الفصل
7

كتابٌ لا يفهمه أحد

في آب/أغسطس 1684 ركب فلكيٌّ شاب وسيم اسمه إدموند هالي Edmond Halley في حافلة لندن متوجهاً إلى كامبردج، وجلس في الخلف وهو يفكر في الأحداث التي أرسلته في مهمة خطيرة. ففي وقت مبكر من تلك السنة، دخل في مناقشةٍ ساخنة مع روبرت هوك والسير كريستوفر رين [1632-1723] Sir Christopher Wren المهندس المعماري الشهير لكاتدرائية القديس بولس في لندن. وكان هالي يقول إن قوة التجاذب بين الكواكب والشمس تتناقص بتناسبٍ عكسيّ مع مربع المسافة بينها. وإذا كان هذا صحيحاً، فإن مدار كل كوكب يجب أن يكون على شكل قطع ناقص وفقاً لمبدأ كبلر.

وقد أعاد هالي إلى الأذهان ما أكَّده هوك مباشرة من

obeikandl.com

أن جميع قوانين الحركات السماوية يُبرهَن عليها وفق هذا المبدأ. أما رين الذي كان أيضاً مهتماً بشدة في هذا العلم الجديد، فقد ادّعى أنه هو الآخر قد توصّل إلى هذه النتيجة نفسها. ولكن المسألة بعد إقرار الثلاثة بذلك، تكمن في إيجاد صيغة رياضية للبرهان عليها.

عرض السير كريستوفر، المتلهّف لإيجاد حلّ، تقديم كتابٍ نفيس إلى الصديق الذي تمكّن من التوصل إلى برهان سليم في غضون الشهرين التاليين. أما هوك، الذي كان التواضع صفةً غريبةً عنه، فقد ادّعى أنه قد توصل سابقاً إلى البرهان المطلوب، وأنه يرغب في إبقائه سراً لبعض الوقت حتى يقدِّر أصدقاؤه هذا العمل، عندما يتعيّن عليه نشره.

انتهى الموعد النهائي المقرَّر، ورحل الربيع وحلّ الصيف محلّه، ولم ينطق هوك ببنت شفة. وفي النهاية، وبعد سبعة أشهر من الصمت، قرّر هالي التحرّك. فتوجّه تلقاء كامبردج ووضع قراراً حاسماً، وهو أنه سيزور كلية ترنتي ليستوثق: أيستطيع إسحاق نيوتن المتكتم أن يلقي ببعض الضوء على المسألة؟

كان نيوتن يعيش وقتها في عزلة أكبر مما كان عليها. ففي السنوات السابقة أصيبتْ أمُّه حنّا بما كان يوصَف بـ «الحمّى الخبيثة»، وهو مصطلح يطلق على أي مجموعة من الأمراض الخطرة. فأسرع نيوتن إلى وولزثورب وتولى أمر العناية بأمه حنّا، يضمّد لها البثور ويسهر على رعايتها

طوال الليل. ولسوء الحظ لم يكن بالإمكان إنقاذها من المرض وماتت بعد أيام قليلة. ولما كان إسحاق ولدَها الأول فقد ورث معظم ممتلكاتها، فصار بذلك رجلاً ثرياً مستغنياً عن الآخرين.

ثمة صدمةٌ أخرى حلّت بنيوتن بعد ذلك هي رحيل جون ويكنز عن كامبردج، وهو زميل نيوتن في السكن مدة عشرين سنة. إذ أصبح ويكنز كاهن كنيسة أبرشية في ستوك إدث Stoke Edith وتزوج ورُزق مولوداً سمّاه نيكولاس. ومع أن ويكنز ونيوتن كانا صديقين متلازمين، لكنهما لم يلتقيا ثانية، ولم يتبادلا في السنوات التالية سوى رسالة أو رسالتين.

كان شعار نيوتن في عزلته هو: العملَ، والعملَ، ومزيداً من العمل، حتى إن همفري نيوتن علّق على ذلك قائلاً: «لم أره أبداً في أماكن الاستجمام أو التسلية، وهو لا يخرج إلى الهواء الطلق، ولا يمشي، ولا يلعب البولنغ ولا أيّ تمرين رياضي مهما كان. فهو يفكر في الساعات التي خسرها ولم يقضها في دراساته التي من أجلها بقي منغلقاً ولم يغادر حجرته إلا نادراً». وكان لهذا البروفسور المنعزل وقت يخلو به بنفسه، وذلك لأن طلاب كامبردج كانوا قليلي الاهتمام بالفلسفة الطبيعية. وقد لاحظ همفري أن نيوتن كثيراً ما كان يحاضر في جدران الصف. وأخيراً، توقف عن الذهاب إلى قاعة المحاضرات بالكلية.

وبمرور السنين أصبح نيوتن مثالاً للأستاذ الذاهل الشارد الذهن؛ لا يتناول من الطعام إلا ما يسدّ الرمق، وغالباً ما كان يذكّره همفري بأن الطعام حُوِّل إلى غرفته وأعيد دون أن يُمَسّ. وكان يثير الدهشة عندما كان يحوم حول الطاولة ويأكل لقمة أو لقمتين وقوفاً. وكتب همفري في ذلك يقول: «لا أستطيع القول إنني رأيته يجلس إلى الطاولة وحده».

ونادراً ما كان يذهب نيوتن إلى النوم قبل الثانية أو الثالثة صباحاً، وكثيراً ما كان ينام بلباسه النهاري. ومع ذلك فهو يستيقظ في الخامسة أو السادسة وهو بكامل نشاطه. أما شعره الفضي الطويل فقليلاً ما كان يسرّحه، وأما جواربه فسائبة فضفاضة، وأحذيته بالية. وفي المناسبات النادرة التي يخرج فيها تكون الغايةُ عادةً تناولَ وجبةٍ في قاعة الغداء، التي تشرف عليها الصورة الضخمة للملك هنري الثامن.

