.

(٢) لا يمثل ما يلي تفسيرًا لحجج هويل على الإطلاق. يمكن للمهتمين أن يَرجعوا إلى المقال الصادر في مجلة أنتيكيتي عام ١٩٦٦.

(٣) بارو، ١٩٩٢.

(٤) ما يهم هنا هو الوقت الذي تستغرقه الشمس، المرئية من الأرض، للقيام بدورة كاملة بطول دائرة البروج، وليس العام الاستوائي الذي يتطلب تعاقب الفصول. ويكون الفرق بين مدة كلٍّ منهما طفيفًا.

(٥) يتعلق الأمر بالشهر الفلكي، ويجب الحذر من الخلط بينه وبين الإقمار؛ أي الفترة بين تولُّد محاقين جديدين. ويكون الإقمار بالضرورة أطول من الشهر الفلكي. ففي خلال فترة إقمار يتعين على القمر أولًا أن يقوم خلال شهر فلكي بدورة كاملة حول الأرض، ثم اللحاق بالشمس التي تتقدم في الاتجاه ذاته.

(٦) يتعلق الأمر هنا بترجمة مقيدة للشرط الفلكي الذي ينص على أنه عندما يمر القمر بإحدى عقدتيه يجب ألا تبتعد الشمس بأكثر من ١٥° لكي نشهد كسوفًا شمسيًّا. ولكي يحدث خسوف قمري يجب ألا تبتعد الشمس بأكثر من ١٠° من العقدة الأخرى.

(٧) «جمعية الباحثين في علم الآثار، علم الملاحة الفلكية وسيتي» وسيتي هو اختصار لمعنى «البحث عن الذكاء الفضائي» بالإنجليزية، وهي هيئة موقرة تفحص السماء بحثًا عن إشارات تصدرها كائنات ذكية، بالمعنى الإنساني للكلمة: تُستبعد انبعاثات اليرعات غير المحتملة أو اليرقات الفضائية المضيئة. وينبغي أن نعترف بأنه حتى هذا اليوم لم تحرز جمعية سيتي أي نجاح.

(٨) راجلز سي إل إن، التطورات الأخيرة في علم الفلك الميغاليثي في دورية ورلد أركيواسترونومي، مطابع جامعة كامبريدج، ١٩٨٩.

(٩) المرجع ذاته.

(١٠) سارتون، ١٩٩٣أ.

(١١) سكار كريس، الآثار الميغاليثية لبريطانيا العظمى وأيرلندا، دار نشر إيرانس، ٢٠٠٥.

الفصل الخامس: عالم دانتي

(١) ظل مستوى علم الفلك المصري متدنيًا للغاية، وكان إنجازه المميز الوحيد هو التقويم، وهو تقويم شمسي بحت. كان التقويم يتضمن أعوامًا ثابتة تتكون من ٣٦٥ يومًا؛ مما يبسط كثيرًا من الحسابات الفلكية. وقال نجباور في هذا الصدد: «يعد هذا التقويم [...] هو التقويم الذكي الوحيد الذي وضعه العقل البشري على مر التاريخ.»

(٢) ذكرها سارتون ١٩٩٣ب.

(٣) بري أرثر، قصة قصيرة عن علم الفلك، دوفر، ١٩٦١.

(٤) من كلمة بلانتس اليونانية؛ أي رحال، كانت كلمة كوكب تعني في الأصل أيضًا الشمس والقمر بالإضافة إلى أقمار الشمس.

(٥) «موحدة المركز» مرادف لـ «مركزية».

(٦) سارتون، ١٩٩٣أ.

(٧) هل أراد أودكس فعلًا تنفيذ منهج أفلاطون، أم أنه رائد الآلية السماوية؟ يظل السؤال معلقًا (سارتون، ١٩٩٣أ).

(٨) يذكر أرسطو مع ذلك ملاحظة مثيرة للانتباه. فخلال الخسوف القمري تكون منطقة ظل الأرض كروية الشكل دائمًا. ويرى الفيلسوف في ذلك دليلًا على كروية الأرض.

(٩) ذكرها سارتون، ١٩٥٩.

(١٠) من وجهة نظر المؤرخين يبدأ العالم الإغريقي بموقعة خيرونيا في عام ٣٣٨، التي شهدت انتصار فيليب الثاني المقدوني على قوات أثينا وطيبة المتجمعة. وينتهي هذا العالم بالغزو الروماني أو بفرض أغسطس للإمبراطورية الرومانية في عام ٣٠ قبل الميلاد. ولكي نتجنب في هذا العمل التفريقاتِ التي لا طائل منها، ندرج بطليموس في العالم الإغريقي؛ فهو وريثه الذي لا جدال عليه. ومن جهة أخرى، يعد من المعقول أن نجعل من الإسكندرية مركز العلوم الإغريقية، ومن أثينا مركزًا للفلسفة. ففي وقت إنشاء المتحف جذبت الإسكندرية أكبر العلماء (بالمعنى الذي نعنيه اليوم بهذه الكلمة) ولكن ظل الفلاسفة في أثينا.

(١١) بانكويك، ١٩٨٩.

(١٢) حتى إذا كان البعض يقول إن بطليموس ليس هو صاحبَ كل هذه الابتكارات الواردة في كتاب المجسطي، ولكنه قام فقط بعمل خلاصة للمعارف في عصره؛ فإن بعضها يحمل بصمته الخاصة.

(١٣) كان أبولونيوس هو أول من أدخل فلك التدوير لوصف حركة بعض الكواكب.

(١٤) عندما يتعلق الأمر بالضياء فقد تضيء أفلاك التدوير بصورة كبيرة. ولكي يصف بطليموس حركة القمر المعقدة، أدخل أفلاك تدوير ذات حجم كبير، لدرجة أنه يتعين أحيانًا على القطر الظاهري للقمر أن يتضاعف خلال دورته الشهرية، وهو ما لا تضمنه المراقبة بالطبع.

(١٥) في عام ١٩٠٠ اكتشف صيادو إسفنج مجبرون على الإقامة في جزيرة إنتيسيتر بناءً برونزيًّا غريبًا، تم تفسيره فيما بعد بأنه نوع من القبة الفلكية تحركها ذراع تدوير. وربما يكون قد شُيد في القرن الأول قبل الميلاد.

(١٦) يعرف بطليموس تقريبيًّا المسافة بين الأرض والقمر، فقد قاسها أرسطرخس الذي كانت طريقته غير دقيقة للغاية، ثم قاسها هيبارخوس الذي حسنها كثيرًا.

(١٧) لا يظهر في كتاب المجسطي هذا الاختيار لمدارات متجاورة لا يغطي بعضها على بعض، ولكن في كتاب لاحق لبطليموس.

(١٨) يستطيع بطليموس أن يحسب فترة دوران الكوكب حول فلك تدويره وفترة دوران مركز فلك التدوير بطول الدائرة الناقلة على حد سواء.

(١٩) في مقال السائرون نيامًا لا يبخل كوستلر بالأحكام الجزئية التي تشوه عملًا مميزًا. فهو يعظم من شأن كبلر مُبديًا ازدراءً تامًّا تجاه كوبرنيكوس وجاليليو.

الفصل السادس: زوجتي وحماتي

(١) إن فكرة عدم قدرة تفسيرين لصورة غامضة على التراكب لا يرتبط بمحتواهما. ففي حالة مكعب نيكر، وهو مثال لصورة غامضة شهيرة هي الأخرى، لا يملك العقل الاختيار إلا بين رؤيتين للمكعب ذاته، إلا أن الأمر لا يتعلق هنا أيضًا بتراكب لتفسيرين أحدهما على الآخر.

(٢) كان اسمه في بلده ميكولاج كوبرنيك.

(٣) يُشار أحيانًا إلى مقاطعة فارمينسكي باسمها الألماني فراونبرج.

(٤) تُسمى هذه المقاطعة بالفرنسية فارميا أو فارمي.

(٥) مقال «العلم وتطوراته وتطبيقاته» قاموس لاروس، ١٩٣٤.

(٦) تظهر مصادفات مماثلة في نموذج بور عن ذرة الهيدروجين. فتكون أنصاف قطر المدارات التي تصل إليها الإلكترونات فيما بينها مثل مربعات الأرقام الكاملة. ولكن لا يعد ذلك حادثًا، بل نتيجة مباشرة للافتراضات التي قام على أساسها النموذج.

