السببية في ميكانيكا نيوتن ومكانتها في الفيزياء الكلاسيكية

سوزان الدبابسة

قسم الفلسفة، كلية الآداب، الجامعة الأردنية– الأردن

s.talouza@gmail.com

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة مبدأ السببية وإشكالاته بصورة نظرية، كما تبلور في النظرية الفيزيائية الحديثة، انطلاقًا من إسحاق نيوتن. فتعدّ نظرية نيوتن في الحركة والجاذبية، منصةً انطلاق النظرية الفيزيائية الحديثة، وتؤكد هذه الدراسة على أنّ مبدأ السببية يكتسب معناه ويتحدد إجرائيًا من النظرية الفيزيائية المحددة؛ لذلك يكف البحث على دراسة البناء الفكري للنظرية الفيزيائية الحديثة في مراحلها المختلفة، فتدرس دراسة فلسفية، البناء الفكري لكلٍ من: ميكانيكا نيوتن، والفيزياء الكلاسيكية. وتبين كيف نشأت هذه النظريات ومبادئها ونتائجها. ثم تبين صورة مبدأ السببية التي تنطوي عليها النظرية. وتميل هذه الدراسة إلى التأكيد على أنّ مبدأ السببية يدخل في النظرية الفيزيائية، بوصفه شرطًا أساسيًا لأية نظرية فيزيائية، وأنّ مبدأ السببية في الفيزياء لا يمكن أن يفهم بمعزل عن بنية النظرية الفيزيائية.

وتعتمد هذه الدراسة على كل من المنهج التحليلي والمنهج المقارن، إلى جانب المنهج النقدي، وسيتم تدوال هذه المناهج حسب مقتضيات الدراسة.

الكلمات الدالة: السببية، ميكانيكا نيوتن، التفاعل اللحظي عن بعد، القوة، الفيزياء الكلاسيكية.

المقدمة

إذا استعرضنا تاريخ الخبرة والمعرفة الإنسانية في مراحلهما المختلفة، يتضح لنا محورية مفهوم السببية في كل منهما. فالسببية تدخل جوهريًا في ممارساتنا اليومية وتفكيرنا اليومي، بصدد الظاهرات والأحداث والأشياء التي نتفاعل معها، وهذا ينطبق على الإنسان البدائي والإنسان المعاصر كليهما. فلا يستطيع الإنسان أن يمارس حياته العملية من دون أفكار وافتراضات تتعلق بالسببية. وكذلك الحال بالنسبة للمعرفة العلمية، فالسببية تدخل في صلب هذه المعرفة.

من الصعب، وربما من المستحيل تصور معرفة من دون العلاقات السببية، وقد حاول الفلاسفة على مر العصور الانطلاق من الخبرة اليومية ومن المعرفة السائدة من أجل استيعاب مغزى مفهوم السببية وجذوره وأصوله وأسسه؛ أي حاولوا التأسيس فلسفيًا لهذا المفهوم الضروري. ولسنا معنيين في هذا البحث أن نستعرض محاولات الفلاسفة تلك بالرغم من أهميتها. لكننا معنيون بدراسة البناء الفكري للنظرية الفيزيائية الحديثة، تحديدًا مع نيوتن والفيزياء الكلاسيكية، بهدف استنباط معنى السببية وإشكالاتها في النظرية الفيزيائية في هذه المرحلة؛ أي سنحاول أن نستدل على مفهوم السببية وإشكالاته، والكيفية التي تطور بها وحل إشكالاته، في سياق ميكانيكا نيوتن. ولبيان أهمية هذه الدراسة، سنسلط الضوء على ثلاثة نماذج فلسفية من القرن الثامن عشر الميلادي. والنموذج الأول هو الطريقة التي نظر بها الفيلسوف الألماني ليبنتز (Gottfried Leibinz) إلى السببية. فرأى ليبنتز أنّ السببية هي مبدأ عقلي ضروري، وأداة معرفية ضرورية من أجل إنتاج معرفة، بصدد المطلقات:(الله، والروح، والخلود، وجوهر الوجود). ويصوغ ليبنتز مبدأ السببية في كتابه المونادولوجيا كما يلي: "لا يمكن اعتبار أي أمر صادقًا أو موجودًا، أو أن يكون تعبيرًا صادقًا من دون أن يوجد سبب كافٍ له، ليكون هذا الأمر على ما هو عليه ولا على خلاف ما هو عليه، ولو أننا في أغلب الأحيان لا نستطيع أن نعرف هذه الأسباب" (ليبنتز،1956). ويعد ليبنتز أنّ مبدأ السبب الكافي مبدأ ميتافيزيقيا ومنطقياً في الآن ذاته، فهو ميتافيزيقي؛ لكونه صادرًا عن الحكمة الإلهية. فالسبب الكافي عند ليبنتز أساسي للاختيار الإلهي، الذي تمخض عنه وجود العالم. فالعالم قبل أن يصبح موجودًا بالفعل كان مجرد إمكانية من بين سلسلة من الأنساق المتعادلة في إمكانية الوجود، ووقع الاختيار على عالمنا هذا؛ لأنه يتمتع بقدر من الكمال أكثر من غيره؛ لأنه لو كانت كل العوالم متساوية في الخير والقبح لما كان هناك سبب انطلاقًا منه يخلق الله هذا العالم أو ذاك. فحسب ليبنتز تكون كل العوالم الممكنة متضمنة في الجوهر الأسمى (الله). وهذا الجوهر هو مصدر كل الموجودات بلا استثناء.

وبما أنه يوجد عدد لامتناه من العوالم الممكنة في فكر الله، وبما أنه ـ أيضًا ـ لا يمكن أن يوجد أكثر من عالم واحد، فلا بد من سبب كافٍ يحدده اختيار الله لعالم واحد ممكن من بين كل العوالم الممكنة. وهو منطقي لاستناده إلى القضية المنطقية التي تقول: إنّ المحمول متضمن في فكرة الموضوع.

أما النموذج الثاني، فقد مثله الفيلسوف التجريبي هيوم .(David Hume) فارتكازًا إلى تجريبيته، فقد نفى الضرورة المعرفية لمبدأ السببية، وعدّه مجرد مبدأ حياتي عملي ضروري للحياة، وليس للمعرفة، يقول: "إنّ الأسباب والمسببات لا تكشف بالعقل، بل بالخبرة" (هيوم، 2008)، وذلك بحكم العادة والتكرار. ففكرة السبب والمسبب مستمدة من التجربة التي تجابهنا بموضوعات دائمة الترابط بعضها مع بعض، فتنشئ فينا ـ عادة ـ ملاحظتها في تلك العلاقة .(Hume, 1946) فعندما ننظر إلى الأشياء الخارجية ونقدر العمليات السببية، لا نكون قادرين في لحظة منفردة على أن نكشف أية قوة أو رابطة ضرورية، أي صفة تربط المعلول بالعلة وتجعل إحداهما نتيجة لا مناص عنها للآخر. إلا أنّ تكرار نوع معين من الظواهر يدفع الذهن بالعادة إلى توقع تابعه المعتاد، وإلى الاعتقاد بأنه سوف يوجد. وفي هذا الصدد يقول هيوم: "أجد أنّ ظهور واحد من الموضوعات يضطر العقل بالعادة أن يهتم بتابعها المعتاد. وسيهتم به اهتمامًا كبيرًا من حيث علاقته بالموضوع الأول، وهذا الأثر أو الاضطرار هو الذي يقدم لي فكرة الضرورة(Hume, 1946) "، إذن فالعلاقة السببية –وفقًا لهيوم– تتكون عندنا، بحكم العادة التي تتشكل لدينا من اطراد الارتباط بين الحادثة الأولى والحادثة الثانية، اطرادًا يجعلنا إذا ما وقعت الحادثة الأولى، أن نتوقع حدوث الثانية، من دون أن تكون هناك ضرورة عقلية تقتضي ذلك. فالتجربة وحدها هي التي تدلنا على ذلك. فالحادثة (السبب) مستقلة عن الحادثة (النتيجة)، وتحليل أحدهما لا يدل على الآخر. فلو أننا سمعنا الرعد فسوف نتوقع سقوط المطر، وبالرغم من أنّ حدوث الرعد لا يؤدي دائما إلى سقوط المطر، لكنّ احتمال سقوط المطر بعد حدوث الرعد كبير .

أما كانط (Immanuel Kant) فقد تخطى كلًّا من ليبنتز وهيوم، بعدّه مبدأ السببية مبدأ عقليًا ضروريًا لإنتاج المعرفة العلمية بصدد العالم المحسوس، ونفى أن يكون أداة لإنتاج معرفة بصدد المسلمات. ولما عده عقليا في جوهره، فقد عده ضروريًا أيضًا، وبنى فلسفته كلها لكي يؤسس لهذه النظرة للسببية. لكن كانط ارتكز على نظرية نيوتن في شكلها الأول التي نعدها اليوم قاصرة في ضوء التطورات الهائلة التي حصلت في النظرية الفيزيائية منذ ذلك الوقت .

وسنركز على النظرية الفيزيائية نفسها، ونحاول أن ندرس بناءها الفكري، دراسة فلسفية معمقة، تهدف إلى تحديد معنى السببية وإشكالاتها وتناقضاتها في النظرية الفيزيائية، كما تبلورت عند نيوتن والفيزياء الكلاسيكية .

ومن دراسة النظرية القديمة والنظريات الحديثة في دراسة الطبيعة، يتضح لنا أنّ مبدأ السببية ملازم لكل نظرية معرفية، وبالذات فهو ملازم لكل نظرية فيزيائية حديثة. فنجد من الصعوبة بمكان تصور إمكانية وضع نظرية فيزيائية رياضية من دون أن تنطوي على مبدأ السببية. ويبدو لنا أنّ مبدأ السببية هو شرط أساسي وضروري من شروط بناء النظريات الفيزيائية الرياضية. ونؤكد ـ أيضًا هنا ـ أنّ لكل نظرية فيزيائية تصورها لمبدأ السببية، وأنّ معنى مبدأ السببية تحدده النظرية نفسها. وسنبين ذلك في الطرح الذي سنتناوله. ويمكن القول: إنّ مبدأ السببية ليس له معنى خارج إطار مفاهيمي ما، سواء أكان هذا المعنى أسطوريًا أم فلسفيًا أم فيزيائيًا أم علميًا. وكمثال على ذلك، فهناك فرق كبير بين معنى السببية لدى أرسطو(Aristotle) كما نبعت من الميتافيزيقا الأرسطية، وبين مبدأ السببية الكامن في ميكانيكا نيوتن. وسنبيّن ذلك تفصيليًا في هذا البحث بصورة نظرية، من دون أن نخوض بصورة موسعة بالمعادلات الرياضية التي تعبر عن النظريات الفيزيائية موضوع البحث.

مشكلة البحث

1. ما هي إشكالية السببية في ميكانيكا نيوتن التي تعدّ جزءًا لا يتجزأ من الفيزياء الكلاسيكية؟
2. ما هي إشكالية السببية في الفيزياء الكلاسيكية بصورة عامة؟

أهمية البحث

تأتي أهمية هذه الدراسة من خلال محاولتها إثارة مشكلة شبه غائبة عن الساحة العربية في ميدان نظرية المعرفة، فتحاول هذه المشكلة تتبع التغيرات التي أحدثتها الفيزياء على فكرة السببية لا سيما في ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية.