ولكن بدلاً من أن يجتاز القاعة الكبرى، كما يفترض أن يفعل، كان نيوتن - كما ذكر همفري - يعود إلى شارع ترنتي، ثم يتوقف مدركاً خطأه، ثم يرجع، وبعدها «يعود في بعض الأحيان إلى حجرته ثانية دون دخول القاعة.»

وعندما يكون الطقس جيداً كان يُرى نيوتن وهو يتمشّى في حديقته بين الفينة والأخرى. وباستعمال عودٍ يلتقطه كان يرسم أشكالاً على المسالك المفروشة

بالحصى، التي يتحاشاها الآخرون خشية دَثر عمل هذا العبقري. يقول همفري «أحياناً، وبعد أن يُتِمَّ جولةً أو جولتين، يتوقف فجأة ثم يدور حول نفسه ويسرع في صعود الدرج وكأنه أرخميدس آخر، ثم ينكب على كتابة ما وجده وهو واقف إلى جانب مكتبه، دون أن يعطي لنفسه برهة قصيرة يسحب فيها كرسياً ليجلس عليه». وهكذا كان نيوتن مستغرقاً جداً وكأنه فَقَد وعيه لحقيقة الزمان والمكان. فالأيام والتواريخ في كثير من مقالاته التي سجّل فيها تجاربه لا تتفق مع التقويم.

لما وصلتْ حافلةُ هالي إلى كامبردج ترجَّل منها وليس في نفسه ما يتوقَّعه لغد؛ فهو لم يتبادل مع نيوتن أي رسالة، ولم يَلْقه من قبل سوى مرة واحدة في لندن. والأهم من ذلك هو أن اسم هوك كان يشق طريقه نحو الظهور. وبقطع النظر عن التعهد المتبادل بين نيوتن وهوك بعدم إذكاء نار الفتنة بينهما، فقد كانت الحزازات الناشبة بينهما تعتمل فيما يتصل بمسائل علميةٍ كبيرةٍ وصغيرة على حدّ سواء.

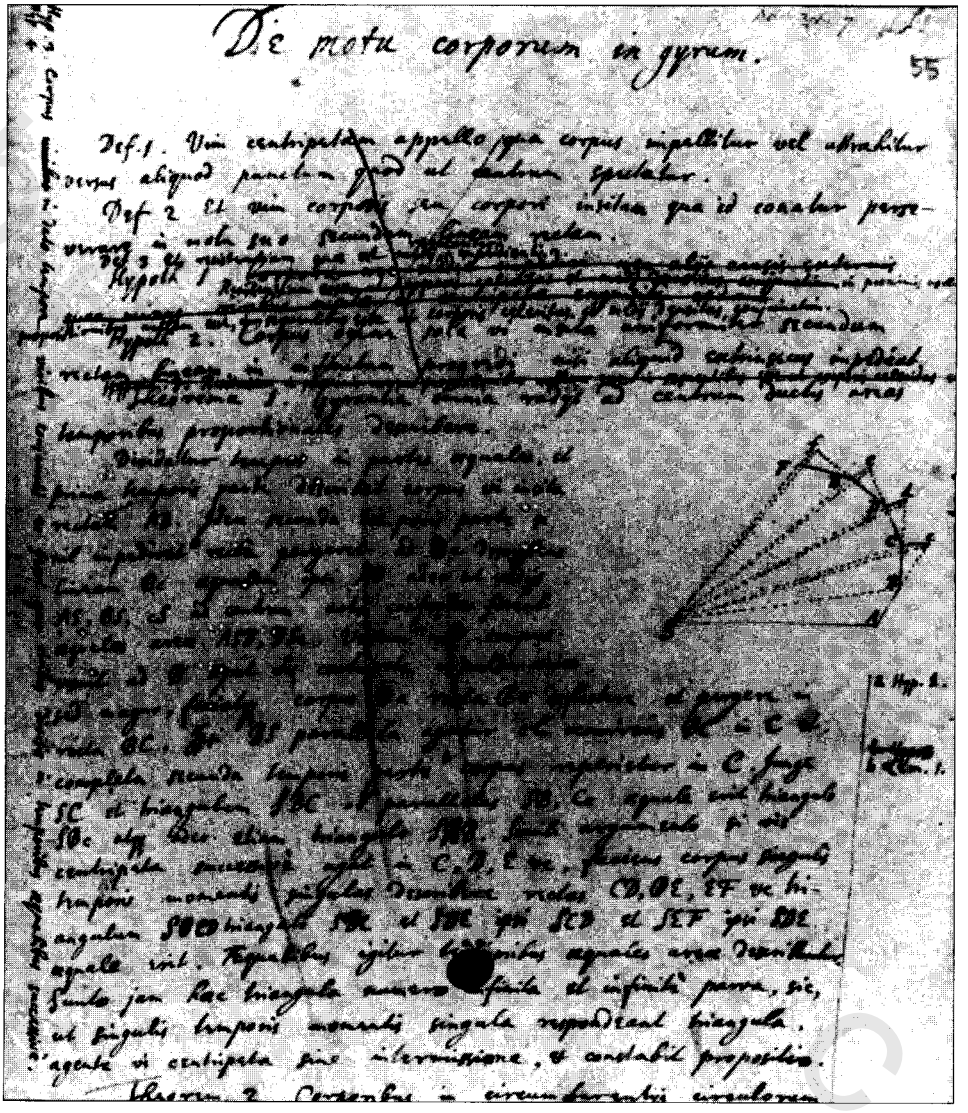
ومما أدهش هالي ومَنَحه راحةً كبيرة أن نيوتن كان مسروراً لزيارته. فتحدثا في أمور عديدة قبل أن يبيّن هذا الفلكيُّ السببَ الذي دعاه للبحث عن نيوتن. وفي النهاية وجّه هالي السؤال إلى نيوتن: «ما نوع المنحنى الذي ترسمه الكواكب بافتراض أن قوة التجاذب باتجاه الشمس تبادلية وتتناسب مع مربع المسافة بينها؟»

يجيب نيوتن دون تردد بأن هذا المنحنى هو قطع ناقص! وفي حالةٍ من الذهول يستفسر هالي: كيف عرفتَ ذلك؟ ويقول نيوتن «لقد أجريتُ الحسابات المتعلقة بذلك».

