الفصل

2

بروفسوراً في بادوا

جذبت جامعة بادوا الإيطالية الطلاب من جميع أنحاء أوروبة لكونها أفضل جامعة إيطالية، إذ كانت بيزا بدائية مقارنة بها. استمتع سكان بادوا بالحرية الفكرية رغم أنهم كانوا تحت حكم فينيسيا حيث تقع مدينتهم على مسافة 25 ميلا على الساحل الشرقي لرأس البحر الأدرياتيكي. بدأ غاليليو بالتعليم في جامعة بادوا شهر كانون الأول من عام 1592. ابتدأ في الثامنة والعشرين من عمره مرحلة من 18 عاما وصفها بأنها أفضل أيام حياته. وجد فيها زملاء يستحقون عقليته الدؤوبة وكوّن صداقات استمرت طول حياته مع أناس مهمين.

كان باولو ساربي Paolo Sarpi، عضوا مثقفا من مجموعة كهنة كاثوليك، وكانت الحكومة الفينيقية تستشيره

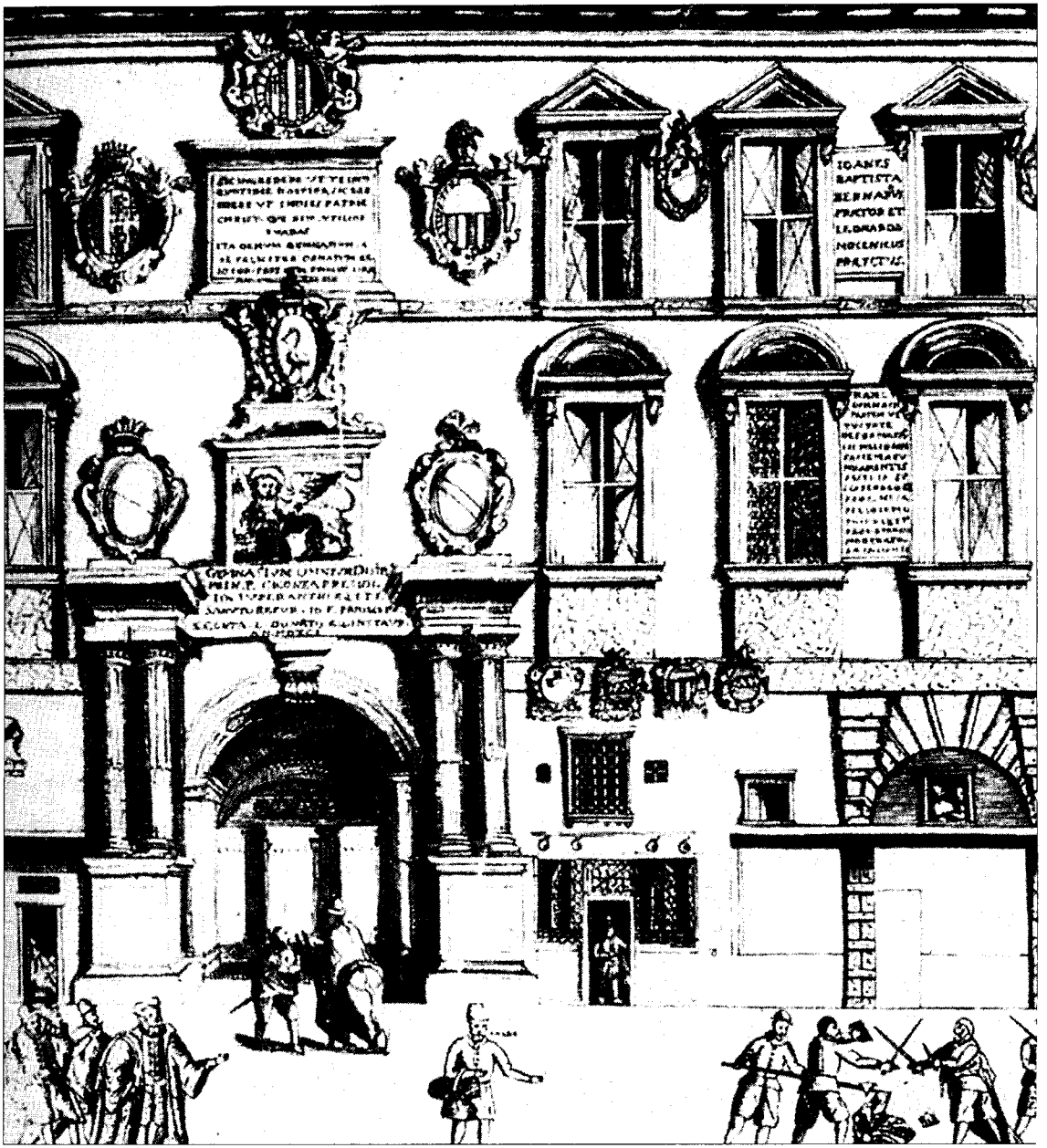
فيما يتعلق بالسياسة واللاهوت. وكان يجاهد كي يخرج فينيسيا من سلطة البابا. سرعان ما صادق غاليليو ساربي بعد قدومه إلى بادوا، وناقش الاثنان مرارا اكتشافات غاليليو العلمية.

درس الأرستقراطي الشاب غيوفانفرانشيسكو ساغريدو Giovanfrancesco Sagredo، مع غاليليو في بادوا، وبقيا على صلة وطيدة ببعضهما حتى توفي ساغريدو عام 1620. أبقى غاليليو ذكراه بعدئذ كشخصية في كتابيه العظيمين.

كما درس بينيديتّو كاستيللي Benedetto Castelli وهو عضو في المنظمة البينيديتية Benedictine order، درس مع غاليليو من عام 1604 حتى 1607. تعاونا لاحقا في فلورنس في بحوث علمية عدة.