أهداف البحث

وهي الأمور التي يركز عليها البحث لتوضيحها وإبرازها، وأذكر منها:

1. توضيح مفهوم السببيّة وعلاقته بقوانين الفيزياء والمفاهيم الفيزيائيّة الأخرى، تحديدًا في ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية.
2. توضيح الأسس الفلسفيّة لمشكلة السببية في الفيزياء الحديثة.

3. توضيح إرهاصات الفيزياء الكلاسيكية وأهميتها في فهم التغيرات التي لحقت بمبدأ السببية، تحديدا مع ماكسويل ورأيه بمفهوم المجال.
4. بيان أنّ السببية هي شرط من شروط البناء النظري في الفيزياء؛ لأنّ النظرية الفيزيائية هي التي تكسب السببية معنىً محددًا.

منهجية البحث

أولًا: المنهج التحليلي والطريقة النقدية، من أجل توضيح البنية النظرية لميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية، لتحديد مبدأ السببية فيها.

ثانيا: المنهج المقارن لتوضيح نقاط الاختلاف والتشابه بين مبدأ السببية كما تبلور في ميكانيكا نيوتن وفي الفيزياء الكلاسيكية.

الدراسات السابقة

1- خميس، أكرم، السببية بين المتكلمين والفلاسفة الإسلاميين المعاصرين، رسالة ماجستير منشورة جامعة العلوم الإسلامية، 2015.

تدرس هذه الأطروحة العلاقة بين السبب والنتيجة في الفكر الإسلامي المعاصر، من خلال توضيح تطور مفهوم السببية لدى المدارس الكلامية والفلسفية ومدى التأثر بالفلسفة اليونانية، ومن ثم دراسة بعض التطورات العلمية التي كان لها تأثير مباشر في موضوع السببية. وتتطرق الرسالة إلى انعكاس مفهوم السببية على فكرتي خوارق العادات (المعجزات) ونظرية المعرفة، لتصل هذه الدراسة ـ في النهاية ـ إلى اتفاق المدارس الإسلامية على التسليم بفكرة السببية كمبدأ عقلي.

2- بلكا إلياس، الوجود بين السببية والنظام، رسالة ماجستير منشورة، المعهد الأمريكي للفكر الإسلامي، 2009 .

تستهدف هذه الأطروحة إعادة النظر في فهم حقيقة العلاقة السببية وكشف الاتجاهات المختلفة في فهم تلك العلاقة، وبيان أثر التقدم في تلك الاتجاهات، وتستهدف هذه الأطروحة الكشف عن ملابسات الموضوع، والإجابة عن التساؤلات التي رافقت المشكلة.

المبحث الأول: نشوء ميكانيكا نيوتن وإرهاصاتها

جاءت ميكانيكا نيوتن تتويجًا لما يسمى الثورة العلمية الكبرى (1543–1687)، تلك الثورة التي حطمت فيزياء أرسطو(Aristotle) وبطليموس(Ptolemy)، وأقامت بدلًا منها قواعد العلم الحديث. وقد انطلقت شرارة هذه الثورة من كتاب العالم البولندي كوبرنيكوس (Nicolaus Copernicus) حول دوران الأفلاك السماوية، الذي وضع فيه نموذجًا جديدًا للكون، يتخذ من الشمس مركزًا له بدلًا من الأرض، وتتحرك الأرض فيه حول الشمس وحول نفسها أسوة بالكواكب الأخرى (وولف، 1994). ولم يكتف كوبرنيكوس بطرح فكرة مركزية الشمس وحركة الأرض، وإنما وضع نظامًا رياضيًا شاملًا للمجموعة الشمسية وللكون، ينافس نظام بطليموس الفلكي (غصيب، 2018). فكان أول بديل شامل لنظام بطليموس في التاريخ. وفيما عدّ بطليموس الأرض مركزًا للكون وأكد على ثبات الأرض، فإنّ كوبرنيكوس عدّ الشمس مركز الكون، وحرك الأرض حول نفسها وحول الشمس، مناقضًا بذلك ليس نظام بطليموس وحده، وإنما فيزياء أرسطو برمتها. لقد وضع كوبرنيكوس البديل لكنه لم يبرهن، لا من قريب ولا من بعيد، على بطلان بطليموس وأرسطو. وترك تلك المهمة للعلماء الذين جاءوا بعده. وقد استطاع الفلكي الدنماركي تايكو براهي (Tycho Brahe) أن يبرهن رصديًا على بطلان فكرة أرسطو بوجود أفلاكٍ بلورية أثيرية تحمل الكواكب وتحركها، كما أثبت بطلان فكرة أرسطو بأنّ السماوات لا تتغير (غصيب، 2018). وانطلق الفلكي الألماني يوهانس كبلر(Johannes Kepler) من هذين الاكتشافين؛ لكي يضع نموذج كوبرنيكوس على أُسس علمية صارمة. فنظر إلى المجموعة الشمسية على أنها نظام فيزيائي تتفاعل أجرامه معًا عبر قوة تؤثر لحظيًا عن بعد؛ أي أنه وضع تصورًا أوليًا لقوة الجاذبية على الصعيد الكوني. وقاده ذلك إلى اكتشاف القوانين الدقيقة لحركة الكواكب حول الشمس وحركة القمر حول الأرض، وبين أنّ الكواكب تدور في مدارات إهليليجية، وليس في مدارات دائرية، كما كان يظن سابقًا. بذلك دمر كبلر علم الفلك القديم، وأقام على أنقاضه قاعدة علم الفلك الجديد، وهناك تراكمات وإضافات عربية وإسلامية وأخرى هندية وصينية هي التي هيأت المجال لكوبرنيكوس لهذا الإنجاز. وكما أنّ العلماء العرب لم يصلوا للفكرة النهائية الصحيحة للنموذج الكوني، فإنّ كوبرنيكوس ـ أيضا ـ لم يأت بها كاملة، فافترض خطأً أنّ الشمس مركز الكون بالرغم من أنها ليست كذلك.

وجدير بالذكر ـ في هذا السياق ـ أنّ التصور السببي عند الإغريق، وتحديدًا عند أرسطو، قد اتخذ شكلًا مختلفًا في الحضارة العربية الإسلامية، وتحديدًا في علم الكلام لدى المعتزلة والأشاعرة، فقد قدم هؤلاء تصورات حاسمة ومفصلية في

مبدأ السببية، فارتبط مفهوم السببية لديهم –وعند فلاسفة الإسلام أيضًا– بفعل الله في العالم ودوره فيه، فقد أكد المعتزلة على أنّ مبدأ السببية له صلة وثيقة بمفهوم الطبائع والتوليد والاقتران السببي، كما هو ظاهر لدى معمر، والنظام والجاحظ، فهم يشيرون إلى وجود طبائع مادية بحتة وصفات ذاتية في الأشياء، تعد أساس العلاقة السببية في هذا العالم؛ لأنها تؤثر في تشكل الأشياء فيه على هيئة معينة بناءً على العلاقة بين الأسباب والتأثيرات، مثل أنّ طبع النار الإحراق، وطبع الحجر السقوط. والاعتقاد بالطبع يحتمل وجود ضرورة حتمية تحكم هذا العالم، وهذا الطرح للمعتزلة أدى إلى موجة انتقادات واسعة طالتهم وخاصة انتقادات فرقة الأشاعرة، وتحديدا الباقلاني والجرجاني والغزالي، الذين قالوا بالتجويز والإمكان والاحتمال بوصفها أساسًا للعملية السببية، فهم يعتقدون بأنّ الطبائع لا دور لها في إحداث الظواهر، ولا ترتبط بالأسباب والعلل وما يتفرع عنها من القول بوجود قانون طبيعي صارم يحكم هذا العالم، بل رأوا أنّ حوادث العالم تحدث على سبيل الجواز والاحتمال لا على سبيل الإلزام الضرورة.

وفي سياق البحث في مبدأ السببية قدمت المدرسة السلفية السنية، وأبرز منظريها ابن تيمية وتلميذه ابن القيم تصورها الخاص لمفهوم السببية وعلاقة الأسباب بالمسببات، حيث يؤكد ابن تيمية وابن القيم على أهمية مبدأ السببية ودوره في الاستدلال على فعل الله في هذا الكون، فهما يعتقدان أنّ حدوث النتيجة ب لها سبب أ سبقها وأدى إليها، ومن خلال الحس والعقل يستدل الإنسان على إثبات الأسباب، فالحس يرى النار وإحراقها، والسيف وقطعه، والشمس والإنارة، والإنسان وفعله. وإضافة إلى الحواس فإنّ العقل يدرك الأسباب أيضًا، "فعندما يرى حصول الأثر مع المؤثر دائمًا، ويشعر بالسبب المناسب، يضم السبب إلى الدوران مع السبر والتقسيم الذي ينفي المزاحم، فينتج القضية الكلية، وهي أنّ كل من فعل به ذلك يحصل له الأثر المترتب عليها" (المحيش، 2003).

ولم يقتصر الاهتمام بالطبيعة ودور السببية فيها عند علماء الكلام والمدرسة السلفية السنية وغيرهم، بل امتد هذا الاهتمام إلى علماء العرب والمسلمين، فقد أسهموا بصورة واضحة في تطوير نظريات اليونان وإيجاد نظرياتهم الخاصة، في كشفهم عن نواميس الطبيعة وأسباب حدوث الظواهر فيها والآلية التي تحكمها، فقد قدم أبناء موسى بن شاكر" محمد وأحمد وحسن" مؤلفات اهتمت بدراسة الميكانيكا وطريقة تأثير الأشياء بعضها ببعض (طوقان، 2013). ولعل تصور محمد بن موسى لمبدأ الجاذبية وخواص الجذب عند الأشياء والعلاقة السببية بينها، هو الذي مهد لطرح نيوتن في الجاذبية، إلى جانب عديد من علماء العرب والمسلمين. ولا شك أنّ علماء الهند والصين قدموا تصوراتهم الخاصة في مسائل الطبيعة التي تخضع

للتجريب والاختراع، خصوصا في حقول الفلك والرياضيات والتجريب الطبيعي والبصريات، فقدم هؤلاء العلماء تصورات أسهمت بصورة واضحة في تطور العلم الحديث.

وهذه التصورات المختلفة حول مبدأ السببية عند علماء الكلام والمدرسة السنية وعلماء العرب والمسلمين وغيرهم تعيد التساؤل حول مفهوم الحتمية والتلازم الضروري بين الأسباب والمسببات، ودور الاحتمالية في حدوث ظواهر الطبيعة، الأمر الذي أدى إلى مخالفة التصور السببي عند الإغريق، ولدى أرسطو تحديدًا؛ لأنه يفسر التغيرات الحاصلة في هذا العالم بواسطة أربع علل قريبة وعلة بعيدة، هي: العلة المادية، والعلة الصورية، والعلة الغائية والعلة الفاعلة، والعلة البعيدة المتمثلة بالمحرك الذي لا يتحرك.