وعندما سأل هالي عن هذه الحسابات، راح نيوتن يفتش في أكداس أوراقه وبقي ضيفُه المتحمّس حابساً أنفاسه. ولكن نيوتن لم يتمكن من العثور على الوثائق التي تحسم المسألة، فاضطر هالي إلى المغادرة دون الحصول على برهانٍ مكتوب. ومع ذلك، فقد وعد نيوتن قبل أن يفترقا بأن يعيد الحسابات ويرسلها إلى هالي في لندن.

كان الفلكي إدموند هالي يقوم بمهمة المحرر لنيوتن، إضافة إلى تمويل نشر كتابه Principia.

ونفد صبر هالي ثانية؛ إذ مرت ثلاثة شهور دون الحصول على كلمة واحدة من كامبردج. ولكن ما لم يكن يعلمه هالي هو أن نيوتن كان قد حلَّ المسألة المتعلقة بشكل المدار باعتماد طريقةٍ رياضية مختلفة، إلا أنه لم يكن مقتنعاً بها. لذلك أمضى معظم هذه الشهور الثلاثة وهو يعمل على كتابة مخطوط مؤلف من تسع صفحات بعنوان حركة الأجرام الدوّارة De Motu Corporum in Gyrum. وأخيراً، وفي تشرين الثاني/نوفمبر من سنة 1684، وبعد نحو أحد عشر شهراً من المناقشة التي شارك فيها هالي وهوك



المسوّدة الأوليّة لمخطوط نيوتن في حركة الأجسام الدوّارة De Motu، وهو العمل الذي مهّد الطريق إلى كتاب المبادئ الأساسية Principia.

ورين، وصلتْ نسخةٌ من مخطوط De Motu إلى لندن.

ذُهِل هالي لدى إمساكه بالأصول الرياضية لعلم شامل في التحريك dynamics وهو دراسة العلاقة بين حركة

الأجسام والقوى المؤثرة فيها. فتوجّه من فوره شمالاً إلى كامبردج من جديد لينظر هل يوافق نيوتن على وضع مخطوطه في الجمعية الملكية ونشْرها كي يتسنى لجميع علماء العالم الاطلاع عليها.

وفي العاشر من كانون الأول/ ديسمبر وقف هالي خطيباً في زملائه أعضاء الجمعية الملكية ورئيسها الجديد صموئيل بيبز، وتحدّث عن أحدث زيارةٍ قام بها إلى نيوتن، وعن رسالةِ نيوتن الدقيقة في حركة الأجسام الدوّارة. وكان تقرير هالي مسجلاً في حينه في محضر رسمي، ويطالب بإلحاح بحَثّ نيوتن على نشر عمله هذا في أقرب وقت ممكن.

ولعلّ نيوتن ظنَّ في بادئ الأمر أن عمله في حركة الأجسام الدوّارة هو غايةٌ بحد ذاته، ولكن ما إنْ بدأت طاقاتُه الإبداعية بالانطلاق، حتى وجد نفسه عاجزاً عن كبح زخمها. فقد كتب إلى هالي في كانون الثاني/ يناير 1685 قائلاً: «أما وأنني الآن بصدد تناول هذا الموضوع، فيسرني أن أسبر أعماقَه قبل أن أُقدم على طباعة مقالاتي». وكان يدور في خياله أن مخطوط حركة الأجسام الدوّارة هو بمنزلة البذرة الأولى لرائعته التي كانت أعظمَ كتاب أُلِّف في العلوم.

وهكذا بدأتْ رحلة 18 شهراً من العمل المكثف في تاريخ العلوم. ففي نيسان/ إبريل 1686 أهدى نيوتن إلى الجمعية الملكية الثلثَ الأول من عمله الشهير، وجعل

عنوانه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية Philosophiae Naturalis Principia Mathematica ويشار إليه عادة بالمبادئ الأساسية Principia. وبعد شهر وافق أعضاء الجمعية على أن تدفع الجمعية تكاليف نشر الكتاب، ولكن هذا القرار كان في حكم المُلغَى بعد أسبوعين عندما عُلِم بأن الخزينة ليس فيها الرصيد المطلوب. عندها تحوّل الأعضاء إلى هالي، الذي وافق على تمويل النشر من جيبه الخاص وأن يعمل محرّراً لنيوتن.

لقد كان اختياراً موفقاً حقاً؛ فما إن قدّم نيوتن القسم الأول من عمله حتى طلع روبرت هوك مطلقاً إشاعته المألوفة جداً عن السرقة. فقد ادّعى أنه اكتشف قانون التربيع العكسي قبل ست سنوات، وكان قد ذكر ذلك في رسالة له إلى نيوتن. ولئن كان هوك قد صحَّح مرةً خطأً نادراً ارتكبه نيوتن عند حسابه مسار جسم ساقط، فهذا لا يُعَدّ شيئاً يذكر مقارنةً بإثبات أنه بازدياد المسافة بين الكوكب والشمس تنخفض شدّة التجاذب الثقالي بينهما. وقد علّق عالِم القرن الثامن عشر الفرنسي آلكسس كلود كليروت Alexis Claude Clairaut فيما بعد على ادّعاء هوك بأن نيوتن قد سَرَق منه قائلاً: «ما أبعد الشقة بين الحقيقة القائمة على الملاحظة، والحقيقة القائمة على البرهان».