وكان الفيلسوف المعروف سيزار كريمونيني Cesare Cremonini من زملاء غاليليو في الجامعة. وبالرغم من عدم ثقة غاليليو بالفلسفة، إلا أن الاثنين باتا صديقين حميمين وغالبا ما أقرضا بعضهما بعضا. ناصر كريمونيني بشدة جميع تعاليم أريستوتل، ولم يبالي بمراجعة عدة كنسيين لفرض الفلسفة لتتوافق مع التعاليم الإنجيلية. ادعى كريمونيني أن مهمته تنحصر في فهم ما كتبه أريستوتل، مما أوقعه في صعوبات مع الكنيسة التي أمرت بتحقيق روماني Roman Inquisition ضده، وهي محكمة تعنى بالحفاظ على نقاوة العقيدة المسيحية. أُعجب غاليليو بعقله الحر حتى وإن تعارضت أفكارهما بشدة.

كان غاليليو يدرس مادة الرياضيات في جامعة بادوا إضافة إلى أجزاء مبسطة من علم الأرصاد. كان هدف محاضراته تزويد الأطباء بالمهارات التي يحتاجونها في التنجيم. ينبغي على المنجم أن يحسب مواقع الكواكب بدقة في لحظة ولادة من ينجم له. من المفترض أن معرفة ما «تحويه» الكواكب



علّم غاليليو الرياضيات لمدة 18 عاما في جامعة بادوا والتي أنشئت عام 1238.

(الأبراج signs of zodiac) تحدد مسار حياة الإنسان. كان الأطباء آنذاك يظنون أنه من المفيد معرفة ما تنبئ النجوم عن حياة المرضى. فإذا وجد الطبيب أن النجوم تنبؤه بموت مريضه، يرتاح بعدها في معالجته لأنها ستكون غير مجدية على أي حال.

بات الفيلسوف سيزار كريمونيني صديقا حميما لغاليليو أثناء وجوده في بادوا.

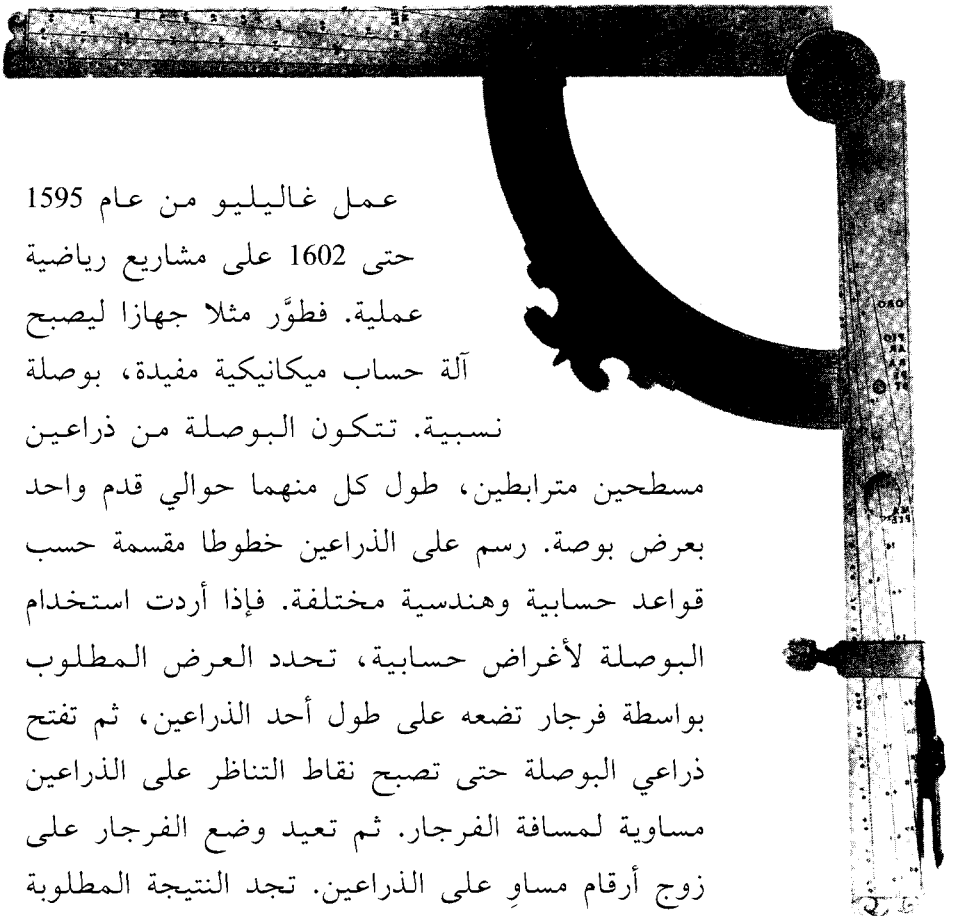
انحصر تعليم الرياضيات بالكتابين الخامس والثالث عشر من مواد يوكليد Euclids Elements. تضمنت بعض النظريات الأساسية على التالي: إن مجموع زوايا المثلث الداخلية تساوي مجموع زاويتين قائمتين. تتساوى مساحة المثلثات ذات القواعد والارتفاعات المتساوية، بغض النظر عن ميلانها. يساوي مربع الوتر (وهو ضلع المثلث المقابل للزاوية القائمة) في المثلث ذي الزاوية القائمة مجموع تربيع الضلعين الأخريين.

أما في الأرصاد فكان غاليليو يتنقل ما بين تدريس المجالات الكروية Sphere ليوهانيس ساكروبوسكو Johannes Sacrobosco (وهو جون John من الغابة المقدسة) إلى كتاب نظرية الكواكب Theory of the Planets لغيورغ بيرباخ Georg Peurbach. كان كتاب المجالات الكروية والذي كتب عام 1240 مقدمة بسيطة لأفكار

أريستوتل الكونية، وكان يصف العلاقات الهندسية بين مجالات الكواكب والنجوم السماوية. كما ناقش فيها كروية الأرض، وأعطى مبادئ حفظ الوقت واختلاف تقلبات الطقس على الأرض. وصف كتاب نظرية الكواكب وحركة الكواكب في السماء والأشكال الهندسية التي يمكن خلالها تنبؤ هذه التحركات.

