

الباب الأول

... ولا غرو، فإننا حتى اليوم، حين بتنا ننظر إلى الديناميكيات النيوتنية بمثابة جزء من اللوحة الأعرض التي رسمتها نسبية أينشتاين، فإن معظمنا ما يزال مستمراً بالتفكير في الإطار النيوتني، وما تزال قوانين نيوتن تفي بغرض إرشاد رواد الفضاء إلى الطريق نحو القمر والكواكب (وهذا ما عبر عنه رجل الفضاء بل أندروز حين قال: لعل نيوتن يتولى معظم عملية القيادة الآن، وذلك جواباً لسؤال ابنه عن كان يقود سفينة الفضاء أبولو التي كانت تقل أباه إلى القمر).

تمثي، فرس، بلوغ سن الرشد في المجرة، عمان:مركز الكتب الأردني، 1990: ص 208.

تطور الميكانيكا النظرية

يُعتبر تحديد بداية نشوء علم الميكانيكا من الأمور المثيرة للجدل حتى يومنا هذا. لكن الاحتمال الأقوى أن أولى المحاولات حدثت في القرن الرابع قبل الميلاد في أثينا، حيث يُذكر أن الإغريقي أرسطو طاليس Aristotle، 384-322 ق.م، كان أول من استخدم كلمة 'μηχανη' - تُقرأ ميخاني - ليقصد بها ما يعنى اليوم منشأة أو آلة وحتى اختراع. لقد عرف أرسطو أيضاً مفهومين جديدين هما مفهوما الثقل والخفة للجسم، الثقل يتجه نحو مركز الكون (الأرض)، بينما الخفيف يتجه أو حتى يصعد للسماء. وسمي هذه الحركة بالحركة الطبيعية للجسم، حيث أورد أمثلة عليها منها أن الحجر يهوي إلى قعر الوادي بسبب ثقله، بينما يصعد الدخان إلى السماء لخفته. هذا المفهوم الأرسطي يتناقض مع مفهوم الوزن الحالي، والذي عرفه بالصفات الطبيعية للجسم. وأشار أرسطو إلى أن سرعة الجسم الساقط تتناسب طردياً مع صفة الطبيعية (وزنه)، أما الحركة المنتظمة المستقيمة فقد عزاها إلى تأثير قوة ثابتة مؤثرة على الجسم. وقد سادت هذه المفاهيم لفترة تتعدى الألفي سنة.

أحد العلماء الإغريق الذين أسهموا أيضاً في تطور ونشوء علم الميكانيكا كان العالم أرخميدس Archimedes، 287-212 ق.م، الذي بحث وأوجد شروط اتزان الرافعة تحت تأثير قوى متعددة مؤثرة عليها. ثم طور بالاعتماد على فراغ أفليدس الطريقة الهندسية في الاستاتيكا، واكتشف النظرية المعروفة حتى الآن باسمه - نظرية الضغط على الجسم المغمر أو قاعدة أرخميدس.

لقد شقَّ هؤلاء العلماء البدايات الأولى لتطور علم الميكانيكا، هذه البدايات كانت متعثرة وفرضيات، إلا أن بعض هذه الفرضيات قد ثبتت صحته.

بعد تلك الحقبة الإغريقية سادت الدولة الرومانية التي سيطرت على أجزاء كبرى من العالم القديم - القسم الأكبر من أوروبا وشرق البحر المتوسط حتى القرن السابع الميلادي. في تلك الفترة لم يطرأ أي تطور يُذكر على العلوم والميكانيكا بشكل خاص.

ومع نشوء وتطور الحضارة العربية الإسلامية، برز علماء كثيرون في مجالات عدة أثروا العلوم والميكانيكا بإسهاماتٍ جمة. لقد تأخر اهتمام الباحثين المعاصرين بمنجزات العرب والمسلمين في ميدان الميكانيكا ربّما لتصنيفهم إياه ضمن علومٍ أخرى. إذ سمّى العرب علم الميكانيكا بعلم الحيل، وارتبط بقسم العلوم الطبيعية في الفلسفة العربية الإسلامية.

إنّ نقص المعرفة العلمية عن طبيعة تكوّن الأجرام السماوية، وقوانين حركة النظام الكوني خارج الأرض، وأيضاً قوانين الطبيعة حتى طبيعة عالم الأرض بشكلٍ خاص، رافقه ونتج عنه، ثمّ أثر فيه وتأثّر به، غياب التطور التكنيكي الذي أفقد هذه المعرفة أدواتها العلمية الضرورية لاكتشاف قوانين الظواهر الفلكية. لذلك لم يكن لها من وسيلةٍ موجودة غير الافتراضات المجردة. وحين بدأ علماء العرب والمسلمين يستجيبون لمتطلبات التطور الاقتصادي الاجتماعي فيطورون معرفتهم العلمية للطبيعة، توصلوا إلى إنشاء بعض الأجهزة التكنيكية الأولية، لرصد الفضاء وتطبيق النظريات الرياضية في قياس المسافات المكانية والزمانية كالحلقة الإعتدالية وذات الأوتار وذات السمات والمزوّلة (الساعة) الشمسية والرقاص والإسطرلاب والجدول الفلكية وغيرها. لكن هذه الأجهزة كانت محدودة التأثير في حقل المعرفة لكونها محدودة النوعية والإمكانية¹.