انفجر نيوتن غاضباً – كما هو متوقع – عندما وصلتْ تهمة هوك إليه في كامبردج. فكتب على عجلٍ رسالةً غاضبة إلى هالي هدّد فيها بأن يحتفظ لنفسه ببقية المبادئ

الأساسية. ومما كتبه: «مثل العلم كمثل السيدة الوقحة المشاكسة؛ تجد نفسك مضطراً إلى معاداتها في الوقت الذي يجب أن تكون معها. وقد وجدتُ ذلك سابقاً، والآن أجد نفسي قريباً منها ثانية، ولكنها أعطتني تحذيراً».

وكان هالي الطويل القامة، ذو العينين الداكنتين والوجه الناعم والعريكة اللينة سمحاً في حضوره مع معظم الناس. وبقطع النظر عن كثير من خيبة الأمل، كان تعامله مع نيوتن غير مذبذب، بل كان مهذباً جداً ومحترماً ابتداءً من اللقاء الأول وحتى الرسالة الأخيرة التي كانت بينهما، وقد قُدِّر لهذه العلاقة أن تدوم أربعين سنة. وقد بادر هالي بسرعة لتهدئة الأوضاع، فكتب إلى نيوتن بأن رغبة هوك تنحصر بأن يكون له ذكر في مقدمة المبادئ الأساسية، وأن ذلك سيكون إيماءةً لطيفةً من جهة نيوتن، إضافة إلى أنها لن تكلّفه شيئاً. ولكن نيوتن الذي ما زال مُغْضَباً، ردّ بأن راجع مخطوطته وشطب كل إشارة إلى هوك. وبذلك مرّت العاصفة ووافق نيوتن على المضي قُدماً في مسألة النشر.

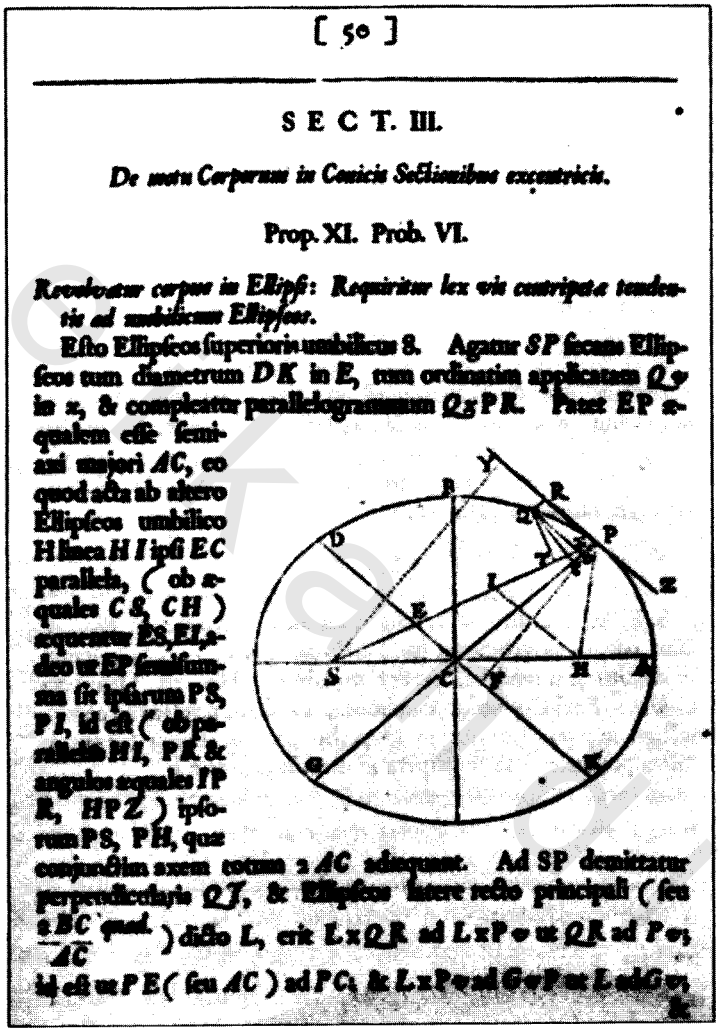
لم تكن المبادئ الأساسية كتاباً سهل القراءة في أيام نيوتن، ولا حتى في أيامنا هذه. فبعد أن طُبع الكتاب، كان نيوتن يسير في الشارع فمرّ به طالبٌ قال معلقاً: «هذا هو الرجل الذي يؤلِّف كتاباً لا يفهمه هو ولا أحدٌ غيره». وليس هذا بدعاً، فقد قيل الشيء نفسه لأينشتاين عندما

نُشرت مقالاته في نظرية النسبية بعد ذلك بنحو مئتين وخمسين سنة.

أشرنا سابقاً إلى أن المبادئ الأساسية تتألف من ثلاثة كتب؛ الأول يتناول مسائل الحركة دون احتكاك أو مقاومة، والثاني يهتم بحركة السوائل وأثر الاحتكاك في حركة الأجسام الصلبة في السوائل. وأهم هذه الكتب هو الكتاب الثالث، وهو بعنوان: نظام العالم System of the World الذي يهمنا جداً.

وفقاً لقانون نيوتن الأول فإن: «كلّ جسمٍ يستمر في حالة السكون، أو في حركة منتظمة على خطٍ مستقيم، ما لم يُجبَر على تغيير حالته بتأثير قوىً تعمل فيه». وكما رأينا، كان غاليليو هو أول مَن صاغ هذا المبدأ فعلياً. وباستئناف العمل من حيث توقف العالِم الإيطالي، أعاد نيوتن صوغ هذا المبدأ ودَمَجه في نظامه الميكانيكي، أو في سلوك المادة. وهكذا أصبح القانون: إذا لم تؤثر قوة خارجية في الجسم، استمرّ في الحركة بسرعةٍ ثابتة في الاتجاه نفسه. لذا فإن الكوكب إذا تُرك وحده فسوف يدور حول الشمس إلى الأبد.