كان غاليليو يتقاضى 180 فلورينا في بادوا، وأصبح 320 بعد تجديد عقده عام 1599، ومن ثم 520 فلورينا عام 1606. وكان يعتمد على معاشه لإعالة نفسه وعائلته في فلورنس. وكان ما يزال مدينا بألف فلورين من مهر أخته فيرجينيا. تزوجت أخته الصغرى ليفيا Livia من تاديو غاليتّي Tadeo Galetti عام 1601، فزاد مهرها من أعبائه. اقترض غاليليو 600 فلورينا كدفعة أولى واتفق مع غاليتّي على تسديد 200 فلورين سنويا لمدة خمس سنوات – أكثر من نصف دخله السنوي.

استأجر غاليليو منزلا كبيرا ليكسب دخلا إضافيا، حيث أسكن لديه طلبة ليعطيهم دروسا خصوصية. تعدت طموحات هؤلاء الارستقراطيين لأبعد من دراساتهم الأكاديمية. فسرعان ما يعودون لمنازلهم لإدارة أملاكهم. لقنهم غاليليو موادا رياضية عملية مثل إدارة وسبل تنمية أملاكهم. استطاع في السنوات الجيدة أن ينمي دخله ليصبح حوالي 1000 فلورين.



استخدم غاليليو بوصلته الهندسية العسكرية لتقدير الزوايا والعمليات الحسابية.

عمل غاليليو من عام 1595 حتى 1602 على مشاريع رياضية عملية. فطوَّر مثلا جهازا ليصبح آلة حساب ميكانيكية مفيدة، بوصلة نسبية. تتكون البوصلة من ذراعين مسطحين مترابطين، طول كل منهما حوالي قدم واحد بعرض بوصة. رسم على الذراعين خطوطا مقسمة حسب قواعد حسابية وهندسية مختلفة. فإذا أردت استخدام البوصلة لأغراض حسابية، تحدد العرض المطلوب بواسطة فرجار تضعه على طول أحد الذراعين، ثم تفتح ذراعي البوصلة حتى تصبح نقاط التناظر على الذراعين مساوية لمسافة الفرجار. ثم تعيد وضع الفرجار على زوج أرقام مساوٍ على الذراعين. تجد النتيجة المطلوبة على مستوى الفرجار. وإذا وضعت منحنى بزاوية 90 درجة بين الذراعين، يتحول الجهاز إلى أداة رسم زوايا قائمة. وتفيد تدرجات المنحنى لاستخدامها لقياس درجات الزوايا.

استأجر غاليليو حرفيا اسمه ماركأنتونيو مازّوليني Marcoantonio Mazzoleni لبناء البوصلة لبيعها فيما بعد، الذي صنع بوصلة واحدة شهريا على مر عشر سنوات. لم

تكن هذه الأجهزة بالمربحة بحد ذاتها، بل إن دخل غاليليو منها كان من تعليمه لمن اشتراها كيفية استخدامها. أصدر بعدها كتيبا لاستخدامها وصف فيه أكثر من 30 طريقة حساب.

كما أصدر غاليليو بحثا مختصرا عن الآلات الميكانيكية وقام بتدريسها في الجامعة. بيَّن في هذه أن الآلات تساعد في رفع الأوزان الثقيلة بجهد أقل مما يتطلبه رفعها مباشرة. كانت الآلات الستة الكلاسيكية عبارة عن الرافعة والبكرة والسطح المائل والوتد والبرغي والعجلة مع المحور. (تسمى أيضا رافعة windlass، أو رحى capstan، أو ساعد crank). كان هناك عدة بحوث كُتبت قبل غاليليو، وساهم في إحداها راعيه غيدوبالدو ديل مونتي. استخدم غاليليو مهاراته لجمع وظائف جميع هذه الآلات الستة في مبدأ وحيد مبسط.

تخيل مثالا مألوفا حيث تجلس آنا Anna ووزنها 50 رطلا على حافة أرجوحة seesaw بينما يجلس أخوها برونو Bruno ووزنه 150 رطلاً على حافتها الأخرى. تستطيع آنا موازنة الأرجوحة إذا جلست على مسافة 6 أقدام من المركز بينما يجلس برونو على مسافة قدمين فقط منه. يوضح غاليليو أنه إذا أرادت آنا رفع أخيها لقدم واحد، فعليها أن تهبط ثلاثة أقدام. فوزنها الأقل يمكن أن يحرك مستوى أخيها ولكنها يجب أن تتحرك بثلاثة أضعاف المسافة التي تود تحريكها لأخيها. يشرح غاليليو

واقعة مشابهة (ويفترض أن آنا تستطيع فعلا رفع نفسها):

يستفاد من طول الرافعة في إمكانية تحريك وزن ثقيل (برونو) بأجزاء (50 رطلاً لكل منها) بالقوة ذاتها وبالوقت ذاته، وبتحرّكات متساوية (قدم واحد)، ولولا ذلك لما استفدنا من الرافعة.

أوضح غاليليو بعد ذلك أن عمل جميع الآلات الأخرى مبني على نفس القاعدة. فاختزل كل من الآلات الباقية إلى نماذج مختلفة من الروافع.

راجع غاليليو بحثه عن الروافع عدة مرات ووزّع كثيرا من نشراتها. ظهرت مطبوعة ولأول مرة عام 1934 بالفرنسية بعد أن قام بنشرها القسيس ماران ميرسين Marin Mersenne تحت عنوان ميكانيكية غاليليو، مهندس ورياضي دوق فلونس The Mechanics of Galileo, Mathematician and Engineer of the Duke of Florence.