هذا كلّهُ لم يجعل نخبةً من العلماء والفلاسفة الطبيعيين العرب والمسلمين مقلّدين للأوليين في النظر إلى النظام الفلكي بشكل تام. هؤلاء خرجوا على الكثير من المسلمات التقليدية التي كانت سائدة في فهم العالم. فكان الفارابي 872-950 وأبو بكر الرازي 854-932 وغيرهم قد مهّدوا الطريق للبعدي وابن سينا 980-1036، وفخر الدين الرازي المتوفى عام 1209 في ذلك، فأضافت ممارستهم النظرية والتطبيقية في فيزياء الطبيعة إمكانيةً جديدةً لمعالجة قضية الحركة في الطبيعة. لقد عُولجت هذه القضية في أواخر القرن العاشر وأوائل القرن الحادي عشر حين لم يكن علم الميكانيك قد نشأ بعد.

فابن سينا توصل نتيجة بحثه الخاص في حركة الطبيعة الى فهم حركتها بشكلٍ دائري، أي عودتها إلى نقطة البدء. إن أساس فهمه للحركة الدائرية في الطبيعة هو إدراكه الذي توصل إليه بأنّ العالم مليءٌ بالمادة، أي أنه لا فراغ فيه وأنّ الخلاء[†] محالٌ في الطبيعة. يقول ابن سينا في تنبيهه..... وإذ قد تبيّن أن البعد المتصل لا يقوم بلا مادة، وأن الأبعاد الجسمية لا تتداخل لأجل بُعديتها، فلا وجود لفراغٍ هو بُعدٌ صرف. وإذا سلكت هذه الأجسام في حركاتها تنحى ما بينها أي زالت الأبعاد القائمة بينها، ولم يثبت لها بُعدٌ مفطور أصيل فلا خلاء².

[†] يقصد بمفهوم الخلاء الفضاء المطلق مكاناً ليس فيه متمكن، أي مكانٌ مجرد، نشأ كمفهومٍ فلسفي يوناني قديم من الاتجاه الذي يرى المكان هو بُعد. انظر العبيدي، حسن، نظرية المكان في فلسفة ابن سينا، بغداد: دار الشؤون الثقافية العامة، 1987، ص 142.

إن فرضية نفي الخلاء، الفضاء، في العالم المادي عند ابن سينا تتجاوز الفرضية الذرية لديموقريطس Democritus، القائلة بأن المادة مكونة من الذرات والفضاء. والأخيرة هذه أخذ بها نيوتن فيما بعد، مضيفاً إليها أن الذرات تتحرك من الشمس الى الأرض عبر الفضاء. وقد حُسم الخلاف على يد أينشتاين في الفيزياء المعاصرة، ليثبت الفرضية السينيوية بعدم وجود الفضاء المطلق.[‡]

وحتى نذكر دور العرب والمسلمين في التمهيد لصياغة قوانين الحركة، سنتحدث عن استيعابهم لبعض مصطلحات الميكانيك ومفاهيمه كما نعرفها اليوم. ففي كتابه السَّمَاعُ الطَّبِيعِيُّ يُحَدِّدُ ابن سينا الحركة بستة عوامل... وأعلم أن الحركة تتعلق بأمور ستة هي المتحرك الجسم المتحرك والمحرك الجسم المحرك - المُسَبِّب للحركة وما فيه موضع الجسم وما منه المكان الذي بدأت منه الحركة وما إليه المكان الذي توّول إليه الحركة والزمان³. كما نجد تعريف ابن سينا للحركتين المقيدة القسرية والحرّة الطبيعية... وكل جسم متحرك فحركته إما من سبب من خارج وتسمى حركة قسرية، وإما من سبب في نفس الجسم إذ الجسم لا يتحرك بذاته، وذلك السبب إذا كان محركاً على جهة واحدة على سبيل التسخير فيسمى طبيعة⁴. أو... إن الحركة التي بالقسر هي التي مُحركها خارج عن المتحرك بها وليس مقتضى طبعه. وهذا إما أن يكون خارجاً عن الطبع، مثل تحريك الحجر جراً على وجه الأرض، وإما أن يكون مضاداً للذي بالطبع، كتحريك الحجر الى فوق⁵.... وهناك تعريف آخر للحركة الانتقالية والحركة الدورانية يُورده البغدادي حيث أطلق عليها اسم الحركة المكانية والحركة الوضعية على التوالي، فيقول... الحركة المكانية هي التي بها ينتقل المتحرك من مكان الى آخر، والحركة الوضعية هي التي تتبدل بها أوضاع المتحرك ولا يخرج عن جملة مكانه كالدولاب والرحا⁶.