ومع ذلك فإن الكواكب، كما برهن نيوتن رياضياً، تطوف بالشمس راسمةً مداراتٍ إهليلجية الشكل. فلماذا لا تتحرك هذه الكواكب في الفضاء على خط مستقيم، كما هو متوقع وفقاً للقانون الأول؟ هنا يأخذ القانون الثاني لنيوتن مكانه لينصّ على أن: «التغيّر في حركة الجسم



[50]

SECT. III.

De motu Corporum in Conicis Sectionibus excentricis.

Prop. XI. Prob. VI.

Revolvatur corpus in Ellipfi: Requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum Ellipfeos.

Esto Ellipseos superioris umbilicus S. Agatur SP focum Ellipseos cum diametrum DK in E, tum ordinatim applicatum Qq in x, & compleatur parallelogrammum QxPR. Patet EP æqualem esse semiaxi majori AC, eo quod acta ab altero Ellipseos umbilico H linea HI ipsi EC parallela, (ob æquales CS, CH) æquentur PS, EI, adeo ut EP semidifferentia sit ipsarum PS, PI, id est (ob parallelas HI, PE & angulos æquales IPE, HPZ) ipsorum PS, PH, quæ conjunctim axem totum 2AC adæquant. Ad SP demittatur perpendicularis QT, & Ellipseos latere recto principali (seu $2\frac{BC^q}{AC}$ quad.) dicto L, erit $L \times QR$ ad $L \times PR$ ut QR ad PR, id est ut PE (seu AC) ad PC, & $L \times PR$ ad $G \times PR$ ut L ad G, &c.

كتاب المبادئ الأساسية، المكتوب باللاتينية والزاخر بالمخططات المعقدة، كان يصعب فهمُه على القراء في زمن نيوتن مثلما يصعب فهمه على القراء اليوم.

تتناسب مع القوة التحريكية المؤثرة، وباتجاه الخط المستقيم الذي تؤثر القوة وفقه». وبعبارة أعمّ فإن هذا القانون ينص على أن الكوكب الذي يدور ينجذب بزاوية قائمة باتجاه الشمس. وإن نزعته الطبيعية إلى التحرك نحو الخارج في الفضاء، أو ما سماه كريستيان هايغنز: القوة

«النابذة» centrifugal force، تتعادل تماماً مع قوة الشمس الجاذبة نحو الداخل، أو ما سمّاه نيوتن: القوة «الجاذبة» centripital force. ومن الوسائل المثلى لتوضيح هذا المبدأ تدوير جسم ما مربوط بحبل أو سلك فوق الرأس. فالجسم يمثل الكوكب، واليد المثبّتة تمثل الشمس، على حين يمثل السلكُ «القوةَ» التي تمنع الجسم من الانفلات في السماء.

ولكن ماذا عن السلك نفسه؟ فليس هناك سلكٌ مرئي يربط الكوكب بالشمس. لذلك أُدخل قانون نيوتن الثالث الذي كان متفرّداً به، وينصّ على أن «أي فعل يعاكسه ردّ فعل مساوٍ له، أو: الفعل المتبادل لجسمين أحدهما على الآخر متساويان دوماً ومتعاكسان في الاتجاه». فإذا أَثر جسمٌ على آخرَ من مسافةٍ ما، أثّر الجسمُ الآخر أيضاً على الجسم الأول بقوة مساوية ومعاكسة. فالقمر يجذب الأرض بالقوة نفسها التي تجذب الأرض فيها القمر. ويصحّ هذا القانون نفسه على الأرض والتفاحة، سوى أنه في هذا المثال تسبّب القوةُ الممارَسةُ تغيّراً مرئياً لموضع التفاحة، على حين تبدو الأرض غير متأثرة البتة، وذلك بسبب حجمها الهائل. وبهذه القوانين الثلاثة أوجد نيوتن فرعاً جديداً في الفيزياء ندعوه اليوم «علم التحريك dynamics».

وتتَّضح عبقرية إنجازات نيوتن أكثر فأكثر إذا ما سلّطنا الضوء على القانون الثالث بالذات؛ فقوة الثقالة التي تؤثر

في الأجسام من مسافةٍ ما لم تعُدْ شيئاً خاصاً بالشمس والكواكب، بل تنطبق على أي جسم في الوجود مهما كان صغيراً أو كبيراً. وحسب الخاصّية العامة لجميع الأجسام، فإن قوة الجاذبية تعتمد حصراً على كمية المادة التي يحويها كل جسم. أو كما أشار نيوتن في الفرضية السابعة من الكتاب الثالث: «يؤثر أي جسم على جسم آخر بقوة جذب تتناسب طرداً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكساً مع مربع المسافة بينهما». وبهذا المبدأ الرائع استطاع نيوتن أن يحقّق «ديمقراطية» كونية عن طريق التعامل مع الأجسام على وجه المساواة. فأيّ شيء - بدءاً من أصغر الذرات وانتهاء بأكبر الكواكب - يخضع لهذا القانون اللامتغيّر نفسه، ما دام التفكير العميق يلازم العقل البشري.

وبذلك أصبح نيوتن مهيّأً الآن ليبرهن على أن قانون الجاذبية الكونية يفسِّر الظواهر التي حيّرتْ عقول أعظم العلماء لعدة قرون. أو - طبقاً لكلمات نيوتن -: «الاكتفاء بقبول ما هو صحيح وكافٍ لتفسير ظواهر الأشياء الطبيعية».