(٧) يشوع ١٠: ١٢–١٣، قد نتعجب من الوجود الفعال للقمر في هذا القطعة، وربما يتعين تفسير القمر هنا كنجم الليل: إذا أردنا أن يمتد النهار يتعين أيضًا تأخير ظهور القمر.

(٨) يشوع ١٠: ١٤.

(٩) كوستلر، ١٩٦٠.

(١٠) يأتي هذا التأكيد من جانبنا. فنلاحظ أن كاردينال سكونبرج لا يزال يستخدم مفهومَ أعلى وأسفل بمنزلة وسيلة لوصف النظام الذي تكون فيه الشمس مركزًا للكون. ومع ذلك، يعد ذلك موقفًا طبيعيًّا للغاية من جانب نيافة الكاردينال! في جزء آخر من هذه الرسالة اقترف الكاردينال خطأً آخر، فهو يعتقد أن القمر يدور حول الشمس، لكن علمه بأعمال كوبرنيكوس كان عن طريق وسيط؛ لذا نغفر له بطيب خاطر هذين الخطأين.

(١١) يمثل الانتقال من المرصد الأرضي إلى المرصد الشمسي ما يسميه علماء الرياضيات تغير المراجع.

(١٢) من أجل تحديد نصف قطر المدارات المختلفة قام كوبرنيكوس بالآتي: عندما كان يدرس كوكبًا سفليًّا كان يَزيد — بالتخيل — حجمَ الدائرة الناقلة. ويزيد حجمَ فلك التدوير بالنسبة ذاتها، بما أن المراقبة هي التي تحدد العلاقة بين نصف قطره ونصف قطر الدائرة الناقلة. وعندما تبلغ الدائرة الناقلة حجم المدار الظاهري للشمس، يختلط حجم فلك التدوير مع حجم المدار الكوكبي. ويكون الأمر معكوسًا للكوكب العلوي: فنغير حجم فلك التدوير حتى يصبح مساويًا لحجم الشمس في نظام بطليموس. وحينئذٍ يتفق نصف قطر الدائرة الناقلة مع المسافة المتوسطة بين الكوكب والشمس. ويمكن للقارئ المهتم أن يجد معلومات إضافية في كتاب «حركة في الجنة» (هولتون، ١٩٧٠ب)، مع العلم أن الحجج المبينة هنا تقوم على شكل ٥-٢ الذي لا يعطي إلا رسمًا تمثيليًّا للنظام البطلمي.

(١٣) كان أرسطرخس يعيش قبل هيبارخوس بقرن وقبل بطليموس بأربعة قرون. فهو لم يستطع الاستفادة من الأدوات التي صنعها خلفاؤه ولا من التقدم الذي توصلوا إليه.

(١٤) كان كبلر هو من ثبت المسارات الكوكبية على الشمس.

(١٥) في تاريخ العلوم لا يوجد من هو «الأول»! نجد دائمًا روادًا. وهذا هو أيضًا حال كوبرنيكوس الذي لم يسبقه أرسطرخس فقط. فقد كان هرقليطس (٣٨٨–٣١٢ قبل الميلاد) وبعض المفكرين أو علماء الفلك في القرون الوسطى أو عصر النهضة قد اقترحوا مسبقًا أن الأرض تتحرك. ولكن يشترك هؤلاء المبشرون في صفة أنهم ليسوا إلا أصحاب اقتراحات، أو في أحسن الأحوال أصحاب نماذج، ولكنهم بالطبع ليسوا أصحاب نظرية تقوم على حجج وتكون قابلة للتحقق منها.

(١٦) ومع ذلك هي تتحرك! وليس «هي تدور!» مثلما تُترجم بصورة خاطئة.

الفصل السابع: محاكمة جاليليو لن تتم

(١) في نهاية عام ٢٠٠٠ تفكك مصادم الإلكترونات–البوزيترونات الكبير للسماح بإنشاء معجل جديد في الحلقة ذاتها، وهو مصادم الهدرونات الكبير المقرر العمل به في خريف عام ٢٠٠٨، والذي سيعجل حُزَمًا من البروتون ومقابل البروتون بدلًا من الإلكترونات والبوزيترونات.

(٢) آرنودان، ١٩٩٤.

(٣) مع أن ذلك قد يبدو غريبًا إلا أن الأمر لا يتعلق هنا بمفارقة زمنية. ففي حوالي عام ١٥٨٦–١٥٨٧ أصدر جاليليو باللغة اللاتينية عملًا بعنوان Theoremata circa centrum gravitates solidorum ومن الطبيعي أن نترجم centrum gravitates إلى مركز الجاذبية.

(٤) كوستلر، ١٩٦٠.

(٥) سوبل، ٢٠٠١.

(٦) إن النظارة المخصصة لتحسين الرؤية، خاصة في وقت القراءة، تعد أكثر قدمًا.

(٧) صنع بصورة خاصة مكشافًا حراريًّا؛ وهو أداة مخصصة إلى «دراسة درجات الحرارة والبرودة».

(٨) مع ذلك لم تكن التليسكوبات التي صنعها جاليليو كلها متقنة. فقد اعترف جاليليو نفسه أن من بين الستين تليسكوبًا التي صنعها كان القليل منها فقط ذا جودة عالية.

(٩) يتخطى عدد الأقمار المعروفة حاليًّا لكوكب المشتري ٦٠ قمرًا. ويزداد هذا الرقم كلما تطورت وسائل المراقبة.

(١٠) في عام ١٦١٨، اكتشف كبلر القانون الثالث الذي يحمل اسمه، فقد أعده بالاعتماد على كواكب النظام الشمسي ولكنه ينطبق أيضًا على أقمار المشتري. ولو كان باستطاعة جاليليو أن يُظهر ذلك، لكان قد أوجد الحجج على نظرية مركزية الشمس للكون، مما كان من شأنه أن يعزز بصورة كبيرة من موقفه تجاه المحكمة. ولكن كان إعداد الجداول الفلكية لأقمار المشتري مهمة لم تكن في استطاعة جاليليو، فقد تطلبت عقودًا. وبالإضافة إلى ذلك حتى إذا كان قد استطاع الاعتماد على قانون كبلر الثالث فلمْ يُذكر أنه ربما فعل ذلك. فقد كان جاليليو يحتقر كبلر وقوانينه.

(١١) نقرأ في سفر التكوين: «سمع [آدم وحواء] صوت الرب الإله ماشيًا في الجنة ...» (تك ٣: ٨).

(١٢) ويلسون، ١٩٩٩.

(١٣) لم يكن باستطاعة جاليليو أو أتباع أرسطو أن يتناولوا هذه المشكلة بالتفصيل؛ لأنهم لم يعرفوا قوة كوريوليس، وهي الأداة الأكثر ملاءمةً لحل هذه المشكلة. ويرجع الفضل في هذا المفهوم إلى عالم الرياضيات جوستاف جاسبارد كوريوليس (١٧٩٢–١٨٤٣). وفي هذه الحالة تم الاعتماد على المعطيات التالية: يبلغ ارتفاع البرج ٥٤,٥ مترًا وعرضه ٤٣° ٤٣′ تتحرك بسرعة أكبر من سفحه مقارنة مع مركز الأرض. وفي أثناء وقوع الحجر يحتفظ بسرعته الأصلية التي تدفعه إلى مكان أبعد من المكان الذي توقعه جاليليو.

(١٤) يُطلق عليه أيضًا مبدأ النسبية لجاليليو. وينتج الشكل الذي يتخذه هنا عن مثل غرفة السفينة، ولكنه لا يرِد في كتاب الحوار.

(١٥) هو كتاب مارك أنطونيو دي دومينيس الذي ستحرقه محكمة الكنيسة الكاثوليكية بداعي الهرطقة (جاليليو جاليلي، ١٩٩٢).

(١٦) لم تصدر رواية الصومنيوم إلا في ١٦٣٤ بعد موت مؤلفه بأربعة أعوام، وبعد صدور كتاب الحوار بعامين. فلم يكن يمكن لجاليليو أن يستلهم منه، ولكن يبدو أن الخيال الميتافيزيقي لكتاب «تناغم الكون» لم يعجبه كثيرًا.