كما يتحدث الحسن بن الهيثم 965-1036، في كتابه الساطع المناظر ممهداً لنظريته في انعكاس الضوء باعتبارين أساسيين، هما الحركة الطبيعية للجسم والحركة العرضية⁷.... ويتلخص الاعتبار الأول في إسقاط كرة ملساء من الحديد أو النحاس أو شبههما من موضع مرتفع على مرآة مستوية أفقية من الحديد، ثم يتأمل الكرة عند ارتطامها بالمرآة وبعد ذلك. ويبين أن الكرة بعد الارتطام بالمرآة ترتد للأعلى.... ويكون انعكاسها عن المرآة أقوى والى مسافة أبعد، وإن ألفت من مسافة أقرب كان رجوعها أقل⁸.... أما الاعتبار الثاني فيتلخص في جعل المرآة قائمة في جدار قائم ليكون سطحها رأسياً، ثم تُقذف الكرة نحو المرآة بقوة، بحيث يشكل خط حركة الكرة زاوية قائمة على سطح المرآة، وثانياً على استقامة خط مائل على سطح المرآة وموازي للأفق. ويقول ابن الهيثم في بيان مشاهداته عن الحالة الأولى.... إنها ترجع على العمود نفسه القائم على سطح المرآة موازية للأفق. وفي بيان مشاهداته عن الحالة الثانية... فإنه يجدها ترجع في الجهة المقابلة للجهة التي فيها الرامي، ويجدها في أول رجوعها متحركة على خط موازي للأفق، ومائل على سطح المرآة ميلاً شبيهاً بميل السهم عند تفويقه الى المرآة بالقياس الى الحس⁹....

[‡] إذ برهنت نظرية أينشتاين أنه لو كان في العالم المادي فضاءً مطلق، لأمكن قياس سرعة الأرض المطلقة نسبةً إليه، ولتحرك الضوء بخطٍ مستقيم. انظر: غُصيب، د. هشام، مدخل مبسط إلى منطق نظرية النسبية الخاصة، عمان: دار الفرقان، 1984،

وكما هو ملاحظ، يستعمل ابن الهيثم مصطلحاً جديداً، هو قوة الحركة، ليربطه بحركة الجسم الهابط إلى أسفل. يقول في المناظر. إذا كانت مسافته أطول كانت حركته أقوى وأسرع، إن حركته المكتسبة إنما تكون بحسب مقدار المسافة وبحسب مقدار الثقل¹⁰. هذا المفهوم الجديد (لقوة الحركة) مشابهة لطاقة وضع الجسم الساقط من ارتفاع (مسافة) ما، إن لم يكن الطاقة ذاتها. لكن من جهة أخرى، يُعرّف ابن الهيثم نفس المفهوم على الحركة الأفقية للكرة أنه كلما كانت قوة القذف أقوى كان رجوع الكرة أقوى¹¹، وكأنه يعني بقوة الحركة - القذف الزخم، المفهوم الحديث لحاصل ضرب الكتلة والسرعة velocity.

إن التمييز بين الزخم والطاقة في تاريخ الميكانيكا لم يكن سهلاً، وإنه وإن حُلّت هذه الإشكالية في القرن الثامن عشر، فإن ثمانمائة سنة قبل هذا التاريخ تشفع لعالمنا ابن الهيثم عدم قدرته على التمييز بينهما.

وحتى نوفي ابن الهيثم حقّه، نُورد له نصين أوردهما مصطفى نظيف من كتابه المناظر.... وإذا كان الاعتماد الحركة مركباً من هاتين الحركتين كانت الحركة التي تحدث من هذه الممانعة مركبة من الحركة على العمود القائم على سطح الجسم المانع في الجهة الخارجة من الجسم المانع، ومن الحركة نفسها التي كانت في جهة العمود القائم على هذا العمود الممتد في الجهة التي إليها الحركة. ويتولد من هذا القسط الأول من الاعتماد ومن ممانعة الجسم المانع، لهذا القسط من الاعتماد، حركة على العمود نفسه الذي عليه كان (هذا القسط) من الاعتماد، وفي الجهة من هذا العمود المقابلة لجهة الاعتماد. ويكون القسط الثاني من الاعتماد الذي هو من الحركة على العمود القائم باقياً على حاله لم يبطل ولم يتولد منه حركة مضادة، لأن جهة هذا العمود ليس فيها مانع¹².

وفي مكان آخر يتحدث ابن الهيثم بشكل غير مباشر عن التصادم بين جسمين ومعامل الارتداد فيقول.... إن الأجسام الثقيل إذا سقطت إلى أسفل من موضع عالٍ ثم لقيت عند مسقطها جسماً صلباً كالصخر أو الحديد أو ما جرى مجرى ذلك، إنعكست في الحال راجعةً ويكون رجوعها بحركة قوية، وإذا لقيت عند مسقطها جسماً رخوياً كالرمل أو التراب أو ما شاكل ذلك، إنتشبت فيه ولم ترجع. وإن صادفت جسماً فيه بعض الصلابة وبعض اللين كالجص أو الخشب أو ما جرى مجرى ذلك في اللين، رجعت رجوعاً ضعيفاً. وكذلك إن رمى رام بحجرٍ إلى جهةٍ من الجهات فلقى ذلك الحجر جسماً من الأجسام الصلبة قبل أن تفسى الحركة التي فيه، فإنه ينعكس راجعاً، وإذا كانت حركة قويةً يرجع بقوة قوية. وإن لقي جسماً فيه بعض الصلابة وبعض اللين رجع رجوعاً ضعيفاً، بحسب ما في ذلك الجسم من الصلابة ثم انحط إلى السفلى¹³.