لقد جعل نيوتن اهتمامه مركزاً في مدار كوكب زحل Saturn حول الشمس، الذي حاول أن يحسبه بدقة لعدة سنوات. ولو انحصرت المسألة في تحديد التجاذب المتبادل لجسمين، لكان الحل سهلاً نسبياً. ولكن نيوتن يعلم حقّ العلم أن المسألة معقدة بسبب كون حركة

كوكب زحل تتأثر بأجسام أخرى أيضاً، لعل أعظمها أثراً كوكب المشتري Jupiter المجاور لزحل. ومع أن الشمسَ - التي تحتوي على كمية من المادة تزيد ألف مرة على مجموع ما تحتويه الكواكب مجتمعة - هي الجِرم المهيمنُ في المنظومة الشمسية، فإن حجم المشتري الكبير يمكّنه من إحداث تغييرات صغيرة، أو اضطرابات، في مدار زحل. وهكذا فإن زحل الذي يدور حول الشمس وفق مدار إهليلجي، يترنّح قليلاً أثناء رحلته كالبحّار الثمل. ولم يستطع أحد - حتى نيوتن المتسلّح بحساب التفاضل والتكامل - أن يَخرج بأكثر من الحل العام لما يُدعى «مسألة الأجسام الثلاثة» وهي إحدى أصعب المسائل في الفيزياء. وبالفعل، فقد أشار في إحدى المرات أنه حاول أن يَحلّ هذه المسألة فأصابه وجعٌ في رأسه، عالجه بوضع عصابة من القماش حول رأسه وفتلها بعصا إلى أن بلّد انخفاض دوران الدم إحساسَه بالألم. وقد تطوَّرت دراسته الرائدة لظاهرة الاضطراب الكوكبيّ على مدى عقودٍ من الزمن، إلى أن اكتُشف الكوكب نبتون Neptune سنة 1846 بواسطة قوة جذبه التثاقلية على الكوكب أورانوس Uranus وهو أول جِرمٍ يُكتَشف بموجب حسابات رياضية فقط.

لم يكن نيوتن أقلَّ اهتماماً بعدم الانتظام الملحوظ لدوران القمر في مداره، وهي ظاهرة حيّرت الفلكيين لعدة قرون. ففي حين أن مدار القمر محكومٌ بجذب الأرض، إلا أنه يتأثر أيضاً بالكتلة الهائلة للشمس. وخلافاً

obeikandl.com

للاضطرابات التي تحدث لمدارات الكواكب، فإن التشويشات التي تحدث لمدار القمر أكثر تعدداً ووضوحاً. وأصبح نيوتن قادراً على تفسير معظمها اعتماداً على نظام معقد من الحسابات. وقد فعل الشيء نفسه فيما يتعلقّ بكوكب المشتري وأقماره التي كان قد اكتشفها غاليليو سنة 1609 أثناء رصده باستعمال مقرابه الذي صنعه بنفسه.

ومن جملة الاستنتاجات المهمة التي يضمّها كتاب المبادئ الأساسية تأكيد نيوتن أن الأرض والكواكب الأخرى هي أجرام مفلطحة oblate. أي إنها مسطحة شيئاً ما عند أقطابها ومنتفخة قليلاً عند خطوط استوائها، وهي بذلك تشبه إلى حدٍّ بعيد بالوناً ضُغط برفق براحتي اليدين. أما ما يتعلق بالأرض، فإن الانتفاخ الاستوائي يعني أن سطح الكوكب أعلى بعدة أميال عند الطوق المركزي منه عند القطبين الشمالي والجنوبي، وهو فرق طفيف فيما يبدو ولكنه حافل بالآثار الهامة.

وبرهن نيوتن في مكان آخر من المبادئ الأساسية أن الكرة التامة تؤثر في الأجسام الأخرى وكأن كتلتها متجمّعة في مركزها. أما الأجسام المفلطحة، كالأرض مثلاً، فليست كذلك. وهذا يعني أن كثافة الحقل التثاقلي للكواكب ليس نفسه تماماً في أي مكان. فالأرض تجذب القمر، والقمر بدوره يجذب الأرض، بقوة جذب ضعيفة إذا كانت بعيدة عن المركز، وأقوى ما يكون خطُّ الجذب عند الانتفاخ الاستوائي حيث تكون المادة أكثر تركيزاً.

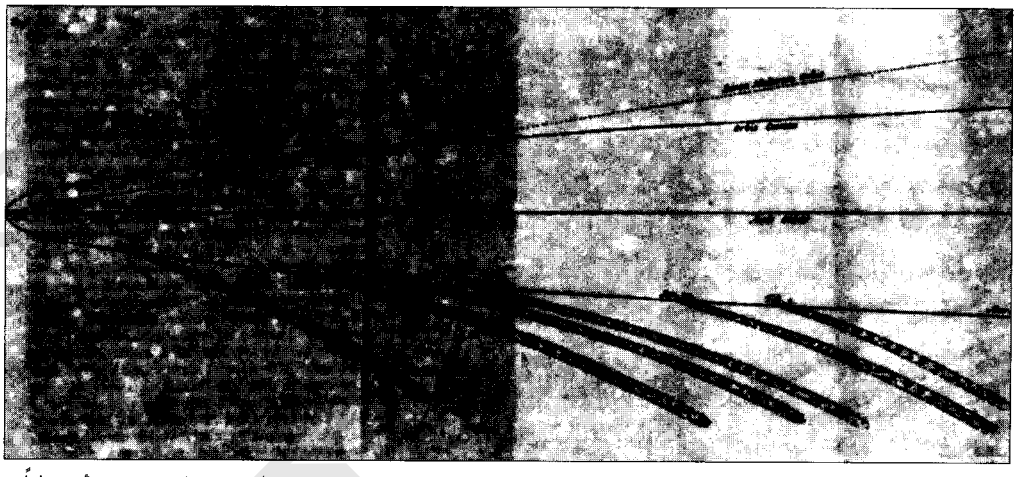
والواقع أننا نتعامل مع قمة عملاقة ذات حمل زائد طفيف في جانبٍ منها. وهذا يحمل محور الكوكب على تغيير زاوية دورانه ببطءٍ شديد، راسماً شكل مخروط في السماء. وقد أطلق الفلكيون على ذلك اسم «مبادرة الاعتداليين precession of the equinoxes». وكان أولَ من لاحظها هيبارخوس Hipparchus وهو فلكي إغريقي من القرن الثاني قبل الميلاد، ولكن تفسيرها استعصى على كبار العلماء، ومن بينهم كوبرنيكوس. وقد أخذ نيوتن على عاتقه حساب هذه الحركة المخروطية، التي عزاها بدقةٍ إلى قوى الجذب القمري البعيدة عن المركز قليلاً، فوجد أن ذلك يستغرق 26،000 سنة ليُكْمِل محورُ الأرض دورته المخروطية. وهكذا نجحت العبقرية مرة ثانية في تفسير ظواهر محيّرة، وفي حساب الإطار الزمني لحصولها، بعيداً كلّ البعد عن التفسير البسيط القائل بأن التفاحة تسقط على الأرض بسبب جذب الأرض لها.