(١٧) درايِر، ١٩٥٣.

(١٨) لا يدرك جاليليو أن المبدأ الذي سُمي على اسمه لا يخص سوى الحركة المنتظمة المستقيمة.

(١٩) لا توجد أي شواطئ بحْرية تكون فيها دورية حركة المد والجزر كل ٢٤ ساعة بدلًا من ١٢ ساعة. ويرجع هذا الغموض إلى أن دورية المد والجزر ليست إلا تقريبية. وبصفة عامة يتغير مدى المياه المرتفعة من حركة إلى أخرى.

(٢٠) كاسبار، ١٩٩٣.

(٢١) يعد هذا العمل مخصصًا لمقاومة المواد وعلم الحركة والميكانيكا، ولا يناقش من جديد مشكلة حركة الأرض.

الفصل الثامن: الخسوف أم الكرونومتر؟

(١) تتطلب التغيرات السياسية من وقت إلى آخر تعديل خط تغير التاريخ. ففي عام ١٨٦٧ عندما باعتْ روسيا ألاسكا إلى الولايات المتحدة، كان هذا الخط، الذي لم يكن أُعلن بعد عن وجوده الرسمي، يعبر ألاسكا من الشرق إلى الغرب ليستقر في مضيق برينج بين آسيا وأمريكا.

(٢) في العصر الذي كتب فيه جول فيرن «حول العالم في ٨٠ يومًا» يجدر بالذكر أن وجود خط تغير التاريخ لم يكن بعد رسميًّا.

(٣) بترتيبِ بُعدها عن المشتري، نجد على التوالي إيو وأوروبا وجانيميد وكاليستو. يبلغ نصف قطر كلٍّ منها على التوالي ١٦٦٠ و١٤٤٠ و٢٤٧٠ و٢٣٤٠ كيلومترًا، بينما يبلغ نصف قطر القمر ١٧٣٨ كيلومترًا.

(٤) نجد في الأدب العديد من الأسماء: أوول أو أولاف أو أولوف أو الصيغة اللاتينية أولاس أو أولايوس.

(٥) يخصص الفيزيائيون مصطلح «سرعة» للقذائف المتحركة. ولكن من أجل وصف انتشار الضوء والصوت، اللذين تختلف طبيعتهما، يفضلون استخدام مصطلح مرادف للسرعة في اللغة الفرنسية يُترجم أيضًا بكلمة «سرعة» في اللغة العربية.

(٦) ترسم النجوم على القبة السماوية دائرة حول القطب السماوي ليس في أربع وعشرين ساعة، بل في ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة و٤ ثوانٍ بسبب دوران الأرض حول الشمس. وتقوم الشمس بأمور غريبة. وتتسم الشمس المتوسطة وحدها، وهي اختراع لعلماء الفلك، بدقة المواعيد فتظهر كل أربع وعشرين ساعة عند خط زوال موقع أرضي. ووفقًا للفصول، تظهر الشمس الحقيقية في وقت متقدم أو متأخر عن الشمس المتوسطة،

وربما يمتد الفارق إلى ١٦ دقيقة. وتُحدد قيمة خط الطول بمقارنة الوقتين الشمسيين المتوسطين.

(٧) سوبل، ١٩٩٥.

(٨) المرجع ذاته.

(٩) عند خط الاستواء يساوي هامش النصف درجة فارقًا يبلغ ٥٦ كيلومترًا.

(١٠) المرجع ذاته.

(١١) هو وسام في مجال العلوم الفيزيائية والطبيعية، ويعد أيضًا المكافأة الأقدم والأكثر حظوة التي يمكن أن تمنحها الجمعية الملكية.

(١٢) لم يكن هاريسون يهمل هـ٣ على الإطلاق بما أنها مقارنة بـ هـ١ وهـ٢ تحتوي على ميزتين ملحوظتين؛ وهما الدوران بالكرات الذي يقلل من الاحتكاكات، و«القطعة المعدنية الإضافية» التي تقلل من آثار تغير درجة الحرارة.

الفصل التاسع: كبلر مسَّاح السماء

(١) في ذلك العصر كان معدل وفيات الأطفال مرتفعًا جدًّا. فقد تزوج كبلر مرتين، فأنجب خمسة أطفال من زوجته الأولى التي تُوفيت في سن السابعة والثلاثين، مات ثلاثة منهم في سن الطفولة، وأنجب من زوجته الثانية ستة أطفال مات منهم أيضًا ثلاثة في سن صغيرة.

(٢) كاسبار، ١٩٩٣.

(٣) لمن يعرف اللغة الألمانية يثير اسم فيل «در» شتاد الدهشة بما أن مقطع «در» يمثل حالة الجر والإضافة للضمير. ففي اللغة الألمانية عندما نريد التأكيد على الطابع المدني لقرية ما نقول «دي شتاد فيل» ونصرف الضمير وفقًا لقواعد تركيب الجملة.

(٤) من الطبيعي أن المنهج العلمي لا ينحصر في هذا المخطط الإجمالي البسيط؛ فلا تجربة دون نظرية مسبقة، ولا نظرية دون ملاحظة مُسجَّلة كما ينبغي.

(٥) سيكون ذلك عنوانًا لكتابٍ لكبلر سيصدر عام ١٦١٩.

(٦) ينحصر عدد المجسمات الأفلاطونية المختلفة في خمسة أشكال، وهو اقتراح لم يقلل من قيمته عالمُ الرياضيات إقليدس (تقريبًا ٤٥٠ قبل الميلاد–٣٨٠ قبل الميلاد). فقد تكبد مشقة إثبات ذلك في كتابه الثالث عشر والأخير «العناصر». وعرض سارتون برهنته بالكامل في كتابه عن تاريخ العلوم (سارتون، ١٩٩٣أ). ويعد ذلك رائعة حقيقية من روائع علم الرياضيات اليونانية.

(٧) بفضل عالم الرياضيات البريطاني أندرو وايلز، الذي وُلد في عام ١٩٥٣، أُعلن إثبات مبرهنة فيرما الأخيرة في ١٩٩٣، ولكن كان هذا الإثبات يحتوي على عيب خطير. نُشر الإثبات النهائي في عام ١٩٩٥ (سينج سيمون، مبرهنة فيرما الأخيرة، جون كلود لاتس، ١٩٩٨).

(٨) وفقًا لكبلر، كان تيخو يتناول العشاء قبل وفاته ببضعة أيام لدى شخصية مرموقة في إقليم بوهيميا، وهو البارون روزنبرج. وعلى حد قول كبلر: «حبس [تيخو] بوله أكثر مما يتطلب الأدب. وبما أنه استمر في الشرب شعر بارتفاع ضغط مثانته، لكنه فضل الأدب عن الصحة. وعند عودته إلى منزله استطاع بمشقة بالغة أن يتبول.» (كوستلر، ١٩٦٠).

(٩) تعطي آنا ماريا لومباردي فكرةً عن الجهد المُضْني الذي بذله كبلر (لومباردي، ٢٠٠١).

(١٠) بترسون، ١٩٩٥.

(١١) عندما رفض كبلر هذا الافتراض، أدرك أن شكل المدار الأرضي وحركة الأرض لهما بالضرورة تأثير على الملاحظات بشأن المريخ. وقبل أي تفكير جديد حول حركة الكوكب الأحمر، قرر كبلر أن يدرس بعناية حركة الأرض، مما أرغمه على استحداث طريقة جديدة. ثم يعود بعد ذلك إلى دراسة المريخ.

(١٢) إن الخدع التي ينسبها بطليموس للمسارات السماوية تقود إلى التخلي عن فكرة الحركة الدائرية المنتظمة ولكن دون الاعتراف بذلك.

(١٣) يؤكد أرسطو أن سرعة أي جسم متحرك تتناسب طرديًّا مع القوة التي تُبذَل عليه.

(١٤) لا تكون هذه الصيغة صحيحة إلا إذا قارنَّا بين أقصى نقطتين يصل إليهما الكوكب: «الحضيض» (أقرب نقطة من الشمس على مسار الكوكب) و«الأوج» (النقطة التي يكون فيها أبعد ما يمكن عن الشمس).

(١٥) نظرًا لعدم معرفته بعدُ بشكل المدار الأرضي يتعين على كبلر الاكتفاء بتقريبات.