ويعود الفضل الأكبر في تحطيم نظرية أرسطو في الحركة والمادة إلى الفيزيائي الإيطالي غاليليو كاليلي (Galileo Galilei)، الذي أثبت بطلان نظرية أرسطو في حركة الأجسام، وبالذات في حركة السقوط الحر على سطح الأرض، وحركة القذائف. فدمر بذلك فيزياء أرسطو برمتها، ووضع على أنقاضها المبادئ الأولى للميكانيكا الجديدة القائمة على المنهج العلمي الحديث (وولف، 1994). ولا ننسى هنا دور ديكارت (Rene Descartes) في وضع أول تصور مادي ميكانيكي شامل للكون يطيع قوانين ميكانيكية بحتة.

وتوجت هذه الإسهامات في النظام الميكانيكي، الذي وضعه نيوتن في كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية (1687). وقد شكّلت ميكانيكا نيوتن نظامًا رياضيًا فيزيائيًا محكمًا ومترابطًا وكونيًا ينطبق في كل مكان وزمان على النظم الفيزيائية جميعها. ويمكن عدّه ماكينة نظرية لإنتاج المعرفة بصدد الطبيعة. وقد بث فيه نيوتن قوة رياضية غير مسبوقة بإدخال علم الحسبان (Calculus) في قلبه.

المبحث الثاني: التصور الكوني الذي تفترضه ميكانيكا نيوتن:

لقد دشن نيوتن تصورًا للكون قائمًا على مفهومي المكان والزمان المطلقين، اللذين يشكلان الخلفية الواسعة التي تتحرك فيها الأشياء جميعها وبالنسبة إليها. فافترض، أنّ المكان وعاء إقليدي لا نهائي الامتداد ومطلق، بمعنى أنّ خصائصه الهندسية أزلية وأبدية، ولا تتأثر بالمادة والأحداث المادية التي يحتويها. فلا يمكن تصور المادة من دون مكان، لكن يمكن تصور المكان من دون مادة. فالمكان قائم في ذاته ويطيع هندسة إقليدس. ويعرف نيوتن المكان كما يلي: "بدون النظر إلى أيّ شيء خارجي، فإنّ المكان المطلق في طبيعته الذاتية يبقى دائمًا متشابهًا وثابتًا " (Newton, 1846). يركز تعريف

نيوتن السابق على فكرة استقلال المكان وثباته، بينما يشير بصورة ضمنية إلى مفهوم تجانس المكان. وقد استند نيوتن إلى الفلسفة الذرية اليونانية ممثلة بلوقيبوس(Leucippus) وديموقريطس (Democritus) ، في وضع تصوره الكلاسيكي عن المكان المطلق، فعرف الذريون المادة، بأنها: الملاء (أي ما يشغل مكانا)، في مقابل الخلاء (أي المكان الفارغ). ومن ثم أمكنهم هذا من التمييز بين المكان الثابت ومحتواه الفيزيائي ذي الطبيعة المتغيرة، فالمادة بالرغم من أنها قابلة للتغير من حيث الأعراض، وثابتة من الناحية الكيفية والجوهرية، فإنها بصورة ما عرضة للتغير؛ لأنّ أجزاءها تعج بالحركة. وهذا التغير لا يؤثر في جوهر الجزيئات، وإنما على المسافة بينها. فالمواضع تظل واحدة، وما تشغله هذه الجزئيات يختلف من زمن لآخر. فالمكان لا يحتاج إلى المادة ليوجد، بينما تحتاج المادة إلى المكان في وجودها.

ومن جهة أخرى افترض نيوتن أنّ الزمان ـ أيضًا ـ تتابع لا نهائي ومطلق، يمتد من الأزل إلى الأبد، ولا يتأثر بما يدور فيه من أحداث مادية. فلا يمكن أن توجد المادة من دون الزمان، لكن يمكن للزمان أن يوجد من دون مادة، فالزمان كيان قائم في ذاته. وقد صاغ نيوتن خاصية استقلال الزمن في كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية كما يلي: "إنّ الزمان المطلق والرياضي، بذاته وطبيعته، ينتج باطراد بدون النظر لأي شيء خارجي" (Newton, 1846).

يشير تعريف نيوتن إلى أنّ الزمن في اطراد مستمر، بصرف النظر ما إذا كان المحتوى الفيزيائي متغيرًا أم في حالة ثبات. والزمن في طبيعته الذاتية فارغ، ويملأ فقط بطريقة ثانوية أو إضافية بالتغيرات، وهذه التغيرات تحدث في الزمن، ولكنها ليست الزمن ذاته؛ لأنه من طبيعة مغايرة. فكما أنّ المكان لا يتضمن بالضرورة مادة، كذلك نجد أنّ الزمن لا يتضمن بالضرورة الحركة، أو التغير بصفة عامة. ويقسم نيوتن الزمن إلى الزمن المطلق، وهو الزمان الحقيقي أو الرياضي القائم بذاته والمستقل بطبيعته، في غير نسبة إلى شيء خارجي، ويسيل باطراد. وهذا الزمن غير مرتبط بالحركة على عكس الزمن النسبي، فهذا النوع من الزمن ظاهري، وهو مقياس حسي خارجي لأية مدة بواسطة الحركة، وهو الزمان المستعمل في الحياة العادية على هيئة ساعات، وأيام، وشهور، وأعوام. وقد يكون دقيقًا، وقد لا يكون متساويًا مطردًا، وهذا الزمن الثاني يستخدم في الفلك مقياسًا لحركة الأجرام السماوية؛ لأنّ زمان الفلكيين مرتبط بالحركة، بينما الزمان المطلق غير مرتبط بالحركة (بدوي، 1973).

إنّ خاصية استقلال محتوى الزمن تأتي نتيجة مباشرة لتجانسه، وهذا الزمن يمتاز بأنه لا نهائي ومتصل. وفيما يتعلق بلانهائية الزمن، فإنها تتضمن غياب أية لحظة مؤثرة مؤقتة كانت في الماضي أو أية لحظة في المستقبل؛ لأنّ مثل

هذه اللحظات تفترض خاصية مميزة تجعلها غير متسقة مع تجانس الزمن. ويترتب على هذا أنّ تصور اللحظة الأولية التي ليس لها سابق، أو أنّ الغاية النهائية التي ليس لها لاحق، لا يمكن التفكير فيها.

ويعج المكان في ميكانيكا نيوتن بذرات مادية تتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان، وتتفاعل معا، إما عبر التصادم والترابط، وإما عن طريق التفاعل الجاذبي عن بعد. وقد تصوره نيوتن على أنه قوة لحظية بين الجسيمات، فالجاذبية لا تنتقل بصورة محدودة من مكان إلى آخر، وإنما تنتقل لحظيًا بين الأجسام والجسيمات، وقد أكد نيوتن على مفهوم الخلاء الذي أنكرته فيزياء أرسطو. فالجسيمات المادية تتحرك في الخلاء. وتتشكل ظاهرات الكون برمته من تفاعل هذه الجسيمات وترابطاتها المتنوعة. والقوة هي مقياس التفاعلات بين الجسيمات، وهذه التفاعلات هي سبب الظواهر الطبيعية والتغيرات الكيفية في الحالات الحركية للجسيمات والأحداث. وليس هناك مصادر أخرى للتغيرات، فالتفاعلات هي الأسباب. ويمكن تحديد موضع الجسيم في كل لحظة عن طريق معرفة تسارعه وموضعه الابتدائي وسرعته الابتدائية، والذي يحدد التسارع هو مجموع القوة المؤثرة فيه.

المبحث الثالث: نشوء الفيزياء الكلاسيكية

لا تقتصر الفيزياء الكلاسيكية على نظرية نيوتن في الميكانيكا الحركية فقط، ذلك أنّ ميكانيك نيوتن شكلت قاعدة للصرح الفكري الذي نسميه الفيزياء الكلاسيكية. ونذكر في هذا السياق أنّ ميكانيك نيوتن لم تكتمل على يدي نيوتن، وإنما اكتملت على أيدي الرياضيين الفرنسيين والسويسريين بصورة خاصة، وعلى أيدي الفلاسفة الماديين الفرنسيين. وقد طورها وأزال تناقضاتها رياضيون عظماء، مثل: موبرتيه، ودلمبير، ولاغرانج، وهاملتون. كما أنّ أنطولوجيا ميكانيك نيوتن بلغها فلاسفة فرنسا الماديون، مثل: هولباخ (paul Holbach)، والبلجيكي لامتريه (Georges Lemaitre)، وديدرو (Denis Diderot)، وغيرهم. وعلى هذه القاعدة المكتملة تمكن فيزيائيو القرن التاسع عشر، من إقامة علم الحرارة (الثرموديناميك) وعلم الكهرباء والمغناطيسية (نظرية المجال الكهرومغناطيسي)، وعلم الضوء. وشكلت هذه النظريات ـ في مجموعها ـ ما يسمى الفيزياء الكلاسيكية.

وفي مطلع القرن التاسع عشر بيّن العالم الإنجليزي توماس ينغ (Thomas Young)، والعالم الفرنسي فرينل (Augustin Fresnel)، أنّ الضوء عبارة عن أمواج، وينتقل كما تنتقل الأمواج، وليس سيلا من الجسيمات الدقيقة، وافتراض أنّ هذه الأمواج تتحرك في مائع مطلق يملأ المكان برمته، أسمياه الأثير. وهكذا أضاف علماء الضوء الأثير مكونًا أساسيًا

في الكون، جنبًا إلى جنب مع الجسيمات المادية (أوميس، 2008). وفي الثلثين الأخيرين من القرن التاسع عشر، أضاف الفيزيائي الإنجليزي مايكل فارادي، والفيزيائي الإسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل، مكونًا آخر إلى الكون هو المجال الكهرومغناطيسي، وهو امتداد من الطاقة والقوة المنتقلة عبر المكان برمته، ويؤثر في الجسيمات المشحونة كهربائيًا والمغانط ويتولد عنها أيضًا، وهذا المجال الكهرومغناطيسي ليس طاقة في حد ذاته، بل هو يشكل بنية في الفضاء تسمح للتأثيرات الكهربائية والمغناطيسية بالتفاعل والتأثير في بعضها بعضًا. وقد توج هذا العمل في أربع معادلات تفاضلية، راحت تعرف بمعادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسية (Bohm,1957)، وقد قامت فيزياء المجال على أساس التوحيد بين حقلي الكهرباء والمغناطيسية، ضمن ما يسمى المجال الكهرومغناطيسي، الذي جاء حلًا شاملًا للتناقضات الظاهرية بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي. وقد شكلت نظرية ماكسويل في المجال، إطارًا مفهوميًا أوسع وأعمق من الإطارين؛ الجسيمي والأثيري، في فهم الظواهر الطبيعية وتفسيرها. وقد قاد شمول هذه النظرية وترابطها المنطقي لاحقًا إلى عدّ المجال مكونًا أساسيًا من مكونات الوجود المادي، على غرار النظام الجسيمي النيوتوني. وقد بينت معادلات ماكسويل الكهرومغناطيسية أنّ هذا المجال يشكل نظامًا متكاملًا وقائمًا في ذاته، وأنه ليس مجرد امتداد للجسيمات المادية. فهو يمكن أن يوجد في المكان والزمان في حال انعدام وجود مصادره الجسيمية من شحنات وتيارات كهربائية.