وجد غاليليو نفسه قادرا على ممارسة حياته الاجتماعية أكثر من ذي قبل بعد أن استقرت نوعا ما أموره المالية. كثيرا ما كان يزور مدينة فينيسيا الأسطورية الغنية بقصورها الرائعة على ضفاف القناة العظيمة Grand Canal المكتظة بالمغنين على الجندول. واجتمع هناك بامرأة فينيسية اسمها مارينا غامبا Marina Gamba ووقع في غرامها. ورغم أنهما لم يتزوجا قط، إلا أنه أنجب منها ثلاثة أطفال هم فيرجينيا Verginia المولودة في شهر آب 1600، وليفيا

Livia المولودة في آب عام 1601، وفيشينزيو الذي ولد في آب عام 1606. انتقلت مارينا إلى بادوا لرعاية عائلتها إلا أن غاليليو أبقاها في منزل صغير مستقل غير منزله الآخر الذي يقيم فيه طلبته.

كوّن غاليليو في إحدى زياراته الأولى إلى فينيسيا تفسيرا في مخيلته عن ظاهرة المدّ في المحيطات. لاحظ أثناء مراقبته لبارجة تحمل ماءً إلى فينيسا، كيف ترتطم المياه على جوانب البارجة حين تغير من سرعتها. فتخيل طريقة جريان ماء البحر وكأنه يشبه الماء المرتطم والمتصاعد على جوانب السفينة. كثيرا ما كان يعجب لضخامة هجم المد في ساحل فينيسيا الذي كان أكبر بكثير من أي مد رآه في سواحل بيزا أو أي مكان آخر في إيطاليا.

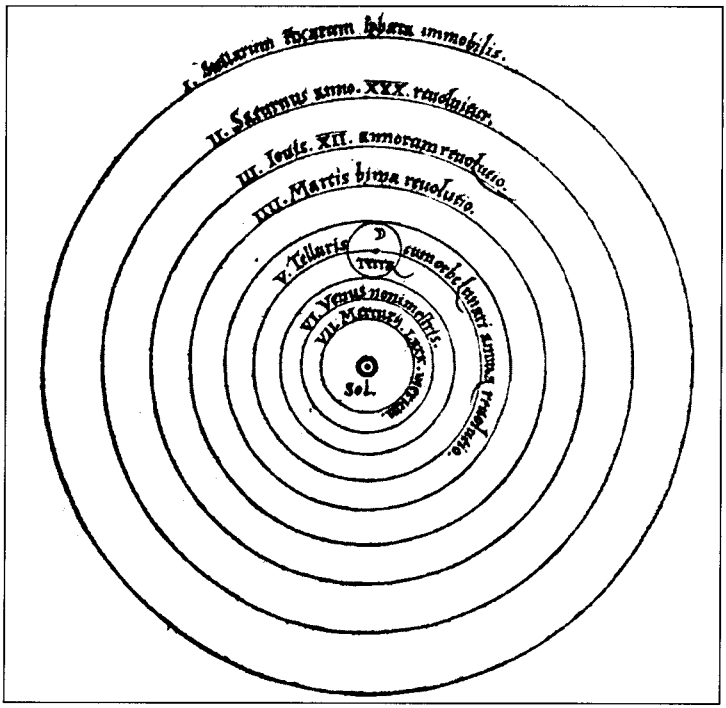
قرر غاليليو أن ظاهرة المد قد تكون نتيجة لاهتزازات الأرض، والتي قد تكون هي بدورها نتيجة لحركة الأرض حول محورها وحول الشمس - لو صحت نظرية عالم الفضاء البولندي نيكولاوس كوبرنيكوس Nicholaus Copernicus.

نشر كوبرنيكوس نظريته في عام 1543 راغبا في أن تحل نظريته محل نموذج بطليموس Ptolemy عن الكواكب والمبنية على رؤى أريستوتل الكونية: الأرض هي المركز بينما يدور القمر والشمس وخمس كواكب أخرى حول

محيطها. لكن كوبرنيكوس اعتبر الأرض كوكبا آخرا ووضعها بين كوكبي الزهرة والمريخ، إذ تدور مع البقية حول الشمس، ولا يدور حول الأرض سوى القمر. تنبأ النموذجين بمواقع الكواكب بذات الدقة تقريبا. لكن نموذج بطليموس بدا أقرب للمنطق، إذ لا نحس بدوران الأرض وحركتها. كان كتاب نظرية الكواكب Theory of the Planets والذي كان غاليليو يدرّسه، كان مبنيا على نموذج بطليموس.

كان غاليليو ولغاية عام 1595 على دراية بنظرية كوبرنيكوس ولو لم يرعِ لها انتباهه. لكنه بدأ يعتبر الآن أن حركة الأرض اليومية والسنوية يسببان معا تغيرات على سرعة حركة الأرض في السماء، وربما هزّ هذا الأرض بالقدر الكافي ليسبب تضارب مياه المحيط على البارجة الفينيقية. لم يرعِ غاليليو لهذا انتباها كثيرا ولكن كان لنظريته التي أتى بها بعد سنوات عن ظاهرة المد، أثرا كبيرا عليه.

عاد غاليليو في صيف عام 1602 لدراسة أمور الحركة التي هجرها لما كان في بيزا. لم تهمه حتى ذلك الحين فكرة أن الأجسام المتساقطة تتسارع مع سقوطها، بل اتجه الآن لإجراء تجارب عملية حول الحركة. لدينا فكرة عن أعماله هذه من رسالته التي كتبها لغيدوبالدو ديل مونتي في شهر تشرين الثاني من عام 1602، أما الباقي فيأتينا من التحليل المتمعن لأعمال غاليليو والذي قام به البروفسور



تحدى عالم الفضاء البولندي نيكولاوس كوبرنيكوس الاعتقاد السائد أن الأرض هي مركز الكون، بأن جعل الشمس المركز بينما تدور الأرض وباقي الكواكب من حولها.

ستيلمان دريك Professor Stillman Drake منذ عام 1972 وحتى 1988.

اعتمد غاليليو في أبحاثه حول الحركة على نفس المنهج الذي اتبعه علماء الفضاء لألفي عام.