(١٦) انظر الفصل العاشر، الملحوظة التاسعة.

(١٧) أخذ هذا المصطلح المعنى الذي نقصده اليوم منذ عام ١٧٠٨ فقط.

(١٨) لا تصلح قوانين كبلر إلا بتقريب أولي.

(١٩) في هذه الحالة الأخيرة تكون النسبةُ بين مربع فترات الدوران المُعبر عنها بالأعوام ومكعب نصف المحور الكبير بالوحدات الفلكية؛ مساويةً تقريبًا لـ ٤٠٠٠٠٠،

وهي النسبة بين كتلة الشمس وكتلة الأرض. لم يكن كبلر يستطيع أن يقوم بهذه العملية البسيطة؛ لأنه لم يكن يعلم شيئًا عن هذه الكتل. ويمكننا أن نأسف لذلك؛ لأن هذه الملاحظة ربما كانت قد دعمته في فكرة أن الشمس بالنسبة للكواكب هي بمنزلة الأرض بالنسبة للقمر؛ أي ملهمة حركاتها.

(٢٠) في عصر كبلر كان يُقدر الوقت الذي انقضى منذ بداية الخلق كما وصفه سفر التكوين بستة آلاف عام (روتن، ٢٠٠٤).

(٢١) كاسبار، ١٩٩٣.

الفصل العاشر: السقوط سيكون أكثر قوة

(١) بينيديك، ٢٠٠٠.

(٢) هي أسطورة وفقًا للمؤرخين.

(٣) نُشر هذا الكتاب في عام ١٦٣٨؛ أي قبل وفاة جاليليو بأربعة أعوام.

(٤) من وجهة نظر أتباع أرسطو، ليست السرعة الطبيعية إلا سرعة السقوط التي يعتقدون أنها منتظمة.

(٥) إن الحجر الذي يتحرك في محيط ماديٍّ، مثل الهواء أو الماء، يخلِّف أثرًا يعتمد على شكله ويؤثر على تباطُئه. وإذا كان حجرانِ متحركان قريبين أحدهما من الآخر، يحل محل أثر كلٍّ منهما أثرٌ مشترك لا يعتمد شكله أو عمله فقط على الأثر المنفرد لكلٍّ منهما.

(٦) ينكر سمبليتشو أي وجود للفراغ؛ نظرًا لاتِّباعه لمعلِّمه أرسطو في كل شيء.

(٧) مارتن جاردنر، هل الواقعية كلمة بذيئة؟ جريدة الفيزياء الأمريكية العدد ٥٧ الصفحة ٢٠٣ (مارس ١٩٨٩).

(٨) إن هذه القطعة المذكورة مستخرجة من كتاب لا علاقة له على الإطلاق بهذه المشكلة، فهي دورية عن وقائع الأحداث في عامي ١٩٩٧ و١٩٩٨ (جيرو فرانسوا، شائعة العالم، فايار، ١٩٩٩)، وذلك يعني أن المشاكل المثارة تتخطى بكثير الشرنقة التي خرجت منها.

(٩) يتعلق الأمر باستنتاجٍ نصل إليه دون عناء باستخدام قوانين نيوتن، لكن بالطبع لم تكن هذه القوانين متاحة لجاليليو.

(١٠) غني عن القول أن المتر لم يستخدم إلا في وقت الثورة الفرنسية.

(١١) تقود معرفة عاملَين إلى معرفة العامل الثالث.

(١٢) يرى أفلاطون أن المكعب وعشريني الأَوْجُه وثُمانيَّ الأَوْجُه ورباعي الأَوْجُه ترمز بالترتيب إلى التراب والماء والهواء والنار. أما متعدد الأَوْجُه الاثنا عشري الذي يكمل قائمة المجسمات المثالية، فهو يرمز إلى الكون. وفي ذلك إعمال لعلم الأعداد وفكر المدرسة الرمزية ...

(١٣) ستحدث هذه الحركة في غالبية الأحيان من أعلى إلى أسفل فيما يتعلق بجسم مكون أساسًا من الأرض، ومن أسفل إلى أعلى إذا كان عنصر النار هو السائد.

(١٤) من الخطأ غير المتعمد أن نحاول بأي ثمن أن نربط بين عدد العناصر لدى القدماء وعدد حالات المادة؛ لأن الفيزياء الحالية تضم قائمة ليست شاملة لحالات محددة جيدة لا تدخل في أيٍّ من التصنيفات المذكورة، مثل الكريستال السائل الذي نجده في الإعلانات الرقمية لبعض الساعات. وبصورة عامة يتكون الكريستال السائل من مواد عضوية، ويمكن أن يوجد في بعض الحالات المختلفة للحالة الصلبة والحالة السائلة في آن واحد.

(١٥) أثبت جاليليو أنه إذا أطلقنا حركة القذيفة بطول المحورين العموديين يقوم الإطلاق الأفقي بحركة منتظمة مستقيمة، بينما يقوم الإطلاق الرأسي بحركة متسارعة بصورة منتظمة. يمكن أن تتغير السرعة بطول المحورين.

الفصل الحادي عشر: فليكن نيوتن!

(١) فينمان ريتشارد، ليتون روبرت، ساندس ماثيو، «محاضرات فينمان عن الفيزياء»، إديسون ويسلي، ١٩٦٤.

(٢) معهد كاليفورنيا للتقنية في مدينة باسادينا بالقرب من لوس أنجلوس.

(٣) جودشتاين، ١٩٩٧.

(٤) إنها مفارقة، ففي اللغة الفرنسية لم يُعتمد مصطلح «جاذبية» إلا منذ عام ١٧١٧، ثم استُخدم هذا المصطلح الذي أصبح شائعًا.

(٥) سنعود فيما بعد إلى هذه النقطة.

(٦) ما يثبته نيوتن هو أنه «إذا رسم جرمٌ مدارًا على شكل قَطع ناقص تحت تأثير قوة موجهة إلى إحدى بؤرتيه، فمن المفترض إذن أن تتناسب القوة عكسيًّا مع مربع المسافة» (وينستوك، ١٩٨٣). وقام بالأمر ذاته مع القطع المكافئ والقطع الزائد.

(٧) يثبت فينمان أنه انطلاقًا من مصدر عشوائي إذا نقلنا خطًّا يتناسب طوله دائمًا مع سرعة كوكب ويتفق اتجاهه مع تحركه السريع، يرسم طرف الخط دائرة (تنطبق البرهنة أيضًا إذا كان مسار الجسم المتحرك الخاضع للقوة ذاتها قطعًا مكافئًا أو قطعًا زائدًا). ويمثل هذا الخط المرسوم بهذه الطريقة «ناقل السرعة» للجسم المتحرك، ويُسمى المنحنى الذي يرسمه طرفه «الهودوغراف»، ويكون الهودوغراف، وفقًا لمفهوم كبلر عن الحركة، دائريًّا. ولا يرجع اكتشاف هذه الخاصية إلى فينمان — وهو ما ذكره بوضوح — ولكنه اكتشاف عالم الرياضيات والفيزيائي الأيرلندي ويليام روان هاملتون (١٨٠٥–١٨٦٥).

(٨) في بداية القرن العشرين نشرت الحسابات اللانهائية في الصغر أحد مجالاتها المفضلة وهي الميكانيكا السماوية. فبفضل الدعم التي قدمه الرياضي والفيزيائي الفرنسي هنري بوانكاريه (١٨٥٤–١٩١٢) ابتُكرت وسائل جديدة ردًّا على بعض الأسئلة التي تتعلق باستقرار النظام الشمسي.

(٩) لاقت محاضرات فينمان نجاحًا كبيرًا، ويظهر عبر قراءة «محاضرات فينمان» طابعها الودي مما قد لا يعجب كل القراء.

(١٠) يأتي هذا التأكيد من جانبنا.

(١١) جودشتاين، ١٩٩٧.

(١٢) ربما كانت هذه الاضطرابات نتيجة لعمل مضنٍ وقلة نوم وتغذية غير صحية، لكن رأى البعض أنها آثار لتسمم بالزئبق؛ فقد كرس نفسه في الواقع خلال عدة أعوام إلى الكيمياء أو بالأحرى السيمياء. لكن يعد هذا الافتراض غير معقول؛ نظرًا لطول عمر نيوتن الذي ظل محتفظًا حتى نهاية حياته بأسنانه وشعره في حالة جيدة، وكان يستطيع أيضًا أن يقرأ بلا نظارة.