إن هذه النصوص المقتبسة من كتابه المناظر، لتدلّ على أن واضعها ابن الهيثم قد تعامل مع الضوء على أساس أنه جسيم مادي... والاعتبار الأول يتلخص في أن يسقط المعتبر كرة صغيرةً ملساء من الحديد أو النحاس أو ما يجري مجراها¹⁴....، وذات سرعةٍ محددة، لم يحدّد قيمتها.... ووصول الضوء من الثقب إلى الجسم المقابل ليس يكون إلا في زمان، وإن كان خفياً عن الحس¹⁵....، مدركاً فكرة تحليل السرعة إلى مركبتين، قسطين، وهو ما عرف فيما

* أولي رومر Ole Roemer، 1676، أول من حدّد رياضياً سرعة الضوء بقيمة تقارب 225 ألف كيلومتر/ثانية، وذلك من دراسته لحركة أقمار المشتري. انظر: ستيفن هوكنج، موجز في تاريخ الزمن، من الانفجار العظيم إلى الثقوب السوداء، ترجمة حيدر، عبد الله، بيروت: أكاديميا 1990، ص 37.

بعد بالمتجهات...، وإذا كان الاعتماد مركباً من هاتين الحركتين كانت الحركة الحادثة مركبةً من الحركة على العمود القائم على سطح الجسم المانع ومن الحركة على العمود القائم على هذا العمود الممتد في الجهة التي إليها الحركة¹⁶.... ، مضيفاً إليهما الناحية الديناميكية التي تعني العلاقة بين الحركة والقوة المؤثرة على الجسم، ومبيناً أن للضوء زخماً قوة الحركة وهذا الزخم محفوظٌ وثابتٌ في اتجاهٍ معين لعدم وجود قوةٍ عارضةٍ مانعٍ، في ذلك الاتجاه... ويكون القسط الثاني من الاعتماد والذي هو من الحركة على العمود القائم على هذا العمود باقياً على حاله، لم يبطل ولم يتولد منه حركةٌ مضادة، لأن جهة هذا العمود ليس فيها مانع¹⁷... . كما أعطى تفسيراً تطبيقياً لمعامل الارتداد.

استناداً على ما ورد من استيعاب العرب والمسلمين للمصطلحات والمفاهيم الميكانيكية المختلفة، فقد صاغوا قوانين قضية الحركة بمفاهيم قريبةً لتلك التي صاغ بها نيوتن قوانينه.

فهذا ابن سينا يُعرّف الحركة الذاتية للجسم في إشارته،... إنك لتعلم أن الجسم إذا خَلِيَ وطباعه، ولم يُعرض له من خارجٍ تأثيرٌ غريب، لم يكن له بدٌّ من موضعٍ معينٍ وشكلٍ معينٍ، فإذاً في طباعه مبدأً استيجاب ذلك¹⁸. نفهم من هذا القول أن الجسم وبمقتضى طبيعه (إذا ترك وشأنه)، ولم يُؤثر عليه أي تأثيرٍ من خارجه، كجسمٍ يطلب المكان والتشكل. والطبع كما يُعرفه الفلاسفة القدماء مبدأً لحركة الشيء الذي فيه هذا (الطبع)، سواءً أكانت (الحركة) عن شعورٍ أم عن غير شعورٍ، والتشكل هو مجموع علاقاتٍ داخليةٍ في المادة بذاتها، وتشمل مقولات المكان والزمان والوضع والكمية والكيفية وغيرها. إن وجود الجسم في (حركته نحو) المكان المعين هو ليس من فاعلٍ مُختارٍ خارج الجسم، بل هو من ذات الجسم بطبعه وباستحقاقه الذاتي. أي أنّ طلب الجسم للمكان، وهو الحركة المكانية، تحدث من ذات الجسم، وعند عدم التأثير عليه بمؤثرٍ خارجي. أي أن استقرار الجسم وسكونه في موضعٍ معينٍ يحدث حالماً لا يؤثر عليه مؤثرٌ خارجي¹⁹. هذه الإشارة تكافئ بل هي جزء القانون الأول لنيوتن الذي ينص على عدم حركة الجسم - سكونه - عند عدم التأثير عليه بمؤثرٍ خارجي.

كما بحث أبو البركات البغدادي في قضية الحركة، وقد أورد في كتابه المعتبر في الحكمة،..... وكل حركةٍ ففي زمانٍ لا محالة، فالقوة الأشدُّ تحرك أسرع وفي زمانٍ أقصر، فكما اشتدت القوة ازدادت السرعة فقصر الزمان، فإذا لم تتناه الشدة لم تتناه السرعة، وبذلك تصير الحركة في غير زمانٍ وأشدّ، لأنَّ سلب الزمان في السرعة نهاية ما للشدة²⁰. هذا القول يفهمنا أن زيادة السرعة وهي الفرق بين سرعتين في لحظتين متتاليتين تحدث من زيادة القوة - اشتدادها. إن زيادة السرعة كمفهومٍ رياضيٍ حديث يرتبط بالتسارع ارتباطاً وثيقاً، حيث أنّ قيمة التسارع تكافئ معدل تغير (زيادة أو نقصان) السرعة. إن ربط زيادة السرعة وليس السرعة فحسب، بزيادة القوة القوية الأشدّ أو بالقوة لهو خطوة هائلة نحو إيجاد العلاقة الصحيحة بين معدل تغير السرعة والقوة - قانون نيوتن الثاني. هذا مع العلم ان الجملة الأخيرة من النص تُفسّر في بعض الكتب²¹، بحيث أن سلب الزمان في السرعة يقابل التسارع ونهاية ما للشدة تقابل القوة، ليؤول النص إلى أن القوة تتناسب مع التسارع.