كان لغزُ الارتفاع والانخفاض الدائمَيْن للبحار أكثرَ الألغاز التي حيّرت الفلكيين. فجاء إسحاق نيوتن فأزال هذه الحيرة بجرّة قلم فقال: «إن المدّ والجزر يَنشأان في البحر بفعل الشمس والقمر». وبتطبيق قانون الثقالة على هذه المسألة، وجد نيوتن أن قوة التجاذب على الماء المقابل للجسم الجاذب أكبر من قوة التجاذب على الأرض ككل، وأن قوة التجاذب على الأرض ككل أكبر من قوة التجاذب على الماء في الجانب المقابل. وبسبب قرب القمر من الأرض (يبعد القمر عن الأرض مسافة

obeikandl.com

240،000 ميل، في حين تبعد الشمس عن الأرض مسافة 93،000،000 ميل)، فإن قوة الجاذبية للقمر تسبب ارتفاعاً في المدّ. وإن أثره الرئيسي هو في توليد زوجٍ من الأمواج، أو التحدّبات البحرية، لمساحة هائلة لتجوب الأرض مرة في يوم قمري، أو في أقل من 25 ساعة بقليل. وتولِّد القوةُ الجاذبة للشمس زوجاً مماثلاً من الأمواج ولكنه أخفض يدور حول الأرض مرة في يومٍ شمسي مدته 24 ساعة. إن تأثير هذين الزوجين من الأمواج - اللذين يتخطّى أحدهما بالآخر دورياً - يتسبّب في حدوث المدّ والجزر. فالمدّ يصبح أعظمياً عندما تقع الشمس والقمر والأرض على استقامة واحدة لتبدي قوة جذبٍ تثاقلي أعظمية. وينشأ الجزر عندما يكون جذب الشمس والقمر في زاوية قائمة أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وفي الوقت الذي لم تكن فيه حسابات نيوتن دقيقةً دقّة كافية للتنبؤ بارتفاع المدّ على وجه الدقة في أي مكان من العالم، كان هناك تقدّم هائلٌ آخرُ في معرفته العلمية.

فعندما كان نيوتن شاباً كَتَبَ أنه كان يرصد المذنبات طوال الليل ليالي طويلة، وأنه أصبح عليلاً بسبب قلة الراحة. وحتى وقت قصير من ولادته، كان يُنظر إلى هؤلاء الزوّار الغامضين على أنهم ليسوا أكثر من زفرات متطايرة من الأرض إلى مناطق عليا في الجو. وفي حقبةٍ لاحقة كان يُعتقد بأن المذنبات هي أجسام سماوية مستقلة، ولكن لا أحد يستطيع تفسير حركاتها غير المنتظمة وهي تعبر سماء الليل.



استعمل نيوتن أرصاداً شاملة للمذنَّبات لاختبار نظرياته وتوكيدها.

ومن منطلق اعتقاده أن المذنبات تتألف من مادة صُلبة، استنتج أنها لا بدّ أن تكون خاضعة لقوى التثاقل كالكواكب. ومع ذلك فعندما طبّق المعطيات الرصدية التي جمعها الفلكي جون فلامستيد John Flamsteed ـ الذي كان خصامه معه لا يقلّ عن خصامه مع هوك – وجد أن حركات المذنبات أكثر تعقيداً من حركات الكواكب. وبالنتيجة شرع في البرهان على أنه إلى جانب المدارات الإهليلجية، فإن الأجرام السماوية يمكن أن تتحرك في مسارات راسمة منحنيات حادة أكثر مما كان يُتوقّع سابقاً. وما لبث أن أكَّد هذا الحدس بتقرير أن المذنَّبات تتحرك على شكل مقاطع مخروطية حول الشمس. ثم رسم هذا الفيلسوف الطبيعي المنحني لما سُمّي المذنَّب العظيم Great Comet سنة 1681.