(١٣) لم يكن المنظار العاكس اختراعًا جديدًا، فقد استلهمه نيوتن من أدوات أكثر قدمًا.

(١٤) وردت هذه الشهادة في مجموعة كينيس، كينجز كولدج، كامبريدج.

(١٥) مبادئ نيوتن للقارئ العادي؛ يشير هذا العنوان إلى تلاعبٍ بالألفاظ للكاتب الأخلاقي والناقد البريطاني صمويل جونسون (١٧٠٩–١٧٨٤)؛ فقد كان يمدح العقل السليم للقارئ العادي الذي لم «تفسدْه الأفكار المسبقة الأدبية».

(١٦) على غرار أرسطو، يَعتبر جاليليو أن الحركة الدائرية المنتظمة هي الحركة الطبيعية للأجرام السماوية (الفصل العاشر)، فلم يكن يروق له أن ينسب إليها تسارعًا.

(١٧) بعبارة أخرى a_L = ٢,٨ ملِّيمتر مربع/ثانية. وبما أن مسار القمر دائري، فلا وجود «للثانية الأولى في السقوط»، فبعد كل ثانية يعود «مقياس السقوط» إلى الصفر (شكل ١١-٢).

(١٨) ترد البرهنة الكاملة لهذا التأكيد في كتاب المبادئ (الكتاب الأول، اقتراح ٧٦). ولكي يصبح هذا التأكيد صحيحًا لا يكفي أن يكون الجسم كرويًّا، فيتعين أيضًا أن يوجد «تماثل كروي»، أو بصورة أدق ألَّا تعتمد كثافة الجسم داخل النجم إلا على المسافة إلى المركز. وتخضع النجوم والكواكب وغالبية أقمار الكواكب إلى الشروط المطلوبة باختلافات بسيطة. ولا ينطبق ذلك على فوبوس وديموس قمرَي المريخ اللذين يبلغ قطرهما ٢٠ كيلومترًا.

(١٩) وستفول، ١٩٨١.

(٢٠) يُسمى هذا النص «حول حركة الأجسام على مدار».

(٢١) وستفول، ١٩٩٤.

(٢٢) في اللغة المعاصرة يتطابق تغيُّر الحركة مع تغير كمية الحركة بالوحدات الزمنية. إنه «الناقل» وهو مفهوم أدخله نيوتن دون تفسيره بوضوح.

(٢٣) عندما نقرأ أن «العالم ليس دائريًّا ولا مغلقًا ولا مقسمًا إلى طبقات ولا منظمًا، ولكنه فوضى لا تنتهي ومجردة من المعنى ومجال للقوى والأجسام التي تتصادم فيما بينها بعيدًا عن أي تناغم [...]» (فيري لوك، تعلم الحياة، بلون، ٢٠٠٦)، نظل في حيرة أمام الهوة التي تفصل اليوم بين الفلسفة والعلم.

الفصل الثاني عشر: يجب اتخاذ تدابير

(١) مايور، ٢٠٠٤.

(٢) أعد كبلر التقويمات الفلكية لعام ١٦٣١ باستخدام الجداول الرودولفينية التي طلبها الإمبراطور رودولف الثاني من تيخو براهي. وبعد وفاة العالم الدنماركي التزم كبلر بمواصلة العمل، وللتوصُّل إلى ذلك استعان بملاحظات سلفه مستندًا أيضًا إلى القوانين التي تحمل اسمه. وصدرت «الجداول» في عام ١٦٢٧؛ أي قبل ثلاثة أعوام من وفاة صاحبها. ومن أجل كتابتها وتمويلها والدفاع عنها في مواجهة متطلبات ورثة براهي والفرار من أهوال حرب الثلاثين عامًا؛ اضطر كبلر للقيام بعمل هائل. ففي عام ١٦٢٦ ترك مدينة لينتز التي كان مقيمًا بها آنذاك؛ فقد اجتاحها المرتزقة واحترقت

المطبعة التي عهد كبلر إليها بطباعة الجداول. ونجح كبلر في إنقاذ مخطوطته التي تم طباعتها أخيرًا في مدينة أولم. وتعد قصة صدور «الجداول الفلكية» رمزًا يوضح حياة كبلر بأكملها.

(٣) استنتجها كبلر من قانون التناغم الذي كان يراه في السماء.

(٤) لا يعتمد بريق أي كوكب على حجمه فقط، ولكن أيضًا على كمية الضوء المعكوس، وتلعب أيضًا كلٌّ من طبيعة السطح وجو الكوكب دورًا مهمًّا، وتُضاف إلى ذلك الصعوبات التي تتعلق بالأطوار التي يمر بها الكوكب. ويزداد هذا العائق أهمية في حالة الكواكب السفلية التي لا تكتفي بالبقاء باستمرار بالقرب من الشمس وتظهر لنا وجهًا معتمًا يجعلها تبدو أكثر قربًا منا.

(٥) لم يكن جاسندي يهتم فقط بقطر قرص عطارد، فكان قد قرر أيضًا أن يتخذ تدابير محددة لوضع الشمس خلال المرور. ولهذا الغرض استعان بمساعِد مزوَّد بآلة السدس وأبقاه على سطح بيته، وعَهِد إليه بمهمة قياس ارتفاع الشمس في كل مرة يضرب فيها جاسندي على السقف. وللأسف ترك الحارس الذي عيَّنه جاسندي مكانه بخجل. ولكن لحسن الحظ استعاد مهمته قبل أن يغادر عطارد القرص الشمسي.

(٦) للقصة طابع فكاهي. فإن قانون التحليل العددي الذي أعده كبلر لأحجام الكواكب خطأ بالكامل إلا في حالة عطارد، إلا إذا أعطينا قيمة صحيحة للوحدة الفلكية.

(٧) وبالنسبة لمن يتبع التقويم الميلادي حدث المرور في الرابع من ديسمبر.

(٨) كانت السيرة الذاتية لطالب كامبريدج تضم مع ذلك بعض المفاهيم عن علم الفلك «التقليدي» في مقابل علم الفلك «الحديث» الذي تمثله أعمال كوبرنيكوس وكبلر وجاليليو.

(٩) كلما زادت المسافة بين الأرض والشمس مقارنةً بالمسافة بين الأرض والقمر، يقل تدخُّل قيمتها في تحديد زاوية الاختلاف القمرية.

(١٠) عندما يرسم القمر مدارًا إهليجيًّا تتغير المسافة بينه وبين الأرض في الواقع ما بين ٥٦ و٦٤ نصفَ قطرٍ أرضيٍّ.

(١١) تم قياس زاوية اختلاف المريخ في عام ١٦٧٢، وكان المريخ آنذاك قريبًا من الحضيض ومتعارضًا مع الشمس؛ مما يمثل ظرفًا ملائمًا جدًّا. ونظم جون دومينيك كاسيني رحلة استكشافية إلى كايين لكي تُوجه الأنظار في آن واحد إلى المريخ من باريس ومن إقليم جويان. وكانت نتيجة تحديد زاوية اختلاف المريخ قريبة من القيمة

المضبوطة، ولكن الشكوك التي كانت تحوم حول القياس كانت كبيرة. أما اليوم فلا نفسر الاتفاق الناتج إلا أنه وليد الصدفة.

(١٢) يكون أحد الكواكب السفلية في اقتران سفلي أو علوي مع الشمس على حسب مروره تقريبيًّا أمام الشمس أو وراءها. ففي الحالة الأولى يكون الكوكب قريبًا من الأرض، وفي الحالة الثانية يكون بعيدًا عنها.

(١٣) بمناسبة المرور تعد الصعوبات في الأساس هي ذاتها التي نواجهها عند القياس المباشر لزاوية اختلاف الشمس، وتقترن بغياب عدد وفير من النجوم؛ ولذا طلب هالي التحديد الدقيق لمدةِ مسارِ ظِلِّ الزهرة، بالإضافة إلى عدد الساعات التي يدخل فيها الكوكب في القرص ثم يخرج منه وفقًا لما يلاحظه مراقِب محدد. وتعتبر إذن إعادة تحديد قيمة زاوية الاختلاف معقدة؛ نظرًا لأن الأمر لا يتوقف فقط على الهندسة، بل يتعين أيضًا الاستعانة بالميكانيكا السماوية لكي نحسُب بدقةٍ حركةَ كلٍّ من الشمس والزهرة خلال المرور، وتُضاف إلى ذلك ضرورة معرفة خط العرض وخط الطول المحددَين لمواقع المراقبة.