فقد ابتكروا نماذج للسماوات ثم عدلوا في تلك النماذج للتماشى مع مشاهداتهم. بينما كان أسلوب غاليليو أن يبتكر نموذجا رياضيا لحركة الأشياء والذي يعطي ذات قيَم المسافات والأزمنة التي يمكنه قياسها، لم يتبنى أحد البتة قبله هذا الأسلوب اللهم إلا علماء الفلك. ولهذا نطلق عليه لقب «الفيزيائي الأول».

بالرغم من أن غاليليو أراد أن يفسر السقوط العمودي

تفسير غاليليو لظاهرة المد

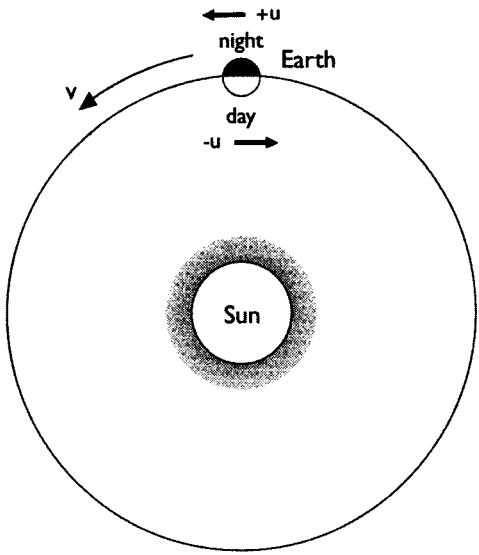
حاول غاليليو تفسير ظاهرة المد بدمج تحركات الأرض اليومية والسنوية، ويكون أثرها ضئيلا جدا لو كانت هذه الظاهرة التي يقترحها موجودة حقا. يعتمد التعليل المقبول لهذه الظاهرة على اختلاف قوة جاذبية القمر والشمس لماء الأرض في البحار عن أجسامها الصلبة. يجب على هذا التعليل أن ينتظر حتى نهاية القرن السابع عشر لحين ظهور أعمال آيزاك نيوتن Isaac Newton.

ما كان يميز أفكار غاليليو أنها لم تعتمد على وجود قوى غامضة في القمر تدفع مياه المحيطات، بل أراد إيجاد تبرير ميكانيكي لها.

إليكم تفسيرا مفصلا لفكرة غاليليو الأولى، كما وجدت في الفقرات الأربعة بمذكرة باولو ساربي Paolo Sarpi عام 1595.

تتحرك الأرض في دورانها بدرجة واحدة يوميا عن مركزها، 30 جزءا من الدرجة في نصف اليوم (حيث أن الدرجة الواحدة مقسمة لـ 60 جزءا). وحيث أن قطر الأرض يساوي حوالي 6 أجزاء من الدرجة من مجالها حول الشمس، تتقدم إذن نقطة ما في ليلها بحوالي 20٪ أكثر من تلك الـ 30 جزء، بينما تتأخر نقطة أخرى في نهارها بذات الـ20٪. فتتحرك إذن كل نقطة على الأرض بسرعة كبيرة أحيانا، وأحيانا متوسطة، وأحيانا ببطء، وذلك بالنسبة للنجوم.

يظل الماء في حوض محمول متأخرا مع بداية الحركة ويرتفع في مؤخرته لأن الحركة لم تصله بعد كليا. ولما يتوقف الحوض عن الحركة، يستمر الماء بالحركة والتصاعد في مقدمته. إن البحار هي تماما كماء موجود في أوعية. وبسبب تحركات الأرض اليومية والسنوية مجتمعة، تتحرك هذه الأحواض بسرعة في البداية ثم تتباطأ.



استنادا لغاليليو، فإن حركتي الأرض اليومية والسنوية تسببان ظاهرة مد المحيطات. يمثل الرمز v في الرسم أعلاه سرعة دوران الأرض حول الشمس، بينما يمثل الرمز u سرعة دوران الأرض حول محورها.

فيقع البحر الكبير الذي هو أكبر من ربع محيط الأرض، مرة على جانب الأرض سريع الحركة، وأخرى على جانبها البطيء.

لهذا لا نرى مدودا في البحيرات والبحار الصغيرة لأن ذبذبة السرعات فيها ضئيلة جدا. بينما تختلف آثارها في البحار العظيمة على حسب موقع تلك البحار وإذا كانت على طول أو متعامدة مع تغيرات حركة الأرض.

تنقسم ظاهرة المد في البحار إلى قسمين. الأول عندما يتراجع الماء ويرتفع من الخلف لما تتسارع الأرض (الجزر)، والآخر (وهو المد) لما يتقدم الماء ويرتفع من الأمام، ويتبع العمليتان خصوصية الماء الطبيعية في التوازن. لهذا يتذبذب الماء في البحار متقدما تارة ومتأخرا تارة أخرى بسرعة تعتمد على حجم الحوض.

إلا أن تجاربه لم تبتدئ من هذا المنطلق. يحدث السقوط عندما يفقد جسم ما محمول ما كان يحمله. وحيث أن السقوط يحدث بسرعة، بحث غاليليو عن طرق «لإذابة» هذا السقوط بأن يجعله أكثر بطأً. فوجد حركتين يمكن اعتبارهما أن لديهما عنصر السقوط الحر.

تحدث حركة السقوط في كلتا الحالتين عندما يفقد الجسم ما كان يحمله أو يرتكز عليه. الحالة الأولى عبارة عن كرة ممسوكة من أعلى سطح مائل، فلن تتدحرج الكرة إلا بعد أن تُترك. أما الحالة الثانية فهي عبارة عن كرة مربوطة بحبل (بندول) تتراقص يمنة ويسرة بعد جذبها من جهة وتركها.