وبالنسبة للقانون الثالث للحركة فيعبر عنه أيضا البغدادي بقوله.....إن الحلقة المتجاذبة بين المتصارعين لكل واحد من المتجاذبين في جذبها قوة مقاومة لقوة الآخر، وليس إذا غلب أحدهما فجذبها نحوه تكون قد خلت من قوة جذب الآخر، بل تلك القوة موجودةً مقهورةً، ولولاها لما احتاج الآخر الى كل ذلك الجذب²². كما ويُعبر فخر الدين الرَّازي عن نفس القانون بشكل أفضل بقوله،....الحلقة التي يجذبها جاذبان متساويان حتى وقفت في الوسط، لا شك أن كل واحدٍ منهما فعل فيها فعلاً معوقاً بفعل الآخر، ثم لا شك أن الذي فعله كل واحدٍ منهما لو خُلي عن المعارض لاقتضى اجتذاب الحلقة إلى جانبهِ²³. ويوضح الرازي فكرة الاتزان تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين فيقول في معرض شرحه لإشارات ابن سينا،...فالحبل الذي يجذبه جاذبان متساويا القوة الى جهتين مختلفتين لا يخلو إما أن يُقال أنه ما فعل واحد منهما فعلاً وهو محال، لأن الذي يمنع كل واحدٍ منهما عن فعله هو وجود فعل الآخر، أو يُقال فعل أحدهما دون الآخر وهو أيضاً محال، وكان يجب أن يتحرك الجسم الى تلك الجهة، أو يُقال كل واحدٍ منهما فعل فيه فعلاً

24

.....

هذه الإرهافات لم تجد من يُناقشها المناقشة الوافية، ولم تُتقح من قِبَل دارسيها، فبقيت طي الكتب والمؤلفات. كيف لا وقد كُتبت في أواخر فترة ازدهار الحضارة العربية الإسلامية، إذ تُرجم بعضها الى اللغات اللاتينية مع بداية عصر النهضة الأوروبية الحديثة. إن هذا ليس تحديثاً للفكر القديم بما فيه إسقاط النظريات الحديثة المعاصرة على أفكار ونظريات العصور الوسطى، حتى لكأن كل ما يُفكر به علماء وفلاسفة عصرنا يجب أن يكون علماء وفلاسفة العصور الوسطى قد فكروا به. كما يجب علينا الحذر من الوقوع في اللاتاريخية عن طريق آخر معاكس، ذلك أن المبالغة في تجنبها سيؤدي تقريبا إلى الوقوع فيها، بما في ذلك من قطع للصلة بين ماضي المعرفة البشرية وحاضرها²⁵.

في فترة النهضة الأوروبية الحديثة تطورت الميكانيكا بشكل كبير، وقد برز علماء كثيرون سُنرَكز على من تركوا بصمات واضحة في هذا العلم ومن أهمهم:

ليوناردو دافنشي L., Devinci، 1452-1519، بالإضافة إلى عبقريته في الرسم وباقي العلوم فإنه بحث في مشاكل الطيران والأيروديناميكا والهيدروديناميكا. وقال بأن الجاذبية ليست خاصة للأرض فقط، بل لكل الكواكب والأجسام. كما بحث في حركة الاجسام تحت تأثير قوتي جذبٍ من مركزين مختلفين.

غاليليو غاليلي G.Galileo، 1564-1642، أثبت بالتجربة أن كل الأجسام لها تسارع ثابت أثناء سقوطها. كما صاغ كلاً من مفهومي النظرية النسبية ومبدأ القصور بشكلٍ بدائي.

يوهان كيبلر J., Kepler، 1571-1630، أوجد التفسير العصري للرابطة التي تربط حركة جميع الكواكب بالنظام الشمسي. أعطى البدايات لمبدأ الجذب المتبادل بين الكتل المختلفة. صاغ ما يُعرف اليوم بقوانين الحركة الكيَمَاتيكية للأجرام السماوية: قانون المساحات وقانون المسار الإهليلجي للكوكب أثناء حركته وقانون زمن دورته حول الشمس.

اسحق نيوتن Newton، I., 1643-1727، أنهى دراسته في جامعة كامبردج باصدار كتابه الرائع المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية Philosophiae Naturalis Principia Mathematica عام 1687، وفيه صاغ قوانينه الثلاثة: القصور والقانون الأساسي وقانون الفعل ورد الفعل. لقد عمّم مفهوم القوة وعرّف لأول مرة مفهوم الكتلة. كما صاغ قانون الجاذبية العام الذي ينص على أن الأجسام تجذب بعضها البعض بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما. وعلى هذا الأساس صيغت القوانين الأساسية لما يُسمّى الميكانيكا الكلاسيكية. وقد اختبرت هذه القوانين فيما بعد بتجارب عديدة، وتأكّدت عملياً وعلمياً في التطبيق البشري والاجتماعي والانتاجي. لقد أصبح نيوتن وبحق مؤسس علم الميكانيكا النظرية.