الفصل الثالث عشر: جاذبية مدهشة

(١) حقيقة مثبتة من واقع التجربة: في أكشاك العرض بالمهرجانات لا يرتفع الشيوخ أبدًا.

(٢) كان نيوتن هو مَن استبدل «بالنزعة الطبيعية للأجسام إلى السقوط» قوة جاذبية تمارسها الأرض على الأجسام المتحركة.

(٣) عندما صاغ لوساج نظريته، تناول باستفاضة فكرة لنيكولا فاسيو دي دوييه صديق نيوتن السويسري الذي ذُكر في الفصل الحادي عشر. وكان فاسيو وريث ديكارت ونيوتن في آن واحد. أما عن الجسيمات القادمة من عالم آخر، فهي تنحدر مباشرةً من ذرات ليوكيبوس وديموقريطوس وإبيقور وقريطس.

(٤) «لا أقدم افتراضات»، نيوتن.

(٥) يرى المراقب الذي يتمركز على جرمٍ سماويٍّ ما، أن القطر الظاهري للجسم الآخر يتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

(٦) لا تعدُّ أيُّ نظرية علمية نهائيةً، وينطبق الأمر ذاته على دحضها. ولكن في ظل المفاهيم الحديثة للجاذبية فمن غير المعقول أن تحيا نظرية لوساج من جديد.

(٧) يتعين أن يتم امتصاص الجسيمات القادمة من عالم آخر لكي يُنتجوا دفعةً تجاذبية بين جرمين سماويين، فهي لا تستطيع الاكتفاء بالقفز على الحواجز مثل كرات البلياردو. وإذا كان ذلك هو الحال، فهي تتصرف مثل الجزيئات أو الذرات المكونات لأي غاز شائع. لكننا نعرف جيدًا أن الكرات الصغيرة المعلقة في أي غاز لن تدور أبدًا حول بعضها البعض حتى إذا كانت مسامية!

(٨) يتكون إشعاع α وβ وγ بالترتيب من نواة الهيليوم المؤينة (جزيئات α المشحونة إيجابيًّا) ومن الإلكترونات (جزيئات β المشحونة سلبيًّا) ومن كمية من الموجات الكهرومغناطيسية ذات الترددات العالية (جزيئات γ). وتكون كتلة الجزيئة γ أو الضوء معدومة، وتنقل الطاقة ويمكن أن تتعرض لتصادمات بالجزيئات المشحونة. ولا تمثل α وβ وγ كل الأنشطة الإشعاعية المحتملة، ولكنها لوحظت أولًا.

(٩) إذا كان لافوازييه قائل الحكمة، فإن الفكرة تعود إلى أناكساجوراس أحد الفلاسفة الأيونيين.

(١٠) في الحقيقة لم تكن تلك مشكلةَ باولي الوحيدة.

(١١) ترد الترجمة الإنجليزية لهذه الرسالة بالكامل في كتاب «قفزة داخلية» لأبراهام بايس.

(١٢) بعد رسالة باولي للمشاركين في مؤتمر توبنجن اكتُشفت جزيئة أخرى غير مشحونة وكثيفة أُطلق عليها أيضًا اسم نيوترون، ولم يكن من المفترض أن تتغير ولكن المقطع اللاحق «أون» في اللغة الإيطالية يعني الحجم الكبير؛ أي يدل على التكبير. وللتمييز بين النيوترون وأخيه الصغير ذي الكتلة الصغيرة، اقتَرح الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي أن يُسمى الثاني «نيوترينو» بما أن مقطع «ينو» هو أحد المقاطع اللاحقة العديدة التي تدل على التصغير في اللغة الإيطالية.

(١٣) في الوقت الذي كتب فيه باولي الرسالة كان لا يمتلك إلا قليلًا من المعطيات حول النشاط الإشعاعي β. ولا تمثل الخصائص التي ينسبها للجسيم المجهول إلا تقديرات غير مؤكدة.

(١٤) في الحقيقة كانت الجسيمات الناتجة التي تم الكشف عنها خلال هذه التجربة نيوترينوات مضادة؛ أي الجسيمات المضادة للنيوترينوات، مثل الإلكترونات المضادة المشحونة إيجابيًّا التي تعد الجسيمات المضادة للإلكترونات. ونظرًا لتشابه خصائص النيوترينوات والنيوترينوات المضادة بدرجة كبيرة، فلا فائدة من التفريق بينهما.

(١٥) فيما يتعلق بالجسيمات المنطلقة بسرعة قريبة من سرعة الضوء، نفضل استخدام الطاقة كمعيار ذي دلالة بدلًا من السرعة التي يعد قياسها صعبًا للغاية. وتبلغ طاقة النيوترينو الشمسي حوالي مليون مرة أكبر من الطاقة المتحررة خلال تفاعل كيميائي.

(١٦) إذا كان الجزء الصغير من النيوترينوات الشمسية الذي تمتصه الأرض يعطيها قوة، فقد تكون قوة دافعة تبعدها عن الشمس. ولكن لا يعد هذا التأثير كبيرًا على الإطلاق على غرار تأثير أنواع النيوترينوات الأخرى، ولا سيما تأثير النيوترينوات الأساسية.

(١٧) يعد الميون (μ) والتاو (τ) جسيمين لهما خصائص مشابهة لخصائص الإلكترون، ولكن تبلغ كتلة كلٍّ منهما بالترتيب ٢٠٠ و٢٠٠٠ مرة أكبر من كتلة الإلكترون.

الفصل الرابع عشر: الدلائل على حركة الأرض

(١) سونيف هو الاسم الذي أطلقه سكان الزهرة على كوكبهم الذي يمثل في أعينهم الكون بأكمله (كلمة Venus ولكن بحروف مقلوبة). أما نتوين (نيوتن ولكن بحروف مقلوبة) فهو أكبر عالم على كوكب الزهرة (ملاحظة المترجم).

(٢) يوم على كوكب الزهرة يساوي ٣٤٢ يومًا على كوكب الأرض (ملاحظة المترجم).

(٣) ينتمي المختلفون لعرق خاص.

(٤) يُشار إلى النجوم المختلفة لأي كوكبة بحرف يوناني وهنا الحرف جاما γ يليه الاسم اللاتيني للكوكبة. يعني جاما دراكونيس إذن «(نجم) جاما التنين».

(٥) في الحقيقة يعتمد شكل القطع الناقص الذي لاحظه برادلي على المسافة الزاويَّة للنجم مع قطب دائرة البروج، ولكنه تأثير رؤية لا يعتمد على المسافة بين النجم والشمس. ويحتفظ المحور الكبير للقطع الناقص دائمًا بالحجم ذاته.

(٦) يمكن الحصول عليها بالإضافة الاتجاهية لسرعة الرياح وعكس سرعة المركب. تعد السرعة مثل القوة اتجاهًا، ومفهومًا رياضيًّا مستخلصًا من الفيزياء مثل العديد من المفاهيم الأخرى. وتنطبق قاعدة إضافة الاتجاهات بالضبط على ما يحدث مع السرعات.

(٧) قد يخبرنا التساوي بين تقلبات الرياح والضوء النجمي بمزيد من الأمور إذا كان صاري المركب لا يعلوه علم، بل أحد خراطيم التهوية الموجودة أعلى أماكن رُسُوِّه.

(٨) تعقد حركة دوران الأرض هذه الصورة البسيطة وتتسبب في «انحراف نهاري» لا طائل من الحديث عنه هنا.

(٩) قبل أن تكشف القياسات الجيوديزية عن وجود انتفاخ أرضي، كان نيوتن قد اقترح وجوده (الفصل الثاني عشر).

(١٠) توبن، ٢٠٠٢.

(١١) يحمل نجم برنارد هذا الاسم تكريمًا لعالم الفلك الأمريكي إدوارد إميرسون برنارد الذي اكتشف سيره السريع في عام ١٩١٦.