إن نتائج تجارب غاليليو على السطح المائل والبندول موضحة سابقاً. اكتشف غاليليو من هذه التجارب علاقات رقمية منتظمة ومهمة. فقد وجد أن المسافة التي تقطعها الكرة المتدحرجة من سطح مائل تتناسب طرديا مع مربع الزمن الذي تقطعه من نقطة البداية. فإذا كانت المسافة 4 سنتيمترات في 0.2 ثانية، تقطع الكرة إذن 25 سنتيمترا في 0.5 ثانية. فالعلاقة هي:

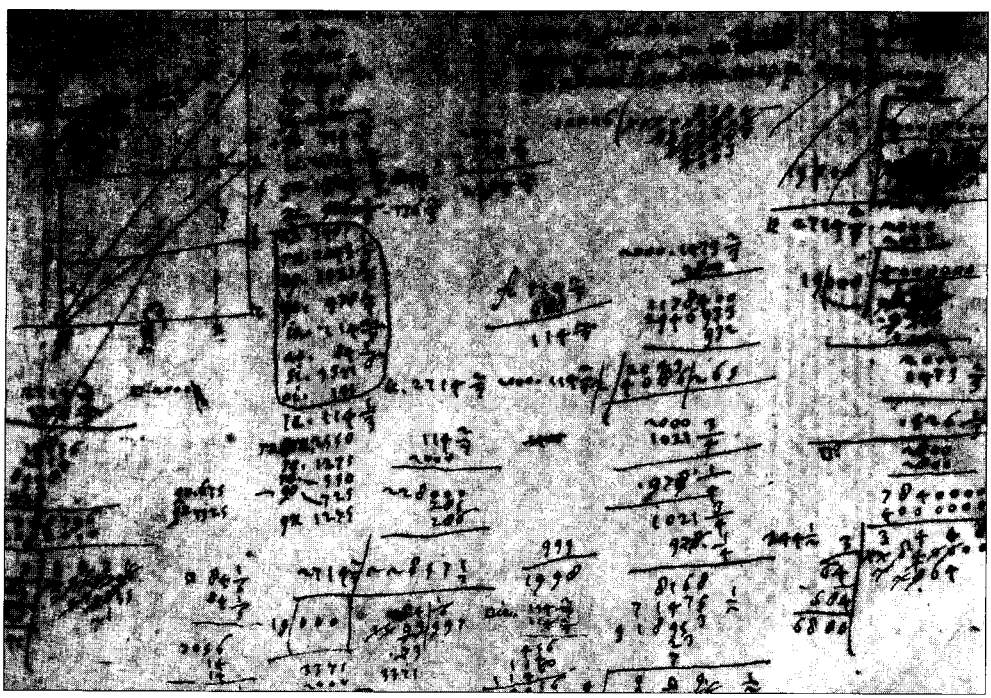
$$\frac{25cm}{4cm} = \frac{(0.5s)^2}{(0.2s)^2} = \frac{25}{4}$$

أما في البندول، فقد وجد غاليليو أن التي بحبال طويلة تتأرجح بسرعة أقل من ذات الحبال الأقصر. وقاسَ المدة بواسطة وزن الماء المتدفق من أنبوب دقيق في

أسفل وعاء مع حركة البندول، وهذه ساعة مائية دقيقة رغم كونها بدائية المظهر. استطاع وبقياسات دقيقة أن يظهر أن الوقت اللازم لإكمال أرجوحة واحدة متناسب طرديا مع جذر طول البندول التربيعي. فبندول بطول متر واحد يتأرجح يمنة ويسرة في ثانيتين، بينما يتأرجح بندول بطول نصف متر في 1.41 ثانية $(\sqrt{2} = 1.4142)$.

كما استخدم غاليليو ساعته المائية لقياس عدة تساقطات عمودية. لكنه بدلا من قيامه بعدد كبير من هذه التجارب، اكتفى بمقارنة أزمنة السقوط بأرجحة البندول حينما يكون طول البندول مساويا لمسافة السقوط، فوجد من خلال تجاربه العديدة علاقة رياضية بين زمن السقوط

صفحة من ملاحظات غاليليو الحسابية حول الحركة.



وزمن الأرجحة. فبنى بعد ذلك علاقة زمنية - مربعة دقيقة للبندول. ولما تأكد من دقة علاقة البندول هذه، نقل هذه العلاقة الأكيدة إلى أزمنة التساقط.

قرر غاليليو من هذه النتائج أن مسافة السقوط من السكون تتزايد بمربع الزمن. وهذا يعني أن سرعة الجسم الساقط تزيد مع الزمن وخلال تساقطه أي أن هناك تسارعا. ولكنه أراد أن يجزم بكيفية تسارع الجسم أثناء سقوطه، مما تتطلب منه عملا مجهدا لأربع سنين من الدراسات والبحث.

استنتج غاليليو من أن قانون السرعة يتزايد مع المسافة، ما كان يُستنتج في كيفية زيادة المسافة مع السرعة. كتب في شهر تشرين الأول لعام 1604 رسالة إلى باولو ساربي مفادها أنه إذا كانت السرعة تتزايد نسبة لمسافة التساقط، يمكننا القول إذن أن السرعة تتزايد بنسبة تعادل مربع الزمن. استخدم غاليليو في استنتاجه هذا منطقا مغالطا رغم أن نتائجه وافقت التجارب العملية، وصحح خطأه عام 1608. فأوضح أنه إذا كانت السرعة تتزايد طرديا مع الزمن، إذن تتزايد المسافة المقطوعة بنسبة مربع الزمن. وهذه هي القاعدة نفسها التي يستخدمها الفيزيائيون والمهندسون ليومنا هذا.

كما أوضح غاليليو في عام 1608 أن خط سير قذيفة ما يتبع منحنى معروفا باسم بارابولا parabola (القطع المكافئ). فاستطاع بهذا أن يتنبأ بمدى أو مجال رمي

المدافع، بناءً على كمية البارود المستخدمة وزاوية ارتفاع اسطوانة المدفع.