ومعادلات ماكسويل تنطبق على كل الفضاء، "فهي تعين بنية الحقل الكهرومغناطيسي، فكل الفضاء مسرح عمل هذه القوانين، وليس فقط، كما كان الحال في قوانين الميكانيكا، النقاط التي توجد فيها مادة وشحنات" (أينشتاين، انفلد، 1986). ولقد تبين أنّ حقلي الكهربائية والمغناطيسية مجرد تجليين مختلفين لجوهر واحد هو المجال الكهرومغناطيسي، الذي يشكل جانبًا مستقلًا من جوانب جوهر الوجود المادي.

وبعد صوغ ماكسويل للمعادلات التي تمثل بنية مجاله الكهرومغناطيسي، اكتشف إمكانية وجود موجات كهرومغناطيسية (تغيرات دورية موجية للمجال الكهرومغناطيسي في المكان والزمان). وقد بين ماكسويل أنّ "الضوء عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية" (أينشتاين، انفلد، 1986) ، وأنّ هذه الأمواج، ومن ثم أنّ التفاعل الكهرومغناطيسي، ينتقل بسرعة محدودة هي سرعة الضوء في الفراغ. وهذا يناقض مفهوم التأثير اللحظي عن بعد، وقد استطاع ماكسويل تفسير معظم خصائص الضوء، الأمر الذي أقنع علماء ذلك العصر بجذرية المجال الكهرومغناطيسي، وبعد أن صاغ ماكسويل هذه المعادلات التي تفسر المجال، نجد أنه قد تخلص من الصفات اللامادية جميعها التي لازمت جاذبية نيوتن؛ لأنه يريد أن

يكون الناقل مادياً. وأكسب ماكسويل المجال مجموعة من الصفات المادية، ما جعله نظامًا ماديًا قائمًا بذاته. وبهذا يكون ماكسويل قد قضى على التناقض القائم ظاهريًا بين الجسيم والمجال، من خلال توضيحه لمفهوم المجال، والذي كان واضحا في المجال المغناطيسي من خلال تجربة "بردة الحديد" وللتأثير الظاهر للقوى الكهربائية في محيطها، والذي يشابه في طبيعته التأثير المغناطيسي. وقد حاول ماكسويل أن يربط بين هذين الشكلين للتمثيل المجالي، وصاغ معادلاته التي تربط بين الكهربائية والمغناطيسية. والقضية الأساسية التي يريد ماكسويل توضحيها هنا، هو أنّ التأثير التفاعلي للمجالات الناتجة عن أجسام، هو نفسه عندما يكون الجسم عبارة عن مغناطيس من الحديد الممغنط أو من خلال حركة الإلكترونات عبر الأسلاك النحاسية، والتي تولد حولها مجالا مشابها للمجال الطبيعي الناتج عن المغناطيس.

وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر تعامل العلماء مع مفهوم المجال بوصفه أكثر جذرية وأولية من النظام الجسيمي النيوتوني، وهكذا تخلصت الفيزياء الكلاسيكية من ثنائية المادية واللامادية، على الأقل فيما يتعلق بالظاهرات المجالية، بينما أبقت على الفصل المطلق بين الآليات الجسيمية والآليات المجالية وحافظت على الجدران المطلقة الفاصلة بينهما.

وفيما بعد اكتشف العلماء اشتراك المجال والجسيم في الكثير من القواعد والصفات والكميات الفيزيائية التي تحددهما وتصفهما وتتداخل معًا، وتتحول وتنتقل الواحدة إلى الأخرى، عبر علاقات لورنتز(Hendrik Lorentz) التحويلية. فلو أخذنا نظامين ماديين، فيتكون الأول من مجموعة جسيمات نيوتونية متصادمة مع بعضها بعضًا، والنظام الثاني عبارة عن مجموعة من المجالات الكهرومغناطيسية البحتة (بما في ذلك الموجات الكهرومغناطيسية كالضوء)، سنجد أنّ ثمة سمات دينامية جوهرية مشتركة بين النظامين، فكلاهما يحملان الطاقة من مكان إلى آخر، فتنتقل الطاقة عبر الجسيمات الخاضعة لقوانين نيوتن(Morin, 2007)، ويمكن لهذه الطاقة أن تنتقل ـ أيضا ـ عبر الموجات المجالية الكهرومغناطيسية، التي تخضع لنوع آخر من القوانين، هي قوانين ماكسويل المجالية، التي تطيع علاقات لورنتز التحويلية.

وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر، اكتشف أنّ المجالات الكهرومغناطيسية تحمل زخمًا خطيًا وزخمًا زاويا تمامًا، مثل الجسيمات، وارتباط هذه الكميات الفيزيائية بالمجالات دل على أنها صفات مقدارية عامة للوجود المادي في أشكاله جميعها.

وفي محاولتهم التفريق بين الجسيم والمجال حاول علماء النصف الثاني من القرن التاسع عشر، وضع معيار جوهري دينامي للتفريق بين الجسيم والمجال. ويرتكز هذا المعيار على تمييز المجال بإرجاعه إلى مفهوم الطاقة البحتة، وتمييز الجسيم بواسطة الكتلة، واستندوا إلى قانون حفظ الكتلة الذي ينص على: "أنّ إجمالي الكتلة في نظام مادي مغلق يظل ثابتًا بالرغم مما يعتري النظام داخليًا من تغيرات وتفاعلات، تؤثر في طاقة مكوناتها وحركاتها" (غصيب، 1988). ولا تمس هذه التفاعلات والتأثيرات المتبادلة بين الجسيمات والمجالات، جوهر الجسيم ولا تحدث فيه تغييرًا أبدًا، بل إنّ كل ما تفعله هو التأثير فقط في حركته العرضية. وبناء على ذلك تقتصر العلاقة بين الجسيم والمجال على الحركة والحالات الدينامية فقط، من دون التعلق مطلقًا بالجوهر. فالارتباط عرضي بين حقلي الجسيمات والمجالات.

وفي منتصف القرن التاسع عشر تبين للعالِمين، أبراهام (Max Abraham) ولورنتز أنّ المجال الكهرومغناطيسي يملك قصورًا ذاتيًا، وأنه يتحرك كما لو أنه يملك كتلة قصورية نيوتونية، تتناسب طرديًا مع مربع شحنة مصدره، وعكسيًا مع نصف قطره. وهذا يعني أنّ الزخم الخطي للمجال يتناسب طرديًا مع سرعة المصدر (عندما تكون السرعة أقل بكثير من سرعة الضوء)، وأنه من الممكن عدّ ثابت التناسب كتلة المجال. وقاد هذا العلماء لاحقًا، إلى الشك بتقسيم الوجود المادي إلى مملكتي الكتلة والطاقة.

وبالرغم من كل المحاولات للتوفيق بين الجسيم والمجال؛ كونهما مماثلين لبعضهما البعض، من حيث امتلاكهما للطاقة والزخم الخطي والزخم الزاوي والقصور الذاتي، ومن حيث كونهما يخضعان لطريقة الوصف اللاغرانجية ولمبدأ هاملتون في الديناميكا (Thornton, Marion, 2004)، فإنّ هناك ما يفرق بين الجسيم والمجال بصورة مطلقة. فبينما يتصف المجال بالاتصالية، التي تعتمد على جميع النقط المكانية في الحيز الذي ينتشر فيه المجال في آن واحد، نجد أنّ الجسيم يتصف بالانفصالية، فيعتمد على نقطة واحدة في المكان في لحظة زمنية معينة. وفيما يتم تحديد الحالة الدينامية للجسيم بدلالة موضعه وسرعته؛ أي موضعيًا، فإنه يتم تحديد المجال بدلالة دوال جبرية متصلة، تمتد على طول المكان وعرضه، وذلك استنادًا إلى طبيعته الممتدة. وبالرغم من الاختلاف بين مفهوم المجال ومفهوم الجسيم، فنجد أنّ كلًّا منهما يخضع لقانون حفظ الطاقة، فهو الرابط بينهما. ومع مفهوم المجال، تمكن ماكسويل من تقديم نموذج أكثر معقولية للسببية من نموذج نيوتن السببي، فالمجال الماكسويلي يرفض انتقال التأثير بسرعة تفوق سرعة الضوء. وهذا على عكس تصور نيوتن الذي يسمح بانتقال التأثير بين الموجودات عبر مسافات شاسعة، وذلك من خلال مفهوم التأثير عن بعد.

ومن جهة أخرى، إذا ما انتقلنا إلى قارة الحرارة (الثرموديناميك)، فنجد أنها شكلت الإرهاصات الأولى لأزمة الفيزياء التقليدية. فالحرارة، ولغاية القرن التاسع عشر، كانت تخضع لتفسيرين: الأول يتعامل مع الحرارة بوصفها سيالًا لا يمكن وزنه، ولهذا التفسير كانت السيادة من الناحية التجريبية. والثاني بوصفها نتيجة لاهتزازات جزيئات المادة، وقد بقي هذا التفسير من دون أسس تجريبية تدعمه لغاية مجيء دانيل برنولي (Daniel Bernoulli) ، الذي قدم الأسس التجريبية لهذا التفسير في عام 1738.

وقد قامت نظرية القوى الحرارية هذه على مجموعة من القوانين. وتركز هذه الدراسة على القانونين؛ الأول والثاني لهذه النظرية، وينص قانون القوى الحرارية الأول على مبدأ بقاء الطاقة، ويسمى ـ أيضًا ـ بمبدأ تكافؤ الحرارة والشغل. ففي عام 1842 أعلن الفيزيائي ماير (Julius Mayer) إمكان رد الشغل إلى حرارة والحرارة إلى شغل، فكل كمية محددة من الحرارة تساوي كمية محددة من الشغل الميكانيكي. والطاقة هي الشغل حسب القانون الأول للحرارة. وفيما بعد أثبت جول (James Joule)(1840– 1850) أنّ الكمية الكلية للطاقة داخل نظام معين هي كمية ثابتة، "فالكمية التي تفقد في الشغل تعود لتظهر مرة أخرى على شكل حرارة" (Dampier,1942, p.345)، وقد تم التوصل إلى هذه النتائج استنادًا إلى مجموعة من التجارب، التي أجريت على غاز موضوع في إناء، فتتحرك هذه الجزئيات وتتصادم مع بعضها البعض، لتفسر لاحقًا ضغط الغاز وحرارته. فحرارة الغاز مرتبطة بحركة الجزيئات. واستنادًا إلى هذه التجارب أعلن أنّ "الحرارة شكل من أشكال الطاقة" (أينشتاين، انفلد، 1986).