(١٢) تبين مراقبة المجرات البعيدة اليوم أنها تكتسب حركة خاصة وحركة تراجعية شاملة، ولكن يمكن كشف هذه الحركات بتحليل تردد الضوء الذي ترسله لنا، وليس عن طريق الملاحظة المباشرة لحركة المصدر الضوئي، فهي ظاهرة مختلفة تمامًا عن تلك التي نناقشها هنا.

(١٣) تبعد مجرة أندروميدا — وهي عضو في المجموعة المحلية — بمليوني سنة ضوئية؛ مما يعطي نكهة خاصة لمفهوم الجوار.

(١٤) في هذه الحالة تكون الحركة أيضًا متسارعة، ولكن يغير التسارع حالته لأنه ناتج عن توقف الحركة عن كونها مستقيمة. ويُوجه التسارع عموديًّا على السكة الحديدية.

(١٥) يكون للمُشاهد الذي يرى مرور القطار تفسيرًا مختلفًا. فمن وجهة نظره إذا اندفع الركاب إلى الأمام، فذلك ليس لأنهم يخضعون لقوة عطالة، بل لأنهم يخضعون رغمًا عنهم لمبدأ العطالة الذي يجبرهم على الاحتفاظ بالسرعة المكتسبة في الوقت الذي يبطئ فيه القطار.

الفصل الخامس عشر: أينشتاين أخيرًا

(١) في حين أن الرؤية الطبيعية تتطلب وجود ثلاثة أنواع مختلفة للخلايا المخروطية، لا يمتلك المصابون بعمى الألوان إلا نوعين فقط.

(٢) في كتاب «النجم الجديد» يقول كبلر: «يمكن لعلم الفلك أن يعلمنا بتأكيد مطلق أن المنطقة التي تحتلها النجوم الثابتة هي ذات حدود واضحة [...] فإذا سلمنا بافتراض أن النجوم الثابتة موزعة حتى ما لا نهاية ... فإن كل مراقب [...] تكون الشمس (مركز الكون) فوق رأسه قد يرى من أول نظرة محيطًا صلبًا ومستمرًّا من النجوم الثابتة كما لو كانت يلمس بعضها بعضًا.»

(٣) متى ٢٥: ٢٩. يتحدث البعض عن تأثير متى لوصف عدم التكافؤ في توزيع الأولوية على الاكتشافات، فهذا التأثير يفضل الأسماء المعروفة عن تلك الأقل شهرة.

(٤) إنه تأثير دوبلر المشار إليه في الفصل السادس.

(٥) من بين مجموعة الترددات التي يمكن أن تدركها العين يعد اللون الأحمر هو المرتبط بالتردد الأعلى.

(٦) من الجدير بالذكر أن المكان «المطلق» هو علامة مميزة ثابتة وخيالية يمكن قياس سرعة «مطلقة» بناءً عليها (الفصل الرابع عشر).

(٧) في عام ١٩٠٧ كان ميكلسون أول أمريكي ينال جائزة نوبل.

(٨) في عام ١٩٤٠ عندما كان أينشتاين يقطن في الولايات المتحدة حصل أيضًا على الجنسية الأمريكية.

(٩) يُطلق عليها خاصة في مقابل نظرية النسبية العامة.

(١٠) تتعلق المقالة الثانية التي صدرت هذا العام في مجلة «أنالن دير فيزيك» بالأتربة العالقة في أي سائل، التي تكتسب سرعة عشوائية بعد الصدمات التي تخضع لها بسبب ذرات السائل أو جزيئاته. واقترح أينشتاين دراسة حركتها لتحديد ثابت أفوجادرو؛ وهو ما سوف يدفع الفيزيائي الفرنسي جون بيرين (١٨٧٠–١٩٤٢) إلى قياسها في عام ١٩٠٨، وأعطى بذلك دليلًا على وجود الذرات. وبسبب هذا النجاح نال جون بيرين جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٢٦.

(١١) تأتي هذه الإشارة من جانبنا.

(١٢) وفقًا لما ذكره بايس كان أينشتاين قد علم بالتجربة من خلال قراءة نص للورنتز.

(١٣) لا يصلح هذا التأكيد إلا شريطة أن تكون الحركة منتظمة للغاية، فيتعين إلغاء أي تأرجح أو اهتزاز.

(١٤) لا يرد المحتوى صراحة في مقالة «كهروديناميكية الأجسام المتحركة».

(١٥) قبل أينشتاين كان بوانكاريه أيضًا قد حلل التزامن، فكان قد انطلق على المسار الصحيح ولكنه ضل في وسط الطريق.

(١٦) لا يمكن لجزيئة ذات كتلة ليست معدومة أن تبلغ سرعة الضوء.

(١٧) تحققت التجربة فعلًا، فبدلًا من السفينة الفضائية استُخدمت طائرة حلقت خمس عشرة ساعة بسرعة ٥٠٠ كيلومتر في الساعة، وبدلًا من الكرونومتر تمت الاستعانة

بساعتين ذريتين. وعند هبوط الطائرة، كانت الساعة التي على متنها لا تتأخر عن تلك التي لم تغادر الأرض إلا ببعض الأجزاء من المليار من الثانية.

(١٨) يمكن لبرادلي أن يرتاح في قبره؛ فقد تناول أينشتاين بوضوح ظاهرة الانحراف الضوئي في مقالته الصادرة عام ١٩٠٥؛ فقد أثبت كيف يمكن الاحتفاظ هنا أيضًا بثبات سرعة الضوء.

الفصل السادس عشر: الفكرة الأكثر توفيقًا في حياتي

(١) لم تكن كلمة رائد فضاء موجودة آنذاك، فهي تعود إلى عام ١٩٢٨.

(٢) بالمعنى الحرفي، لا توجد درجة حرارة للفراغ، ولكننا نعرف اليوم أن الكون يحتوي على إشعاع حفري يمكن أن ننسب إليه درجة حرارة محددة لا تتخطى الصفر المطلق إلا بـ ٢,٧٣ درجة. أما عن استخدام ميزان الحرارة القصوى والدنيا للقيام بهذه العملية، فهو يثير دهشة كبيرة بما أن جول فيرن يخبرنا فقط أن صديقًا لأراجو يُدعى ولفردين هو الذي صمم هذا الميزان.

(٣) هي نقطة تتساوى عندها بالضبط جاذبية القمر وجاذبية الأرض.

(٤) جول فيرن، «حول القمر».

(٥) المرجع ذاته.

(٦) يلعب السقوط حتمًا دورًا محوريًّا في تاريخ الجاذبية، فما هي الصفات المشتركة بين تفاحة ورسام معماري؟ ربما أضاف الرسام أنه خلال السقوط فقد إحساسه بالأعلى والأسفل. ومع أن هذه القصة ذكرها ويلر في «رحلة في الجاذبية والمكان والزمان»، فإنها قد تكون مزيفة.

(٧) في مقالة عام ١٩٠٥ تظهر هذه العلاقة في صورة لم تكن قد بلغت بعد عموميتها بالكامل، وهو ما سيحدث في عام ١٩٠٧ (E: الطاقة، m: الكتلة، c: سرعة الضوء في الفراغ).

(٨) في هذه المقالة الأولى، لا يذكر أينشتاين إلا طاقة الإشعاع.

(٩) يضطر من يحاولون إنقاص وزنهم إلى حساب الوحدات الحرارية للأطعمة، فهل يعلمون أن الأمر يتعلق بالوحدات الحرارية الكبيرة؟

(١٠) لكي يصبح التأثير ملحوظًا ينبغي أن نستبدل بالجسم المتحرك جسيمًا مشحونًا مثل الإلكترون أو الميوون. وتمتلك الأشياء التي تملأ حياتنا اليومية حتى لو كانت ساكنة كتلة أكبر، مما يسمح بإعطائها سرعة مماثلة لسرعة الضوء.

(١١) لا توجد أي عملية فيزيائية معروفة تقود إلى الاختفاء الفوري لجرم سماوي دون عِوض. فإذا كان انتقال تأثير الجاذبية فوريًّا، فقد نتخيل مع ذلك ظواهر يكون التفاوت بين انعكاساتها البصرية والجاذبة ملحوظًا.

(١٢) الفصل السابع.