في القرن الثامن عشر راحت تتطوّر بسرعة الطرق التحليلية لحل مسائل الميكانيكا، أي الطرق المبنية على تطبيق حساب التفاضل والتكامل، وقد برز في هذا الحقل الأخوة بيرنولي Bernoulli؛ يعقوب 1654-1705، يوهان 1667-1748 ودانييل 1700-1782، ثم ليوناردو أويلر L., Euler، 1707-1783. والأخير عرف عزم القصور وزوايا دوران الجسم الجاسئ. أما ج.ل. دالمبير J.L., D'alambert، 1717-1783، فقد استحدث طريقةً جديدةً لحل مسائل الديناميكا لا تختلف كثيراً عن حل مسائل الاتزان الاستاتيكي وتُعرف حالياً بمبدأ دالمبير. وقد حذا حذوه مواطنه ج. لاجرانج J., Lagrange، 1736-1813 الذي وضع الطريقة التحليلية لحل مسائل الديناميكا على أساس مبدأ دالمبير ومبدأ الشغل الافتراضي.

كما شهد القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين تقدماً في علوم الطيران على يد ن. جوكوفسكي N., Jukovsky، 1847-1921، وكذلك س. تشابلجين S., Tchabalgin، 1869-1942 اللذين حلا عدداً من المشاكل التكنيكية الملحّة. كما أنّ هناك العديد من العلماء الذين أثروا علم الطيران بنظرياتٍ جديدةٍ منهم: أ. ميتشيرسكي A., Meschersky، 1859-1935، وضع الأساس لديناميكا الأجسام ذات الكتل المتغيرة، وك. تسيلكوفسكي K., Tsiolkovsky، 1857-1935، وضع الأساس النظري لحل المسائل التطبيقية لصناعة الصواريخ وميكانيكا الفضاء²⁶.

لقد دُعمت قوانين نيوتن باكتشافات الكواكب تباعاً، وقادت هذه القوانين أيضاً إلى اكتشاف كواكب جديدةٍ وبعيدة. إذ سبق أن أدرك نيوتن أنه، وبالرغم من صغر القوى المتبادلة بين كوكبٍ وآخر، فإنها ذات أثرٍ في إحداث اضطراباتٍ صغيرةٍ في مسار الكوكب الاهليلجيّ التام والناجم من تأثير قوة جذب الشمس لوحدها. وقد دُعيت قوى الاضطراب الاضافية تلك بالترجّافات perturbations. وهذه تُرست بعنايةٍ مُتزايدةٍ إلى أن أضحت الجاذبية قوةً كونيّةً تعمل بين جميع الكواكب والأجسام في النظام الشمسي. لقد كان عدد الكواكب المعروفة ستّةً عندما تمكن وليم هيرشيل W., Herchel، عام 1781 من اكتشاف الكوكب السابع أورانوس Uranous، الذي يبعد عن الشمس ضعف بعده عن الكوكب السادس زحل Saturn. لقد تمّ رصده وحساب مداره المستقبلي، وبدورةٍ تتأخر 84 عاماً، لم يكن أورانوس في عجلةٍ من أمره لرسم مداره الذي تمّ التنبؤ به. إذ مرت خمسون عاماً تقريباً قبل أن يثبت أن مسار الكوكب لا يتبع المسار المحدد له حسابياً، والناجم من تأثير الشمس والكواكب السبعة الأولى. والمثير للدهشة، إن قانون الجذب الكوني لنيوتن بدا وكأنه عاجزٌ عن حل أو تفسير هذه الظاهرة. وعلى نقيض ما كان متوقّعاً، افترض ليكسل Leksel، أحد الفلكيين من بطرسبورغ، وجود كوكب مجهول، لم يُكتشف بعد، ربّما يؤثر بترجّافٍ محدد على أورانوس. فاكتشف الشابان جون أدامز J., Adams، 1819-1892 من إنجلترا وإيربان ليفيرييه U., Leverrier، 1811-1877 من فرنسا، وكلاهما يجهل

الأخر، الكوكب نبتون Neptune عام 1846 بناءً على حساباتٍ تستند إلى قانون الجذب الكوني والترجافات الناتجة عن الكواكب السبعة الأولى بما فيها أورانوس²⁷.

ولقد قادت سلسلةً مشابهةً من الأحداث، رغم أنها أقل إثارةً، وبعد حساباتٍ على كوكبي نبتون وأورانوس بينت ضرورة وجود كوكب آخر بعد نبتون، إلى اكتشاف الكوكب التاسع، والأخير حتى الآن، بلوتو Pluto، وتحددت دورته بـ 248 عاماً أرضياً.