هذا فيما يتعلق بالقانون الأول للقوى الحرارية، أما فيما يتعلق بالقانون الثاني، فقد أخذ تعريفه على يدي سادي كارنو (Sadi Carnot) وكلوسيوس (Rudolf Clausius)، الذي صاغ تعريفه الأخير، وينص هذا المبدأ على عدم إمكانية تحويل الحرارة تحويلًا كاملًا إلى شغل، ولا يمكن للحرارة أن تنتقل من جسم ذي درجة حرارة منخفضة إلى جسم ذي درجة حرارة أعلى في عملية دورية (cyclic). ويؤكد القانون الثاني للحرارة على مفهوم الإنتروبيا "التي تقيس درجة اضطراب أحد النظم" (هوكنج، 2006). ففي حالة وجود نظامين منفصلين في حالة توازن حراري، وسمح لهما بتبادل المادة والطاقة عن طريق التلامس، فإنهما سيصلان إلى حالة توازن متبادلة. ويمكن القول: إن إنتروبيا نظام معزول لا يمكن أن تنخفض، ويؤكد هذا القانون على أنّ العمليات الطبيعية التلقائية تزيد من إنتروبيا النظام، فيشير هذا المبدأ إلى أنّ العمليات التي ينطبق عليها، غير قابلة للارتداد أو غير معكوسة، وأنّ قياسها لا يتم استنادًا إلى الرياضيات الإقليدية. بل تستلزم هذه العمليات،

كما يرى بولتسمان (Ludwig Boltzmann) المنهج الإحصائي الذي يتفق مع طبيعة هذه العمليات. وهكذا يصبح هذا القانون أول تطبيق لحساب الاحتمالات على الفيزياء. مستبعدًا بذلك فكرة التحديد الصارمة لظواهر الطبيعة التي سادت في الفيزياء الكلاسيكية، فمع القانون الثاني للحرارة لا يمكن التنبؤ بحركة الجزيئات التي تصطدم في الإناء استنادًا إلى معرفة مواضع الجزيئات السابقة وسرعاتها.

المبحث الرابع: مبادئ ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية:

إنّ لميكانيكا نيوتن، علاقة تأسيسية بالفيزياء الكلاسيكية، كما ذكرنا سابقًا، وهذا ما يجعل من الأهمية بمكان، أن نذكر المبادئ التي تقوم عليها، وهي:

أولًا– القانون الصفر لنيوتن: إن التعبير المقداري الأهم للتفاعلات بين الجسيمات، هو مفهوم القوة؛ فالقوة هي مقياس التفاعل، إنها التجسيد الأكبر للسبب المادي. فميكانيكا نيوتن تُعرف بدقة رياضية مفهوم السبب؛ أي سبب التغيير وسبب الأحداث. وينص هذا القانون على أنّ القوة متجه، أي أنه يطيع جبر المتجهات (غصيب، 1999).

ثانيا– قانون نيوتن الأول في الحركة: ويمكن تسمية هذا القانون قانون القصور الذاتي، وقد اكتشف هذا القانون غاليليو في سياق تحطيمه فيزياء أرسطو وبناء بذور الميكانيكا الجديدة، وقد أعطاه ديكارت شكله الدقيق، لكن نيوتن بين مغزاه في منظومة الميكانيكا الجديدة. وينبع هذا القانون من التساؤل التالي: في غياب القوة، كيف يتحرك الجسيم في المكان والزمان؟ ويعرف الجسيم هنا بوصفه نقطة تحمل كتلة وتتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان. ويأتي هذا القانون إجابة دقيقة لهذا السؤال، فإذا كان مجموع القوى المؤثرة في جسيم تساوي صفرًا، فإنّ الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم، أو يكون ساكنًا، والعكس بالعكس. وبتعبير آخر: "فإنّ الحالة الطبيعية لحركة الجسيم هي الحركة المنتظمة في خط مستقيم، ويبقى الجسيم في حالة حركته تلك، ما لم تؤثر فيه قوى خارجية تغير من هذه الحالة، وأحيانا يسمى هذا المبدأ بمبدأ القصور الذاتي (Newton, 1846).

يقودنا قانون نيوتن هذا إلى تساؤل مضمر في بنيته: بالنسبة لأي مرجع إسناد ونظم إحداثيات، ينطبق هذا القانون؟ فالنص من دون معنى ما لم نحدد مراجع الإسناد التي ينطبق القانون فيها. فمرجع الإسناد هنا يدخل جوهريًا في تثبيت معاني

العناصر الأساسية المكونة لنص القانون، وإذا ما حللنا القانون، تبين لنا أنّ نص القانون يسري فقط بالنسبة إلى مراجع الإسناد القصورية التي تتحرك بسرع ثابتة في خطوط مستقيمة بالنسبة إلى بعضها وإلى مادة الكون (غصيب، 1999).

ثالثا– قانون نيوتن الثاني في الحركة: وينبع هذا القانون من التساؤل: إذا لم تكن القوة المؤثرة في الجسيم صفرا، فكيف يتحرك الجسيم؟ وفي ضوء القانون الأول فإنه من الواضح أنّ القوة تولد التغير في السرعة المتجهة؛ أي تولد التسارع في الجسم؛ أي يمكن القول: إنّ القوة هي السبب، والتسارع هو النتيجة. فكيف ترتبط القوة رياضيًا بالتسارع الذي يُعرف، بأنه: المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة، ويساوي هذا التغير القوة المؤثرة في الجسيم مقسومة على كتلة الجسيم؟ أي كيف يرتبط السبب رياضيًا بالنتيجة؟ ينصّ قانون نيوتن الثاني على أنّ القوة بوصفها متجهًا تتناسب طرديًا مع التسارع بوصفه متجهًا أيضًا. ويسمى ثابت التناسب: الكتلة القصورية للجسيم، وهو خاصية ذاتية من خصائص الجسيم، ويعبر عن القصور الذاتي فيه؛ أي أنّ الكتلة تقاوم التغير في الحالة الحركية للجسيم. من ثم يمكن أن نصوغ قانون نيوتن الثاني بالقول: "إنّ القوة المؤثرة في الجسيم تساوي كتلته مضروبة في تسارعه "F=ma (Newton,1846)، وقد سخر نيوتن هذا القانون ببراعة فائقة، في اشتقاق قوانين كبلر في حركة الكواكب حول الشمس، وفي حل الكثير من المسائل الميكانيكية.

وتمثل F في هذا القانون القوة المؤثرة في الجسم، وتمثل M كتلة الجسم وتقاس بـ Kg، و a تمثل تسارع الجسم الذي يعرف بتغير السرعة بالنسبة للزمن، ويقاس ب م / ثانية مربع. فعند وجود غير قوة خارجية، فإنّ التسارع يتناسب طرديًا مع القوة الكلية الصافية، وعكسيًا مع كتلة الجسم.

فلو افترضنا أنّ هناك قطارًا يسير بسرعة ثابتة على سكة الحديد من دون تغيير سرعته، فإنّ تسارعه في هذه الحالة هو صفر؛ لأنّ سرعته لم تتغير، ولو افترضنا أنّ سائق القطار قد زاد من سرعته بمعدل معين بالنسبة للزمن بالضغط على دواسة الوقود، فسوف تتزايد القوة المطبقة على السيارة، ما يؤدي إلى زيادة التسارع بصورة مباشرة.

رابعا– قانون نيوتن الثالث في الحركة: وينبع هذا القانون من الملاحظة الآتية: إذا كان هناك تفاعل بين جسيمين، فإنّ كل جسيم يؤثر في الجسيم الآخر بقوة، وتسمى هاتان القوتان: الفعل ورد الفعل (Newton,1846). فما العلاقة بين الفعل ورد الفعل؟ وينص هذا القانون على "أنّ الفعل ورد الفعل متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه:

$$FAB = - FBA \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

فعندما يؤثر الجسم A على الجسم B بقوة ما نسميها FAB وهي تتجه باتجاه اليمين، فإنّ الجسم B يؤثر في الجسم A بقوة تسمى FBA بحيث تساوي FAB بالشدة، وتعاكسها في الاتجاه أي تتجه نحو اليسار. إذن يمكن القول: إنّ قوة الفعل ترتبط بكتلة الجسم وتسارعه، وتتناسب طردًا مع كل منهما، فعندما تزداد كتلة الجسم وتسارعه فإنّ قوة الفعل تزداد، بالتالي تزداد قوة رد الفعل؛ لأنها تساويها بالشدة، ولكن اتجاهها يكون مختلفًا، وعليه فإنّ السببية هنا تبرز من خلال التفاعل الحاصل بين جسمين، من خلال القوة المسلطة من A على B، فعندما ندفع سيارة باتجاه الأمام، فإنّ هذه القوة تعد الفعل، أما رد الفعل فهو استجابة الجسم للقوة التي مورست عليه، فعندما تدفع السيارة بقوة، فإنّها ـ أيضًا ـ ستدفعك باتجاه معاكس لاتجاه القوة التي مارستها، وهذا هو التفاعل بين القوتين.

خامسا– قانون حفظ الزخم الخطي: يعرف الزخم الخطي بأنّه الكتلة مضروبة في السرعة المتجهة. ويمكن صوغ قانون نيوتن الثاني بالقول: إنّ القوة المؤثرة في جسيم تساوي المعدل الزمني للتغير في الزخم الخطي للجسيم، ويمكن تمثيله رياضيا بالصورة التالية:

$$F=dp/dt.....(2)$$

فإذا صُغناه بهذه الصورة، توصلنا إلى أنّ مجمل الزخم الخطي في نظام ميكانيكي مغلق محفوظ؛ أي لا يتغير زمنيًا. وهو مبدأ أساسي في الفيزياء، يتخطى الفيزياء الكلاسيكية صوب نظرية النسبية ونظرية الكوانتم (غصيب، 1999، ص102).

ويمكن تمثيل قانون الزخم الخطي كما يلي:

مجموع الزخم الخطي الإجمالي قبل التصادم = مجموع الزخم الخطي بعد التصادم، ويمكن تمثيله رياضيا بالصورة التالية:

$$(M1b*v1b) +(m2b*v2b) =(m1a*v1a) +(m2a*v2a)..... (3)$$

ومثال عليه: عندما تصطدم سيارتان على الطريق، فيمكن استخدام قانون حفظ الزخم الخطي لتحليل حركة السيارات والتنبؤ باتجاهها بعد التصادم، من خلال معرفة سرعتها وكتلتها وزوايا التصادم.

سادسًا– قانون نيوتن في الجاذبية الكونية: ينص هذا القانون على أنّ كل جسيم في الكون يؤثر في كل جسيم آخر بقوة الجاذبية، وهذه القوة تؤثر لحظيًا بين الجسيمات المادية (Greiner, 1989). وينص القانون على أنّ القوة التي يؤثر بها

جسيم على جسيم آخر جاذبيًا تساوي، من حيث المقدار، ثابتًا كونيًا مضروبًا بكتلتي الجسيمين، ومقسومًا على مربع المسافة بينهما، ويمكن تمثيل هذا القانون رياضيا بالصيغة التالية:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2},\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

وهذه القوة جاذبة، فيجذب كل جسيم الجسيم الآخر صوبه. وقد استطاع نيوتن أن يشتق حركات المجموعة الشمسية برمتها من هذا القانون، مقرونًا بقوانين الحركة (غصيب، 1999).