(١٣) يجب عدم الخلط بين مبدأ التكافؤ والتكافؤ بين الكتلة والطاقة.

(١٤) من الجدير بالذكر أن هذه التجربة لم تكن فقط اختبارًا لمبدأ التكافؤ. فإذا أغفلنا الشكوك التي تحوم حول القياس، فيمكن اعتبارها بمنزلة التحقق من أحد تنبؤات نظرية النسبية العامة التي ظهرت عام ١٩١٥.

(١٥) شعاع جاما.

(١٦) لا يمكن لمجال جاذبية أن يكون منتظمًا بالقرب من جرم سماوي إلا في منطقة ذات امتداد ضعيف.

(١٧) يمكننا أيضًا أن نسأل قائد المركبة ...

(١٨) تسببت صعوبة هذا العمل في استبعاد تحقيقه.

(١٩) لم يكن معروفًا بهذا الاسم إلا منذ عام ١٩٢٦.

(٢٠) لا يعد التحديد كاملًا: فترسم قذيفةٌ ما مسارًا يعتمد على وجود مجال للجاذبية، ويعتمد أيضًا على الطريقة التي نطلق بها القذيفة.

(٢١) جملة ذكرها بايس عام ١٩٨٢.

الفصل السابع عشر: الجاذبية مسألة هندسية

(١) بالألمانية Braunschzeig وهي مدينة في ولاية ساكسونيا السفلى.

(٢) يُعتبر السطحُ ثنائيَّ الأبعاد بما أنه يكفي إحداثيتان لتحديد موقع النقطة، وينطبق الأمر ذاته على الأسطح الأخرى، ولا سيما الكرة التي يُعتبر عليها كلٌّ من خط العرض وخط الطول إحداثيتين شائعتين. أما عن المكان فهو ثلاثي الأبعاد: فنضمُّ الارتفاع إلى العرض والطول لتحديد موقع نقطة ما.

(٣) بالرغم من شك جاوس في الطابع الإقليدي للمكان الفيزيائي، فإنه لا يبدو أنه قام بأي عمل للتحقق تجريبيًّا من خصائصه. فيعود الفضل في القيام بأول خطوة في هذا الاتجاه إلى الرياضي الروسي نيكولاي إي لوباتشيفيسكي (١٧٩٢–١٨٥٦)، وفي هذا الصدد اقترح دراسة هندسة مثلث نجمي.

(٤) بيل، ١٩٦١.

(٥) تسمح هذه الحجة بإقناع القارئ بأن الخطوط الجيوديزية يمكن أن تلبي رغبة أينشتاين، ولكنها لا تكفي لإثبات أن تقوسات الزمكان المشوه هي الوحيدة التي تتولى هذا الأمر. فكان لدى أينشتاين حجج أخرى بفضل معارفه الميكانيكية.

(٦) ليس ضروريًّا أن يكون المرشح لمنصب عميد الكلية كبيرًا في السن، فينال هذا المنصب عضو هيئة التدريس الذي يتولى المهام الكبرى.

(٧) لم يعد الفيزيائي الحديث يستعين كثيرًا بمفهوم القوة. فمن أجل وصف تأثير الجاذبية أو الكهرومغناطيسية يفضل اللجوء إلى ما يسميه «طاقة كامنة». فيُستبدل بقوة الجاذبية النيوتنية طاقة كامنة وحيدة، تلك التي تمارسها أربع طاقات كامنة على شحنة كهربائية، أما تلك التي قد ينبغي استخدامها لوصف سلوك كتلة في مكان مشوه، فهي تتلاءم مع تأثير عشر طاقات كامنة. يُطلق على الأولى «غير موجهة»، والثانية «شعاعية» والثالثة «موترية» مما يتناسب مع تزايد تدريجي في التعقيد.

(٨) فيما يتعلق بالكواكب الأخرى في المجموعة الشمسية، تُعتبر حركة الحضيض بطيئة جدًّا بما أنه تم كشفها.

(٩) منذ ١٩٠٧ كان أينشتاين قد فكر بالفعل في تقدم حضيض عطارد لكي يصبح اختبارًا لصحة نظريته القادمة. ولكنه إذا كان استأنف نظرية نيوتن عن الجاذبية، فإن هذا التشوه الصغير لا علاقة له بأي شيء.

(١٠) ذكرها بايس، ١٩٨٢.

(١١) لا يعد افتراض نقل الضوء للكتلة ضروريًّا بالنسبة لانحراف الضوء، فيكفي أنه ينقل الطاقة المساوية للكتلة.

(١٢) تُنسب المقولة الأولى إلى إرنست رذرفورد مكتشف النواة الذرية، والثانية إلى فلهلم فيين الفيزيائي الألماني، والثالثة إلى ألبرت أينشتاين نفسه عندما اكتشف ما فعله منكوفسكي بنظرية النسبية الخاصة. فلم يكن يعرف حينئذٍ أنه هو ذاته سيذهب بها بعيدًا بصياغة النسبية العامة.

(١٣) وفقًا لميكانيكا نيوتن، يخضع جسمان سماويان معزولان إلى قوانين كبلر باختلاف أن مركز جاذبيتهما المشترك هو الذي يحتل إحدى بؤر مداريهما. ويدور الجسمان حول مداريهما في الوقت ذاته. وفي حالة الشمس وأحد الكواكب، فقد يؤدي تفاوت الكتل إلى الخلط بين موقع مركز الجاذبية المشترك وموقع مركز الشمس، وذلك

دون أن يكون هذا الخطأ ذا أهمية. وبتقريب أولي، يمكن اعتبار الشمس في هذه الحالة غير متحركة.

(١٤) يؤدي أي خطأ بنسبة جزء من المليون من الثانية إلى خطأ في الموقع بمسافة ٣٠٠ متر.

(١٥) كان جاليليو قد علمنا أن القذائف ترسم قطعًا مكافئًا، ولكن لا يوجد تعارض؛ لأنه لا يمكننا التفريق بين جزء القطع الناقص وجزء القطع المكافئ عندما يكونان قصيرين جدًّا.

(١٦) بالرغم من المثال المذكور هنا، فإن متوسط كثافة جسم معتم لا يكون بالضرورة كبيرًا، فهو في الحقيقة يقل عندما تزيد كتلة الجسم السماوي. أما الشرط الأساسي الوحيد لكي يصبح النجم معتمًا، فهو يتعلق بسرعة الإفلات على السطح التي يجب أن تتجاوز سرعة الضوء.

(١٧) ما زلنا نتحدث عن نصف قطر النجم نظرًا لعدم وجود ما هو أفضل ولكن خصائص الفضاء قد تغيرت كثيرًا بالقرب من نصف قطر شفارتزشيلد، لدرجة أن تفسير هذا المصطلح ليس مبتذلًا.

(١٨) يعتمد تطور النجم أيضًا على جواره. فقد يتغير شكله النهائي إذا كان جزءًا من نظام مزدوج أو متعدد.

الفصل الثامن عشر: ما زال أمامنا الكثير لنعرفه

(١) من بين نقاط ضعف النموذج المعياري أن به أخطاء غير مقصودة، فعلى سبيل المثال هو لا يفسر على الإطلاق لماذا تأخذ الثوابت الكونية المختلفة القيم المعروفة بها الآن.

(أ) زيادة مدة طول اليوم

(١) لم يتفق المؤرخون وعلماء الفلك بشأن العام صِفْر فالمؤرخون لم يكونوا متحمسين، وعلماء الفلك قد أدخلوه في حساباتهم. لن نتدخل في خلافاتهم بما أن الأمر لا يتعلق هنا إلا بتقييم وليس بحساب دقيق.

(جـ) دورة ساروس

(١) في عام ١٨٨٧ كان تيودور فون أوبولزر، وهو عالم فلك نمساوي، قد أصدر جدولًا لحالات خسوف القمر للفترة من ١٢٠٧ قبل الميلاد وحتى عام ٢١٦١. وقد أعدها بالاعتماد على معارفه في الميكانيكا السماوية. وتكشف المقارنة بين دورة ساروس وجدول أوبولزر عن بعض الاختلافات.

(د) حالات مرور الزهرة

(١) يكون الكوكب في قران سفلي إذا كان يتوسط بين الأرض والشمس خلال اصطفافه معهما.