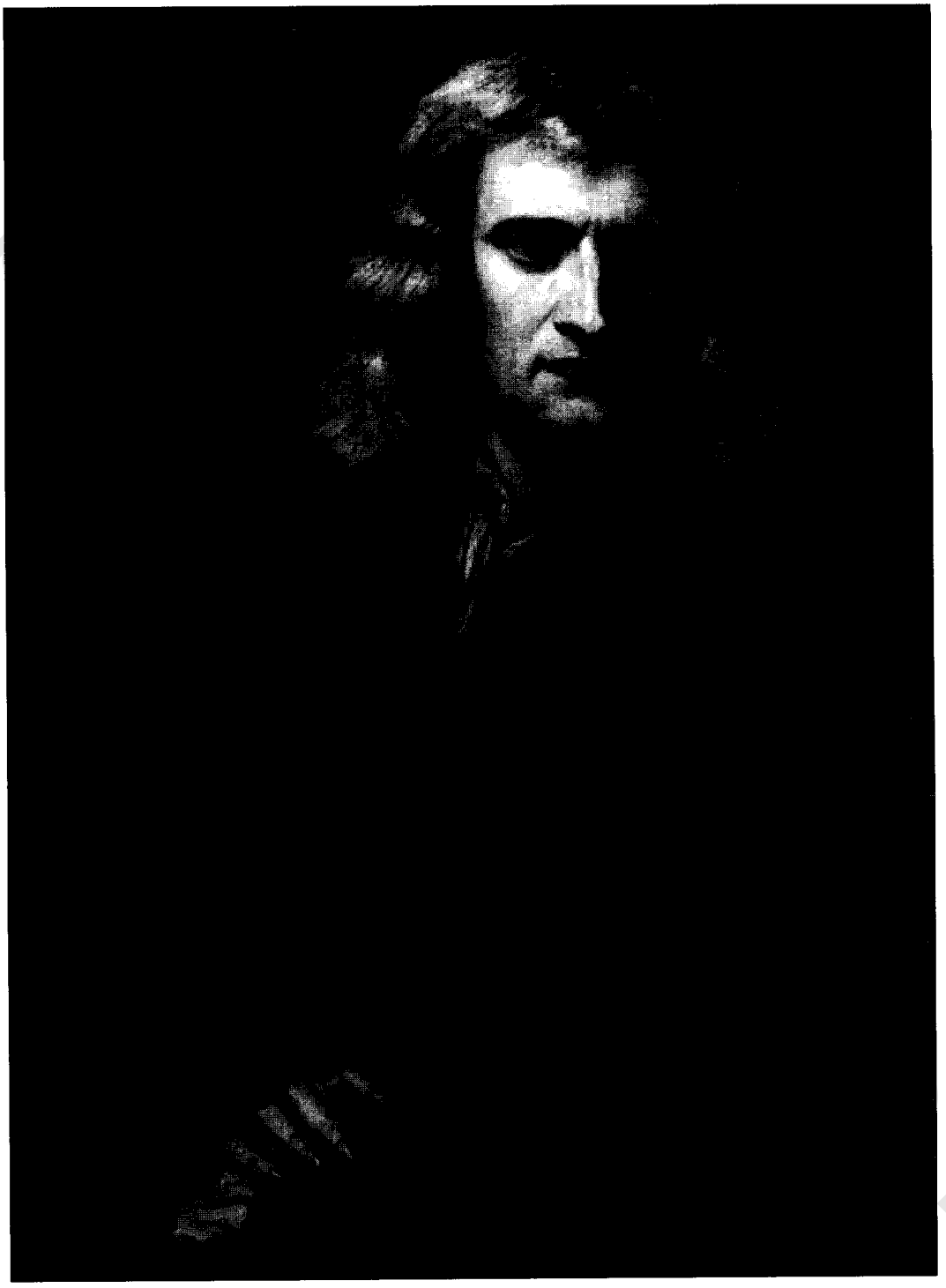
كان هالي مفتوناً بما قرأه في المبادئ الأساسية وبنظرية نيوتن عن المذنَّبات أيضاً. ووجّه هذا الفلكي

الموهوب عنايةً خاصة إلى مدارِ مذنَّبٍ متألقٍ آخر كان قد رصده عن كثب سنة 1682. ونتيجة بحثٍ جادّ في سجلاتٍ قديمة هامة لنيوتن نفسه، وجد أنه كانت هناك مشاهد مشابهة سنة 1607 و 1531 وفي كل 75 سنة تقريباً. فتساءل هالي في نفسه: ألا تدلّ هذه المشاهد على حركة دورية للجِرم نفسه؟ فَحَسَب المدار بافتراض أنه دوريّ، واستنتج أن سيعود سنة 1758، بزيادة سنة أو نقصها. إن هذا الجرم الجاري، الذي يَحمل الآن اسم هالي، كان قد رُصد أول مرة في عيد الميلاد سنة 1758 (في عيد ميلاد نيوتن السادس عشر بعد المئة) من قبل الفلكي الهاوي جورج بالتش George Palitsch. ثم شوهد مذنب هالي ثلاث مرات أخرى في أوقات منتظمة كانتظام عمل الساعة، فثبت بذلك اختزال نيوتن للغز كبير آخر إلى قانون رياضي.

وإذا عدنا إلى الوراء ونظرنا إلى عالَم نيوتن من بُعد، فما الذي نراه بالضبط؟ وفقاً للمبادئ الأساسية، فإننا ننظر على ما يبدو في فراغٍ لا نهاية له لا تشغل الأجرامُ المادّية إلاّ جزءاً صغيراً جداً منه، وهي تتحرك في هوّةٍ سحيقة لا حدود لها ولا قرار. وقد شبّه أتباع نيوتن ذلك بآلة عملاقة، تشبه إلى حدٍّ بعيد الساعات الموضوعة على واجهات أبنية القرون الوسطى. فجميع الحركات تُختَزل إلى قوانين ميكانيكية، ولا أثر فيها لأحاسيس الناس الواسعة. ومع أنها تفتقر إلى المشاعر، فإنها عالَمٌ من المبادئ الدقيقة والمتناسقة والمنطقية. فالقوانين الرياضية

تربط جسيمات المادة بعضها ببعض، لا فوضى فيها ولا اختلاط. وقد جمع إسحاق نيوتن الفيزياء والفلك في علم مستقل يعالج حركة المادة، وذلك بطرح قوة الثقالة في الفراغ، محققاً بذلك أحلام فيثاغورس Pythagoras وكوبرنيكوس وكبلر وغاليليو وآخرين كثيرين. ومع أن نيوتن كان غير قادرٍ على اكتشاف السبب الحقيقي لوجود قوة الثقالة نفسها - وهي ما تزال لغزاً كبيراً - فإن القوانين التي صاغها تعطي برهاناً مقنعاً بأننا نعيش في كونٍ يخضع لنظامٍ محدّد يمكن معرفة قوانينه.

obeikandl.com



أول لوحةٍ زيتيةٍ لنيوتن بريشة السير غودفري نيلر [1646 – 1723] أشهر رسّامي عصره، رَسَمها سنة 1689 عندما كان نيوتن في السادسة والأربعين.