وفي قانون الجاذبية عند نيوتن فإنّ F هي القوة الجاذبة بين جسمين. و Gهو ثابت الجاذبية العالمي،

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

وفي هذا القانون فإنّ M1 وM2 هي كتلة الجسمين اللذين تجتذبهما قوة الجاذبية، و rهي المسافة الوسطية بين الجسمين. ووحدات القياس لثابت الجاذبية هي:

$$m^3 \text{ و} kg^{-1} \text{ و} s^{-2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

وبناءً على ذلك، فنستنتج أنّ قانون الجاذبية، هو تأثير ناتج عن كتلة الأجسام ومسافتها، وهذا التأثير يجعل الأجسام تنجذب باتجاهات معينة، وبقوة تزداد مع زيادة كتلتها، وتقل مع زيادة المسافة بينها، ومن خلال هذا النموذج السببي، نفهم كيف يعمل الكون من حولنا بناء على قوة الجاذبية.

سابعًا– قانون حفظ الطاقة الميكانيكية: استطاع علماء القرن الثامن عشر أن يضيفوا إلى ميكانيكا نيوتن مفهوم الطاقة الميكانيكية، المكوّن من طاقة الحركة وطاقة الوضع، وبيّنوا أنّ الطاقة الميكانيكية الكلية في نظام ميكانيكي مغلق محفوظة، وهذا يعني أنّ طاقة الحركة تتحول باستمرار إلى طاقة وضع، والعكس بالعكس، ويعرف هذا القانون بقانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

ثامنًا– القانون العام لحفظ الطاقة: في منتصف القرن التاسع عشر، بيّن علماء الحرارة أنّ الطاقة بصورة عامة محفوظة في نظام مغلق، وهذا يعني أنّ الطاقة تأخذ أشكالًا متنوعة هي طاقة الحركة، وطاقة الوضع، والطاقة الكيميائية، والطاقة الحرارية، والطاقة الكهربائية، والطاقة المغناطيسية، والطاقة الضوئية. وتتحول هذه الأشكال إلى بعضها بعضًا، لكنّ الطاقة الكلية في نظام مغلق تكون محفوظة، وهذا القانون هو تعميم حراري لقانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

تاسعا– قانون حفظ الزخم الزاوي: هناك كمية مهمة في وصف الحركة الدورانية، هي الزخم الزاوي. وقد تبين أنّ الزخم الزاوي في نظام مغلق تكون محفوظة، وقد عرف نيوتن الزخم الزاوي بوصفه كميةً متجهةً تعبر عن مدى انحراف حركة الجسيم عن الخط المستقيم، وتساوي طاقة الحركة نصف حاصل ضرب الكتلة في مربع السرعة، ويبقى مجموعها محفوظًا في حالة التصادمات بين الجسيمات، ويعبر التغير فيها عن الشغل الذي تبذله القوى المؤثرة في الجسيم في أثناء حركته (غصيب، 1999).

عاشرا– القانون الأول في الثرموديناميك: وهو الشكل الذي يأخذه القانون العام لحفظ الطاقة في النظم الحرارية:

$$\Delta U = q + W \quad \text{.....(7)}$$

حيث إنّ ΔU هي التغيير في الطاقة الداخلية للنظام، و $Q+$ هي الحرارة المنتقلة إلى النظام إذا كانت إيجابية أو الحرارة المنتقلة إلى النظام إذا كانت سلبية $Q-$، وW هو العمل الذي قام به النظام على محيطه إذا كان إيجابيًا أو العمل الذي قام به النظام إذا كان سلبيًا.

الحادي عشر– القانون الثاني في الثرموديناميك: وينص على أنّ الحرارة تنتقل عفويًا، أي من دون قسر خارجي من الجسم الذي يمتلك درجة حرارة مرتفعة إلى الجسم الذي يمتلك درجة حرارة أدنى، وليس العكس (Lenzen,1954. P52.). ويسمى ـ أيضًا ـ قانون الإنتروبي، والإنتروبي هي الكمية التي تقيس درجة العشوائية في النظام الحراري. وينصّ هذا القانون على أنّ الإنتروبي تزداد دومًا في أيّ نظام مغلق، بمعنى أنّ العشوائية تزداد مع الزمن في أيّ نظام مغلق، ويعبر عن هذا القانون الثاني في الثرموديناميك رياضيًا كما يلي:

$$(\Delta S)_{univ.} = (\Delta S)_{sys.} + (\Delta S)_{surr.} = Q_{sys.}/T + Q_{surr.}/T \quad \text{.....(8)}$$

حيث إنّ ΔS univ هي التغيير في الإنتروبيا الكلية للنظام والمحيط المحيط به. وΔS surr هي التغيير في الإنتروبيا للمحيط المجاور للنظام، وQ-sys هي الحرارة التي يتم تبادلها مع النظام، و T هي درجة حرارة المصدر (ساخن أو بارد) بمقياس كلفن.

الثاني عشر– قوانين الكهرومغناطيسية: وتعبر عنها معادلات ماكسويل الأربع:

1- قانون غاوس (Johann Gauss) في الكهرباء، الذي ينص على أنّ مصدر الشحن الكهربائي ينتج عنه خطوطٌ للمجال ويعبر عن هذا القانون بالمعادلة الرياضية وفقا للصيغة التكاملية التالية:

$$\oint E \cdot dA = \frac{q}{\varepsilon_0} > _2 \quad \text{.....(9)}$$

2- قانون غاوس للمغناطيسية الذي يطرح قوتين من عنصرين للمغناطيس، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الرياضية وفقا للصيغة التكاملية التالي:

$$\oint B \cdot dA = 0 \text{ .....(10)}$$

3- قانون إمبير (Andre Ampere) الذي يعبر عن قيمة المجال المغناطيسي المتولد بواسطة تيار، ويمكن التعبير عنه بواسطة المعادلة الرياضية وفقا للصيغة التكاملية التالية:

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 (\int J \cdot dA + \int (\varepsilon_0 (dE/dt)) \cdot dA \text{ .....(11)}$$

4- والقانون الرابع هو قانون فاراداي في الحث، الذي يعطينا مقدار المجال الكهربائي المستحث في دائرة بواسطة اختلاف الفيض المغناطيسي خلال الدائرة، الذي يمكن التعبير عنه بواسطة المعادلة الرياضية، وفقا للصيغة التكاملية التالية:

$$\oint E \cdot dl = -d/dt \left(\int B \cdot dA\right) \text{..... (12)}$$

إلى جانب هذه القوانين يستخدم قانون كولوم (Charles Coulomb) الذي يطرح القوة بين شحنتين (أوميس، 2008)، والذي يمكن التعبير عنه بالمعادلة الرياضية وفقًا للصيغة التكاملية التالية:

$$F = kq1q2/r^2 \text{ ..... (13)}$$

يمكن القول: إنّ مبادئ الفيزياء الكلاسيكية عامة وميكانيكا نيوتن خاصة، لا تفرق بين مرجع إسناد قصوري وآخر. وقد عرّف نيوتن مرجع الإسناد القصوري بوصفه "نظامًا ماديًا يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة إلى النجوم الثابتة" (غصيب، 1999) ، وقد أصر نيوتن على وجود مكان مطلق أو (وسط أثيري مطلق)، يشكل المرجع الطبيعي لكل القوانين والعلاقات والظواهر. بالرغم من أنّ قوانين الحركة لا تفرق بين هذا المكان المطلق، وبين أيّ مرجع إسناد قصوري آخر، يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة إليه. وتطيع قوانين نيوتن علاقات التحويل الجاليلية عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. وعلاقات التحويل الجاليلية (Galilean Transformation) هي نوع من التحولات الرياضية تستخدم لتحويل متغيرات المكان والزمان بين نظاميين إطاريين اثنين، يتحركان بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضهما بعضًا، وعادة ما تستخدم

هذه العلاقات لوصف حركة الأجسام على سرعات تكون صغيرة مقارنة بسرعة الضوء. وتعتمد هذه التحويلات الجاليلية على افتراض أنّ الزمان والمكان، هما متغيرات مستقلة وثابتة في الفيزياء الكلاسيكية. ومن خلال علاقات التحويل الجاليلية يمكن التنبؤ سببيا بالحركة وتأثير القوى من دون الحاجة إلى تعديلات نظرية الحركة عند التحول بين الأنظمة المرجعية والحركة المستمرة.

وقد أصر نيوتن على وجود المكان المطلق، بعد أن أدرك أنّ السرعة نسبية، وأنّ التسارع ـ وهو المعدل الزمني لتغير السرعة ـ مطلق، وهذا يعني أنّ قوانين الحركة تمكننا من الاستدلال على التسارع بالنسبة إلى المكان المطلق وقياسه، وإن كانت لا تمكننا من الاستدلال على السرعة بالنسبة إلى المكان المطلق، ويعد وجود التسارع المطلق دليلًا على وجود مكان مطلق، وهذا ما دفع نيوتن للإصرار عليه.

وقد استند نيوتن، في دعمه لفكرة التسارع المطلق، إلى أننا نشعر بالتسارع، ولكننا لا نشعر بالسرعة، وسبب عدم شعورنا بدوران الأرض حول نفسها، هو صغر تسارع هذا الدوران، بالرغم من أنّ سرعة الدوران كبيرة. فأيّ إطار مادي لا يتسارع بالنسبة إلى النجوم الثابتة (مادة الكون) لا نشعر بحركته، لكنه ما إن يبدأ بالتسارع بالنسبة إلى مادة الكون حتى نبدأ نشعر بالحركة بصورة واضحة. ونجد الأمر كذلك في خبرتنا اليومية، فنحن لا نشعر بحركة الطائرة التي نستقلها ما دامت تسير بسرعة ثابتة في خط مستقيم، لكننا نشعر بتسارعها لحظة إقلاعها وهبوطها؛ أيّ عندما تتسارع وتتباطأ، ونحن نشعر بهذا التسارع بتأثير قوى غير معروفة المصدر تدعى بالقوى الوهمية أو القصورية (قوة الطرد المركزي)، في مراجع الإسناد المتسارعة. وقد توصل نيوتن إلى هذا النوع من القوى بعد تمييزه بين نمطي الإسناد (القصوري والمتسارع)، ووجود مثل هذه القوى التي عزاها نيوتن إلى تسارع مراجع الإسناد بالنسبة إلى المكان المطلق، هو ما أقنعه بوجود تسارع مطلق، ثم مكان مطلق.