وفي الحقيقة؛ إنَّ أول إلماعٍ لعجز ميكانيكا نيوتن قد ورد من خلال دراسة كوكب عطارد Mercury، الذي يُنهى دورته حول الشمس في 88 يوماً أرضياً فقط. فمع كل دورةٍ له حول الشمس ثبت أن نقطة حضيضه perihelion، تستبق (تتحرف) قليلاً باتجاه دوران الكوكب نفسه، بمقدارٍ يُعادل 43 ثانيةً قوسيةً لكل مئة عام²⁸. هذا الاستباق كان معروفاً لعشرات السنين، بدون هذه الدقة، وأيضاً بدون تفسيرٍ علميٍ مقنع. إحدى الظواهر الأخرى التي لم تُفسرها قوانين نيوتن هو عدم التطابق بين الصور التلسكوبية الملتقطة لعددٍ من النجوم البعيدة أثناء رصدها وفي أوقاتٍ مختلفةٍ من السنة، مع أن تحرك هذه النجوم يكاد يكون معدوماً، أو في أحسن الأحوال أخذ هذا التحرك بعين الاعتبار، إلا أن قانون الجذب الكوني وقف عاجزاً عن تفسيرها.

ألبرت أينشتاين A., Einstein، 1879-1955، أعطى وعرف حدود استخدام قوانين نيوتن على المستوى العياني. كان هذا في عام 1905، عندما أعلن عن نظريته النسبية الخاصة Special Relativity، التي بيّن فيها أن سرعة الضوء ثابتةٌ في الفراغ، أيًا تكن سرعة مصدره بالنسبة إلى المشاهد، وأنَّ الزمن ليس مُطلقاً بل متغيراً تبعاً للسرعة. ثم أتبع هذه النظرية بالنظرية النسبية العامة General Relativity عام 1916، عندما بين أن كلَّ جسمٍ ماديٍّ ولا ماديٍّ immaterial، كال فوتونات والنيوترونات في مجال قوة الجاذبية يتحرك بخطٍ منحنيٍّ، وفي حالاتٍ خاصة سيكون هذا الخط مستقيماً. كما استند أينشتاين إلى مبدأ التكافؤ Principle of Equivalence الذي صاغه عام 1915 وصيغة لورنتس Lorentz's Formula التحويلية لانكماش الطول length contraction وتباطؤ الزمن time dilation وفقاً للنسبة $1:\sqrt{1-(v/c)^2}$ فحدّد أن الضوء المار في مجالٍ جاذبي يعاني الانحناء بقدرٍ يمكن قياسه. وهذا الانحناء حُسب لضوء النجوم المار بجانب الشمس من معادلات النسبية فوجده 1.75 ثانيةً قوسيةً²⁹.

ونظراً لأن أشعة الضوء القادمة من نجم لا يمكن أن تُرى في وضوح النهار لتغلب أشعة الشمس عليها، فإن إثبات انحناء الضوء واختبار تنبؤ أينشتاين لا بد أن يتم في وقت كسوف الشمس الكلي. لهذا قامت بعثتان بريطانيتان بإثبات هذه المسألة أثناء الكسوف الشمسي الذي حدث في 1919/05/29، حيث استقرت إحداها في خليج غينيا في أفريقيا، بينما تركزت الثانية على الطرف المقابل للمحيط الأطلسي في شمال البرازيل. وقد قامت البعثتان برصد النجوم حول الشمس المكسوفة وصورت نفس المنطقة من السماء عندما ابتعدت الشمس عنها. لقد أظهرت المقارنة بين الصور الناتجة اختلافاً ما في مواقع نفس النجوم. وتوصلت البعثتان، بعد حساب الخطأ الناجم عن عدم الدقة في الأجهزة والأمور الأخرى إلى أن مقدار الانحراف بلغ 1.72 ثانيةً قوسيةً³⁰.

وبينما كانت الاختبارات الأولى لصحة النسبية فلكية، لاعتمادها قياساتٍ تشوبها شكوكٌ قد يستحيل تبديدها، تغير الحال منذ العام 1960، إذ تمت القياسات عندئذٍ في المختبر. فبعد النجاح في التقاط صدى رادارٍ من كوكب الزهرة Venus، قيس الوقت الذي استغرقتة الموجات لبلوغ الأرض في حالتي وجود الشمس أو عدمه على المسار، وتمت مقارنة الوقت المقاس بالنظرية. لقد دلت هذه القياسات على أن هناك توافقاً مع النسبية بفارق يقل عن 0.1%³¹. كما انحراف الشعاع الضوئي الصاعد في مختبر جفرسن/جامعة هارفارد بفعل الجاذبية الأرضية نحو الحمرة إلى الدرجة المتوقعة تماماً³².

ماكس بلانك M., Planck، 1858-1947، عالم ألماني نشر عام 1900 فرضيته الكمية التي قال فيها أن الضوء والموجات لا يمكن أن تنبعث بمعدل عشوائي اعتباطي، بل في حزم معينة، أسماها الكمات quanta. ولكل كم quantum مقدار معين من الطاقة. لقد فسرت فرضية الكم معدل بث الإشعاعات المرئية من الأجسام الحارة تفسيراً جيداً جداً، إلا أن مضامينها بالنسبة إلى الحتمية لم تُدرَك إلا سنة 1926، عندما عرف عالم ألماني آخر هو ورنر هايزنبرغ W., Heisenberg 1901-1976 مبدأ الريبة (اللاحتمية) Uncertainty Principle³³. إذ يقوم هذا المبدأ على استحالة القياس المتزامن والدقيق لموقع وسرعة أي جسيم. ففي سبيل التنبؤ بحركته في المستقبل، سلط هايزنبرغ فوتوناً على الجسيم فحدد موقعه، لكن الجسيم امتص طاقة الفوتون فتغيرت سرعته. كما أن قياس الموقع بدقة متناهية يتطلب استخدام موجاتٍ قصيرة جداً، وبطاقة أكبر للكم الواحد، فيكون تأثير سرعة الجسيم بمقدار أكبر. وبكلمة أخرى، كلما أردنا قياس موقع الجسيم بدقة أكبر، كلما تناقصت دقتنا في قياس سرعته، والعكس بالعكس. فالإلكترون، مثلاً، هو جسيم بالغ الضآلة ويستتبع قياس موقعه في الذرة ارتداد الفوتونات الضوئية عنه. مهما يكن من أمر، تُفضي القوة البالغة للضوء إلى اقتلاع الإلكترون من الذرة وتغيير سرعته وبالتالي موقعه.