انقطع عمل غاليليو حول الحركة في شهر تشرين الأول من عام 1604. ففي الخامس عشر من هذا الشهر لاحظ بعض الناس نجم مضيء جديد في السماء. وحسب أريستوتل، فإن كمال خلق السماوات لا يسمح بأي تغيير، خصوصا ظهور نجوم جديدة. حاول فلاسفة بادوا الجدل أن هذا النجم الجديد هو أقرب للأرض من القمر، لذا فإنه لا يُعدّ أنه في السماوات. استشار الناس غاليليو في أمر النجم وتلقى تقارير من عدة مدن أوروبية أوضحت قطعيا أن هذا النجم أبعد بكثير من القمر. أوجد غاليليو مسافة بعد هذا النجم باستخدام مبدأ المنظور parallax، وهو مبدأ يعتمد على التغير الملاحظ لموقع شيء ما قريب مقارنة بشيء أبعد منه.

فلما تتمشى في طريق ناظرا إلى أبقار ترعى في حقل، فإن مواقع هذه الأبقار تبدو وكأنها تتغير نسبة للأشجار من خلفها. فيكون للبقرة القريبة منظورا أكبر من تلك الأبعد. يستخدم المنظور في علم الأرصاد لمعرفة مسافات الكواكب أو النجوم القريبة. ففي هذه الحالة، تأخذ مجموعة النجوم المتألقة مكان تكتل الأشجار، وبدلا من المشي قليلا على الطريق، يجب عليك أخذ نقطتين بعيدتين عن الأرض.

تبعد بادوا حوالي ألف ميل عن مدينة ستوكهولم

Stockholm. يمكن أن يُرى طرف القمر في بادوا وكأنه قريب من نجوم مجموعة الثريا Pleiades، بينما يبدو طرف القمر في ستوكهولم وكأنه متزحزح قليلا عن هذا النجم وأقرب إلى أحد جيرانه. فيبدو القمر وكأنه يتزحزح حوالي 0,23 درجة من مدينة إلى أخرى نسبة للخلفية المنظورة من النجوم، مما يجعل مسافة القمر عن الأرض حوالى 250,000 ميلا. إذ أن زاوية المثلث النحيل الحادة تساوي 0,23 درجة إذا كانت قاعدته من 1000 ميل وارتفاعه يساوي 250,000 ميلا.

علم غاليليو من التقارير التي تلقاها أن تغيّر مكان النجم الجديد المنظوري هو أقل بكثير منه للقمر، مما يجعله أبعد كثيرا من القمر. بل إنه لم يستطع تقدير منظور النجم الجديد مما يجعله ضمن باقي النجوم في الواقع.

أزعج هذا الفلاسفة الأريستوتليين إذ كان إيمانهم راسخا بكمال السماوات، فلا يمكن لنجم جديد أن يظهر ويغيرها. سأل الفيلسوف كريمونيني Cremonini صديقه غاليليو أن يشرح له ماهية المنظور لأنه «سيكتب ناقدا إياها» كما أخبره. فسخر به غاليليو لأنه يريد الكتابة في شيء لا يفقهه.

كتب فيلسوف آخر من فلورنس واسمه لودوفيكو ديللي كولومبي Ludovico delle Colombe كتابا يدافع فيه عن كمال السماوات. ورأى أن هذا النجم هو فعلا من ضمن نجوم السماوات لكنه بقي مختفيا حتى أظهرته للعيان عدسة سماوية تتحرك في السماء.

هاجم غاليليو باشمئزاز محاولة كولومبي للدفاع عن أريستوتل، وهزئ بتلك العدسة السماوية الكبيرة التي يتخيلها. نشر غاليليو هجومه هذا تحت قلم موري Mauri، فلم يستطع كولومبى الجزم أن غاليليو هو الكاتب إلا أنه شك كثيرا في ذلك. كما أهان غاليليو كولومبى بإطلاق لقب السنيور كولومبي Signor Colombe عليه، والذي يعني «السيد الحمامة Mr. Pigeon» بينما يعني لقب ديلي كولومبي delle Colombe «أنه من عائلة اليمامة Doves». ظل كولومبي طوال حياته متمسكا بآراء أريستوتل ضد غاليليو.

كانت أعباء غاليليو المالية كثيرة لدرجة أنه كان دائما يشعر بنقصان المادة بين يديه. جددت الجامعة عقده معها مرتين، مع زيادة مجزية في كل منها. لكن كان على غاليليو في كل مرة أن يطلب من أصدقائه ذوي النفوذ إقناع إدارة الجامعة بقيمته، وطالما قلق من عدم تجديد عقده. شعر غاليليو في خضم المناقشات حول هذا النجم الجديد أن أعداءه سيستخدمون هذه الحادثة للنيل منه وإقصائه عن الجامعة.

بدا طبيعيا أن يبدأ غاليليو بالبحث عن فرص أخرى، وكانت إحدى أساليبه أن يهدي ما كتبه لمن يتوقع أن يصبح صاحب عمله. فأهدى كتابه الذي انتقض فيه كولومبي لخازن البابا. يمكن لغاليليو أن يخبر الخازن أنه موري دون أن يدع رؤساءه الفينيقيين من معرفة أنه يبحث

السرعة والمسافة في السقوط

قرر غاليليو بقياساته وحساباته أن مسافة سقوط جسم ما من وضع السكون تتزايد مع مربع زمن السقوط، لكنه أراد أن يفسر كيفية تزايد السرعة أثناء السقوط. فاجتهد في نظرية حساب التسارع حيث أنه لم يكن بإمكانه قياس السرعة. لكنه ظل متشككا لبعض الوقت فيما إذا كانت السرعة تتزايد بانتظام مع المسافة أم الزمن.

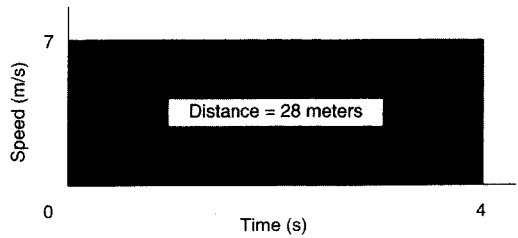
كانت معضلة غاليليو تكمن في إيجاد قانون لطريقة تسارع جسم ما أثناء سقوطه، فاعتمد على الاستنتاج الرياضي في حساباته لأنه لم يكن بإمكانه قياس السرعة مباشرة. بدأ بافتراض قانون للسرعة يحسب فيه ما هي المسافة التي ينتجها قانونه هذا. يمكنه عندئذ مقارنة المسافة التي توصل إليها حسابيا مع المسافة الحقيقية التي يمكنه قياسها.