المبحث الخامس: السببية وإشكالاتها في ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية:

نستنبط من قراءة تاريخ النظرية الفيزيائية أنّ كل نظرية أساسية، تنطوي على تصور للسببية، وتحدد معناه. ويبدو أنّ السببية هي شرط من شروط البناء النظري في الفيزياء، ويقودنا هذا إلى فكرة مفادها أننا لا نستطيع أن نتكلم عن السببية بمعناها الطبيعي من دون النظرية الفيزيائية، فالأخيرة هي التي تكسب السببية معنىً محددًا. وفي الميكانيكا النيوتونية، فإنَّ مصدر التغيرات والأحداث المادية هو التفاعلات المادية بين المكونات المادية وبين الجسيمات الأولية تحديدًا، وتعدّ القوة المقياس الرئيس للتفاعلات المادية. فنظرية نيوتن في الحركة تحدد معنى السبب، بأنه القوة المؤثرة في نظام فيزيائي. ومن جهة أخرى فإنّ ميكانيكا نيوتن تحدد ـ أيضًا ـ معنى النتيجة أو التغير أو الحدث. فهي تؤكد، عبر قانون نيوتن الأول في الحركة، أنّ هناك حالة حركية طبيعية لا تستلزم سبباً خارجياً لوجودها، وهي حالة السكون أو حالة الحركة المنتظمة في خط مستقيم. فهذه هي حركة الجسيم في غياب تأثير القوى، أو إذا كان مجموع القوى المؤثرة يساوي صفرًا. بذلك فإنّ ميكانيكا نيوتن تعرف الحدث أو النتيجة أو التغير على أنه الانحراف عن هذه الحالة الحركية الطبيعية، وهذا ما يعبر عنه مقداريًا قانون نيوتن الثاني في الحركة. "فالجسم المتحرك يعود إلى حالته الأولى عندما لا تعود القوة التي تدفعه قادرة على التأثير بشكل يدفعه" (أينشتاين، إنفلد، 1986).

يمكن القول إذن، إنّ الحوادث التي تحدث في العالم وفقًا للفيزياء الكلاسيكية، تستلزم تصورًا سببيًا صارمًا. ويعني هذا أنّ الحالة الآنية لأيّ نسق من الأنساق الفيزيائية، ميكانيكية كانت أم كهرومغناطيسية، هي سبب لحالته المستقبلية، وهي ـ أيضًا ـ نتيجة لحالته الماضية. فالحالة الآنية لنظام ما هي نتيجة ضرورة لحالته السابقة، وهي سبب ضروري لحالته اللاحقة. وتشير قوانين الميكانيكا الكلاسيكية إلى أنه إذا ما أدركت الحالة الأولية نفسها في أيّ زمان ومكان، فإنّ تسلسل الحالات نفسه يحدث. (Lenzen,1954). إذن فقوانين الميكانيكا الكلاسيكية تساعدنا على التنبؤ بمسار أيّ جسم متحرك في المستقبل، وتعلمنا ـ أيضا ـ عن حالته في الماضي، وذلك استنادًا إلى ظروفه الحاضرة والقوى المسلطة عليه.

ولنقارن ـ هنا ـ بين سببية ميكانيكا نيوتن والسببية المستمدة من الخبرة اليومية، تلك التي وجدت تعبيرًا لها في أطروحات بعض الفلاسفة، مثل: ديفيد هيوم، وإيمانويل كانط. تفيد الخبرة اليومية أنّ السببية في خبرتنا اليومية تستلزم مبدأ التجاور المكاني والتعاقب الزمني. فالسبب والنتيجة يكونان متجاورين مكانيًا، والسبب بالضرورة يسبق زمنيا النتيجة، فهل ينطبق هذا التوصيف كليًا على سببية ميكانيكا نيوتن؟ إنه بالفعل ينطبق على التفاعلات المادية في حال تصادم الجسيمات

معًا، أو ملامسة الأجسام لبعضها بعضًا (الاحتكاك مثلا). ففي التصادم مثلًا نجد أنّ التجاور المكاني والتعاقب الزماني، سمتان ملازمتان لفعل السببية. ولكن ماذا بشأن الجاذبية أو التأثير اللحظي عن بعد؟ هنا نجد أنّ هاتين السمتين لا تنطبقان البتة. فالأجسام المتفاعلة جاذبيًا، ليست متجاورة مكانيًا. ولما كان هذا التفاعل لحظيًا، فإنّ هذا ـ أيضًا ـ يضع علامة استفهام على سمة التعاقب الزمني، فهنا نجد أنه من الصعب أن نحدد السبب والنتيجة، أو أن نفصل بين السبب والنتيجة. ولربما هذا كان في ذهن برتراند رسل عندما قال: إنّ العلم الحديث تخطى مبدأ السببية صوب المعادلات التفاضلية ونتائجها (Russell, 1966) فيقول رسل: "يبدو بالنسبة لي، أنه لا ينبغي على الفلسفة أن تفترض مثل هذه الوظائف ذات الصبغة التشريعية؛ لأنّ السبب الذي حدا بالفيزياء أن تتوقف في البحث عن الأسباب، هو في الحقيقة، أنه لا توجد مثل هذه الأشياء، وأعتقد قانون السببية مثله في ذلك مثل كثير مما يفوت على الفلاسفة، هو مخلفات من عصر مضى، وقد ظل باقيًا، مثل: النظام الملكي، لا لشيء سوى الافتراض خطأ، بأنه لا ضرر منه" (Russell, 1919) وبالتأكيد فإنّ نيوتن صاحب نظرية الجاذبية، كان قلقًا جدًا بشأن مفهوم التأثير اللحظي عن بعد، وحاول التخلص منه، لكنّه لم يفلح في ذلك، وأبقى عليه؛ لأنّه أفلح في تفسير الظاهرات الكونية على اختلاف أنواعها.

أما فيما يتعلق بتطورات الفيزياء الكلاسيكيّة في القرن التاسع عشر، فقد جاءت منسجمة تمامًا مع مبدأ السببيّة المستمد من الخبرة اليومية، وتحديدًا نصّت نظرية الأثير على أنّ المؤثرات تنتقل بسرع محدودة عبره. لكنّ الأهم من ذلك هو نظرية ماكسويل في الكهرومغناطيسية، إذ بيّنت أنّ المؤثرات الكهرومغناطيسية، تنتقل بسرعة الضوء المحدودة في الخلاء من نقطة إلى أخرى، بمعنى أنها لا تطيع مبدأ التأثير اللحظي عن بعد، وإنّما تطيع قوانين المجال التي عبر عنها ماكسويل في معادلاته المشهورة. فلا يشعر جسيم مشحون بجسيم مشحون آخر لحظيًا، وإنّما يشعر بالمجال الكهرومغناطيسي، الذي ينتقل في المكان والزمان. فالتفاعل الفعلي لا يحدث بين الجسيمين في حد ذاتهما، وإنّما يحدث بين الجسيم والمجال. فالمجال لا يربط بين موجودات بينها مسافات كبيرة؛ لأنها لا تربط الحوادث "القريبة" هنا بالظروف "البعيدة" هناك، بل إنّ المجالَ مرتبط بالجوار القريب جدًا، وفي لحظة زمنية سابقة، ببرهة قصيرة جدًا. فالمجال يتيح التنبؤ، ولكنه يتنبأ بما سيحدث في نقطة أبعد بقليل، وفي اللحظة التالية، وذلك اعتمادًا على معرفتنا بما يحدث في اللحظة الآنية للحدث، وعملية التنبؤ هذه تقودنا لمعرفة ما سيحدث في النقاط البعيدة(أينشتاين، ألبرت، أنفلد، ليوبولد،1986).

والمجال بالتأكيد امتداد من الطاقة والقوة في المكان والزمان. فهنا نجد أنّ التفاعل بين الجسيم والمجال يطيع مبدأ التجاور المكاني والتعاقب الزمني. فالتأثير السببي الكهرومغناطيسي لا يؤثر في الجسيم المشحون إلا عندما يصل إلى موضعه، وبالتأكيد، فإنه يسبق زمنيًا التغير الذي يطرأ على الجسيم المشحون. وعند معالجتنا لمجال كهرومغناطيسي، فإننا نأخذ بعين الاعتبار اتجاه القوى الكهرومغناطيسية وكثافتها، عند كل نقطة في الفضاء في لحظة معينة، التي يمكن لنا منها أن نتنبأ بمواضع القوى الكهربائية والمغناطيسية وسرعاتها واتجاهاتها وكثافتها في اللحظة التالية. فليس هناك إشكالات سببية في نظرية الضوء ونظرية المجال الكهرومغناطيسي. وكذلك الأمر بالنسبة إلى نظرية الحرارة (الثرموديناميك)، التي أضحت في فيزياء القرن التاسع عشر تعبيرًا عن قوانين نيوتن في الحركة، مقرونة بقوانين الاحتمال، فهي لا تهتم بالحالات الفردية، بل إنّ ما تنشده هو معرفة متوسط القيم التي تتميز بها كل المجموعة.

في هذا التأويل السائد كان يتم تقسيم المادة إلى نوعين: المادة الملموسة والأثير. وكان يتم اعتداد المجال الكهرومغناطيسي والضوء ظاهرة أثيرية. ووفقاً لهذا التأويل، فإنّ المغناطيس عندما يتحرك في الأثير، يتغير مجاله في الزمان، وهذا التغير في المجال المغناطيسي يولّد مجالًا كهربائيًا حين يتحرك في الأثير، وهذا المجال الكهربائي ناجمٌ عن التفاعل السببيّ الماديّ للمجال المغناطيسي بسرعة مطلقة مع الأثير، وحين يبقى المغناطيس ثابتًا وتحركت الحلقة صوبه، لا يتولد مجال كهربائي، لكنّ تيارًا كهربائيًا ينشأ في الحلقة بفعل قوة لورنتز التي تنشأ عن حركة الإلكترونات في المجال المغناطيسي، فتنتقل الطاقة فيه انتقالاً موجياً متصلاً، وليس انتقالا لجسيمات.

ويمكن القول: إنّ التفاعل بين الجسيمين المشحونين يتم من خلال المجال الكهرومغناطيسي، ما شكّل نموذجاً لحل ممكن لمشكلة الجاذبية النيوتونية، فالتفاعل السببي الكهرومغناطيسي ليس لحظيًا، وإنّما ينتقل بسرعة الضوء من نظامٍ مادي إلى آخر. ومن ثمّ فإنّ هذا التفاعل يطيع التجاور المكاني والتعاقب الزمني في السببية. وهذا التفاعل ليس بين الجسيمات المشحونة بصورة مباشرة، وإنما هو تفاعل موضعي بين الجسيم والمجال في النقطة المعنية واللحظة الزمنية المعنية.

وجدير بالذكر في هذا السياق، أنّ القوى الكهربائية والمغناطيسية وفقًا لمعادلات ماكسويل، لم تظهر تناظرا كافيا، فالقوى الكهربائية ذات شحنات سالبة وموجبة مستقلة عن بعضها بعضًا، في حين أنّ القوى المغناطيسية ليست كذلك، فمن دون وجود أقطاب مفردة، فقد بدت نظرية ماكسويل غير مُتناظرة.