وبعد، يمكننا القول بثقة أن الميكانيكا أضحت اليوم علماً يصف حركة الأجسام المادية بشرط واحد، أن لا تكون هذه الأجسام سريعة جداً أو صغيرة جداً. إذ بينت النظرية النسبية أن قوانين نيوتن لا تستطع وصف حركة الجسم الذي سرعته قريبة من سرعة الضوء. وفي وقت لاحق، بينت ميكانيكا الكم Quantum Mechanics، التطور الآخر للقرن العشرين، أن ميكانيكا نيوتن لا تستطع وصف الحركات الداخلية في الذرات أيضاً. إن النسبية وميكانيكا الكم قد قلمتا أطراف الميكانيكا مختزلتين إياها من قطاع لا متناه إلى قطاعٍ مُتناه. وعلى ذلك أضحت الميكانيكا علماً صائباً كلياً لوصف الطبيعة في قطاعٍ محدد.

مراجع الباب الأول

- 1 مروّه، حسين، النزعات المادية في الفلسفة العربية الإسلامية. ج 2، بيروت: دار الفارابي 1979، ص 669.
- 2 دنيا، سليمان، الإشارات والتنبيهات للشيخ الرئيس ابن سينا. ق 2 - الطبيعة، القاهرة: دار إحياء الكتب العربية، عيسى البابي الحلبي وشركاه، 1948، ص 120.
- 3 مذکور، د. إبراهيم، ابن سينا، الشفاء، الطبيعيات، السَّماع الطبيعي، القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1983، ص 87.
- 4 باشا، د. أحمد فؤاد، التراث العلمي للحضارة العربية الإسلامية ومكانته في تاريخ العلم والحضارة، القاهرة: جامعة القاهرة، كلية العلوم، 1983، ص 76.
- 5 مذکور، د. إبراهيم، مرجع سبق ذكره، ص 324. 7 باشا، د. أحمد فؤاد، مرجع سبق ذكره، ص 74.
- 7 نظيف، مصطفى، الحسن بن الهيثم بحوثه وكشوفه البصرية، ج 1، القاهرة: مطبعة نوري بمصر، 1942، ص 121.
- 8 المرجع السابق، ص 124. 9 المرجع السابق، ص ص 122 - 123.
- 10 المرجع السابق، ص ص 123 - 124. 11 المرجع السابق، ص 124.
- 12 المرجع السابق، ص ص 129 - 130. 13 المرجع السابق، ص ص 124 - 125.
- 14 المرجع السابق، ص 122. 15 المرجع السابق، ص 119.
- 16 المرجع السابق، ص 129. 17 المرجع السابق، ص 129.
- 18 دنيا، سليمان، مرجع سبق ذكره، ص 164. 19 مروّه، حسين، مرجع سبق ذكره، ص 645.
- 20 باشا، د. أحمد فؤاد، مرجع سبق ذكره، ص 77. 21 المرجع السابق، ص 76.
- 22 شوقي، جلال، تراث العرب في الميكانيكا، القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1976، ص ص 70 - 71.
- 23 باشا، د. أحمد فؤاد، مرجع سبق ذكره، ص 77. 24 المرجع السابق، ص 77.
- 25 مروّه، حسين، مرجع سبق ذكره، ص 645.
- 26 س. تارج، الميكانيكا النظرية، ط 3، الإتحاد السوفياتي، موسكو: دار مير للطباعة والنشر، 1975، ص 11.
- 27 فورد و. ك، الفيزياء الكلاسيكية والحديثة، مجلد 1، ترجمة غصيب، هام وشاهين، عيسى، عمان: منشورات مجمع اللغة العربية الأردني، 1981، ص 342.
- 28 عظيموف، إسحق، العملاق النووي، ترجمة شمعون، د. الياس، بيروت: أكاديميا، 1992، ص 51.
- 29 المرجع السابق، ص 50.
- 30 تمّئي، فرّس، بلوغ سن الرشد في المجرة، ترجمة مطر، هنري، عمان: مركز الكتب الأردني، 1990، ص ص 220 - 222.
- 31 عظيموف، إسحق، مرجع سبق ذكره، ص 55.
- 32 تمّئي، فرّس، مرجع سبق ذكره، ص 222.
- 33 كاكو، ميشو وترينر، جنيفر، ما بعد أينشتاين، ترجمة فوق العادة، د. فايز، بيروت: أكاديميا، 1991، ص ص 63 - 64.