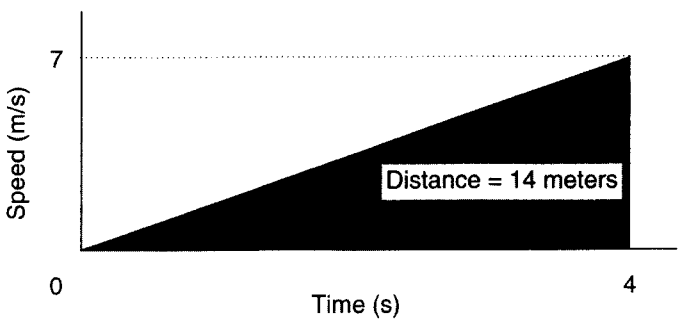
ظل غاليليو لوهلة يظن أن التسارع يتناسب طرديا مع مسافة السقوط. لم يكن هذا صحيحا. فجرب لاحقا قانونا جديدا - أن السرعة تتزايد طرديا مع الزمن. فلو كان هذا صحيحا، كيف يمكنه إذن الحصول على المسافة التي ينتجها هذا القانون؟

تخيل الرسم المقابل، فهو يمثل جسما يتحرك بسرعة ثابتة وهي 7 أمتار في الثانية ولمدة 4 ثوان. تكون المسافة المقطوعة:

$$7\frac{m}{s} \times 4s = 28m$$

نحصل على قيمة المسافة بحاصل ضرب السرعة مع الزمن. فإذا مثلنا هذه القيم بطول وعرض لمستطيل، تكون مساحته حاصل ضربهما ببعض. يمكننا القول أن المساحة في رسم بياني للسرعة مع الزمن هي المسافة المقطوعة.





يمثل الرسم البيني أعلاه جسما تتزايد سرعته بانتظام من 0 إلى 7 أمتار في الثانية لمدة 4 ثوان. فإذا كانت المساحة المظللة تمثل المسافة المقطوعة فهي 14 مترا - نصف مساحة المثال الأول فقط.

نستطيع باستخدام الرموز الجبرية أن نرمز لنسبة السرعة بـ ن، وللزمن بـ ز، وللمسافة بـ م، إذن،

1. س = ث ز

2. م = 1/2 ن ز

3. م = 1/2 ث ز2

حيث ترمز ث إلى القيمة اللازمة لضربها بالزمن للحصول على السرعة، وتكون قيمتها في مثالنا هذا تساوي 4/ 7 م/ ث2. تساوي قيمة ث فيما لو كان السقوط قريبا من سطح الأرض لتسارع الجاذبية ج، حيث ج = 9,8 م/ ث2.

تشير نتيجة المعادلة (3) وهي عبارة عن دمج المعادلتين (1) و (2) أن المسافة تتزايد طرديا مع مربع الزمن، وهذه هي النتيجة التي وجدها غاليليو في تجاربه العملية. تعتمد الرسوم البيانية الموضحة هنا على وصف غاليليو لتسارع الحركة في كتابه العلوم الجديدة .(1638) The New Sciences

عن عمل. نشر في عام 1606 كتيبا عن بوصلته النسبية وأهداه للأمير كوزيمو دي ميديتشي Prince Cosimo de Medici (وعمره 16 عاما) الذي كان يعيش في فلورنس.

وبدأ غاليليو قضاء صيفه في فلورنس ليعطي كوزيمو الشاب دروسا خصوصية في الرياضيات وذلك رغبة منه في تحسين موارده. ورغم عدم تقاضيه أجرا لقاء ذلك سوى تكاليف معيشته، إلا أنه استخدام هذه الصيفيات لتعزيز مركزه في البلاط التوسكاني Tuscan court.

دعته الدوقة الكبيرة كريستينا Christina لحضور حفلة زفاف كوزيمو عام 1608، ثم كتبت إليه في نهاية السنة تسأله أن يقرأ لها طالع زوجها المريض فرديناند الأول Ferdinand I. أجابها في 16 كانون الأول من عام 1609 متنبئا له بعمر مديد. توفي فرديناند بعد 22 يوما وخلفه تلميذ غاليليو الشاب كوزيمو الثاني Cosimo II. لم تحمل الدوقة أية ضغينة على غاليليو فيما يبدو لتنبؤه الخاطئ، وأصبح لديه الآن، حيث أن تلميذه بات الدوق الكبير، أملا للحصول على عمل في فلورنس ثانية. أتته فرصته فيما لا يخطر على بال.

SIDEREVS, NVNCIVS

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA Spectacula pandens, ſuſpiciendaq; proponens vnicuiq;, præſertim vero

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ

GALILEO GALILEO PATRITIO FLORENTINO

Patauini Gymnaſii Publiço Mathematico

PERSPICILLI

Nuper a ſe reperti beneficio ſunt obſeruata in LVNÆ FACIE, FIXIS INNVMERIS, LACTEO CIRCVLO STELLIS NEBVLOSIS,

Apprime vero in

QVATVOR PLANETIS

Circa IOVIS Stellam diſparibus interuallis, atq; periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vſq; diem cognitos, nouiſſime Auctor deprehendit primus; atque

MEDICEA SIDERA

NVNCVPANDOS DECREVIT.

M. D C. X

Proſtat Francof. in Paltheniano.

كانت مجلة غاليليو مشهورة وأن جميع نسخ طبعتها الأولى من 550 نسخة، نفدت في خلال أسبوع من تاريخ طباعتها في فينيسيا عام 1610. أعيدت طباعتها في فرانكفورت في السنة ذاتها (موضحة أعلاه) وساعد ذلك في تلبية الطلب الدائم عليها.