إذن، يشير مبدأ السببية في النظرية الكهرومغناطيسية إلى أنّ أيّ تغير في الحقول الكهربائية والمغناطيسية، له سبب محدد، فعندما تتحرك شحنة كهربائية في الفراغ، فإنّها تنتج حولها حقلًا كهربائيًا وحقلًا مغناطيسيًا، وتتغير هذه الحقول بالتزامن مع حركة الشحنة، واستنادًا إلى مبدأ السببية، فإنّ التغير في الحقول يكون ناتجًا عن حركة الشحنة والتفاعلات الكهرومغناطيسية بين الجسيمة المشحونة والحقول، وعليه تخبرنا معادلات ماكسويل عن المجال الكهرومغناطيسي بالتطور المستقبلي الذي يمكن أن يتخذه ذلك المجال في المكان والزمان بشكلٍ دقيق، وعليه، فإننا عندما نعالج مجالاً كهرومغناطيسياً يتطور في الزمن، فلا نضع في اعتبارنا فقط، مواضع الجسيمات المشحونة، وسرعاتها، كما هو سائد في الميكانيكا النيوتونية، بل إننا نأخذ في الاعتبار ـ أيضًا ـ اتجاه القوى الكهرومغناطيسية وكثافتها، عند كل نقطة في الفضاء في لحظة معينة، التي تمكننا من التنبؤ بمواضع القوى الكهربية والمغناطيسيّة وسرعاتها واتجاهاتها وكثافتها، في اللحظة التالية. والتأثير في الحقل المغناطيسي لا يظهر فورًا في المكان البعيد وفقا لـ Retardation، فهو سيظهر بعد وقت يُعادل الزمن اللازم لانتقال التأثير من المصدر إلى المكان البعيد، وفي هذا السياق عادة ما يتم استخدام قانون أمبير ومعادلات ماكسويل؛ لفهم بعض الظواهر المرتبطة بالتيار الكهربائي في السلك. ومع ذلك فيمكن أن يسهم قانون بيوت– سافار في تحديد العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي...

مثال: لنفترض أنّ لدينا سلكًا مستقيمًا طويلًا، يمر به تيار كهربائي ممثل بقيمة I، حيث نرغب بحساب الحقل المغناطيسي B الذي يتولد حول هذا السلك.

ارتكازا إلى قانون بيوت– سافار، لحساب الحقول المغناطيسية الناتجة من التيارات الكهربائية، فيمكننا القول:

إنّ الحقل المغناطيسي B الناتج حول السلك، سيتواجد بشكل دائري، والتعبير العام لاقتران جرين في هذا السياق يمكن أن يكون كالتالي:

$$B(r) = \mu_0/4\pi \int [I\, dl \times (r - r')]/|r - r'|^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

حيث إنّ B(r) هو الحقل المغناطيسي في الموقع r الذي نرغب في حسابه، وμ_0 هو الثابت المغناطيسي للفراغ، و I هو التيار الكهربائي في السلك، و dl هو عنصر الطول على طول السلك، و r هو الموقع الذي نريد حساب الحقل فيه، و r' هو موقع عنصر السلك الحالي الذي نقوم بتكامل حوله.

إذن، فيمكن القول: إنّ الإشكال الرئيس للسببية في الفيزياء الكلاسيكية هو إشكال التأثير اللحظي عن بعد، ولو افترضنا في هذا السياق أنه يمكن أن نوقف جاذبية الأرض ونعيد تشغيلها، فهل يشعر القمر لحظيا بها أم أنه سيكون هناك تأخير؟ وفقا لمبدأ التأثير اللحظي عن بعد، فإنّ التأثيرات تُنتقل بشكل فوري ومن دون تأخير زمني بين الكتل، والقمر سيكون على دراية بالتغير في الجاذبية على الفور. ولا يمكننا في هذا السياق الحديث عن أمواج جاذبية تنقل التأثير بسرعات معينة، تقارن بسرعة الضوء، بل إنّ الحاكم في انتقال التفاعلات بين الكتل، هو التأثير اللحظي عن بعد، الذي يحدث بصورة فورية، ويعمل من دون وسيط. وبالتأكيد فإنّ الفيزياء الكلاسيكية لم تستطع أن تحل هذا الإشكال ضمن إطارها، فكان لا بد من تخطي الإطار الكلاسيكي صوب نظرية النسبية الخاصة والعامة؛ لذلك يتم التغلب على هذا الإشكال. ذلك أنّ النسبية الخاصة أكدت أنه لا يمكن للطاقة أن تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء، "فسرعة الضوء هي أعلى حد للعمليات الفيزيائية" (Lenzen, 1954). كما استطاعت النسبية العامة أن تبني نظرية مجالية للجاذبية، تنتقل الطاقة بموجبها من نقطة إلى أخرى بسرعة الضوء المحدودة. وهكذا نجد أنّ إشكالات السببية في نظرية ما، يمكن أن تحل في نظرية أكثر تطورًا من النظرية الأولى، ولكن يمكن ـ أيضًا ـ أن تؤدي تطورات نظرية معينة إلى إعادة إنتاج إشكال، كنا نظن أننا قد تخطيناه، وهذا ما حصل مع نظرية الكوانتم.

الخاتمة

فصلنا في هذا البحث معالم الأساس الفكري لميكانيكا نيوتن، والبناء المفاهيمي الأساسي فيها. وبينا أنّ هذه الميكانيكا ترتكز إلى المكان المطلق والزمان المطلق والذرات المادية، التي تتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان، وإلى مفهوم التفاعل الجاذبي اللحظي عن بعد. وبينا أنّ السببية النيوتونية تفترض مفهوم التفاعل المادي بين الجسيمات المادية، وأنّ هذا التفاعل إما أن يكون تصادمًا بين الجسيمات، وإما أن يكون تفاعلًا جاذبيًا لحظيًا عن بعد. أما التفاعل الأول، فهو يطيع فكرة التجاور المكاني والتعاقب الزمني كما في السببية التقليدية، في حين أنّ التفاعل الثاني لا يطيع هذا التجاور ولا ذلك التعاقب. وهذا مصدر إشكالٍ في ميكانيكا نيوتن أرّق بال نيوتن، ولم يستطع أن يجد له حلًا.

بعد ذلك انتقلنا إلى الفيزياء الكلاسيكية، وبينّا كيف بُنيت على قاعدة ميكانيكا نيوتن. وقد أضافت الفيزياء الكلاسيكية إلى ميكانيكا نيوتن مفهوم الأثير، الذي يملأ المكان بأكمله ومفهوم المجال الكهرومغناطيسي، الذي يملأ المكان أيضًا. وبينّا أنّ المجال الكهرومغناطيسي شكّل نموذجًا لحل ممكن لمشكلة الجاذبية النيوتونية. فالتفاعل الكهرومغناطيسي ليس لحظيًا،

وإنما ينتقل بسرعة الضوء من نظامٍ مادي إلى آخر. من ثمّ فإنّ هذا التفاعل يطيع التجاور المكاني والتعاقب الزمني في السببية. فالتفاعل ليس بين الجسيمات المشحونة بصورة مباشرة، وإنما هو تفاعل موضعي بين الجسيم والمجال في النقطة المعنية واللحظة الزمنية المعنية. لكنّ الفيزياء الكلاسيكية لم تستطع أن تجد حلا لإشكالات الجاذبية. وفي هذا السياق فمن الجدير بالذكر أنّ تجربة مايكلسون مورلي، أدت إلى نقض فكرة وجود الأثير المطلق، ما أدى إلى التخلص من فكرة الزمان والمكان المطلقين، وأدت هذه التجربة إلى القول بأنّ الضوء ينتشر في الفراغ من دون وجود وسيط ثابت ينقله، وأصبح المكان والزمان بعد هذه التجربة، يعتمدان على الإطار المرجعي للمراقب، ولم يعد السبب والنتيجة يحدثان بالضرورة في الزمان والمكان نفسيهما بالنسبة للمراقبين جميعهم.

النتائج

1- تعدّ التفاعلات المادية بين المكونات المادية في الميكانيكا النيوتونية مصدر التغيرات والأحداث المادية.

2- تساعدنا الميكانيكا الكلاسيكية على التنبؤ بمسار أيّ جسم متحرك في المستقبل، وتعلمنا ـ أيضًا ـ عن حالته في الماضي، وذلك استنادًا إلى ظروفه الحاضرة والقوى المؤثرة فيه.

3- بينت نظرية ماكسويل في الكهرومغناطيسية، أنّ المؤثرات الكهرومغناطيسية تنتقل بسرعة الضوء المحدود في الخلاء من نقطة إلى أخرى، بمعنى أنها لا تطيع مبدأ التأثير اللحظي عن بعد، وإنما تطيع قوانين المجال التي عبر عنها ماكسويل في معادلاته.

4- تؤكد هذه الدراسة على أنّ مبدأ السببية يكتسب معناه ويتحدد إجرائيًا في النظرية الفيزيائية المحددة.

5- تميل هذه الدراسة إلى التأكيد على أنّ مبدأ السببية يدخل في النظرية الفيزيائية، بوصفه شرطًا أساسيًا لبنيتها.

التوصيات:

1- توصي الباحثة بضرورة دراسة البنية النظرية لنظريتي النسبية الخاصة والعامة عند أينشتاين لفهم التغيرات الكبيرة التي طرأت على مبدأ السببية.

2- توصي الباحثة بضرورة دراسة البنية النظرية لنظرية ميكانيكا الكم لمعرفة أبرز التحولات والتغيرات التي طرأت على مفهوم السببية في الفيزياء الحديثة.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

1- أومنيس، رولاند (2008)، فلسفة الكوانتم: فهم العلم المعاصر وتأويله، ط1، الكويت، عالم المعرفة.

2- أينشتاين، ألبرت، انفلد، ليوبولد (1986)، تطور الأفكار الفيزيائية، ط10، سوريا، منشورات وزارة الثقافة.

3- بدوي، عبد الرحمن (1973)، الزمان الوجودي، ط3، لبنان، دار الثقافة.

4- بلكا إلياس (2009)، الوجود بين السببية والنظام، رسالة ماجستير منشورة، المعهد الأمريكي للفكر الإسلامي.

5- المحيش، توفيق (2003)، السببية عند أهل السنة ومخالفيهم من خلال مؤلفات شيخ الإسلام ابن تيمية، رسالة مقدمة لنيل درجة الدكتوراة في العقيدة، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، كلية أصول الدين، المملكة العربية السعودية.

6- توبي، أ، هف (1997)، ت: محمد عصفور، فجر العلم الحديث، الإسلام- الصين-الغرب، الكويت، عالم المعرفة.

7- خميس، أكرم (2015)، السببية بين المتكلمين والفلاسفة الإسلاميين المعاصرين، رسالة ماجستير منشورة جامعة العلوم الإسلامية.

8- غصيب، هشام (1988)، الطريق إلى النسبية، ط1، الأردن، الجمعية العلمية الملكية.

9- غصيب، هشام (1999)، هل نشأ الكون من العدم، ط1، بيروت، المؤسسة العربية للدراسات والنشر.

10- غصيب، هشام (2018)، العقل والمنهج في الثورة العلمية الكبرى، ط1، ألمانيا، المركز الدولي للتربية الابتكارية.

11- ليبنتز، غوتفريد (1956)، المونادولوجيا: أو مبادئ الفلسفة، ترجمة: ألبير نصري نادر، ط1، بيروت، المنظمة العربية للترجمة .

12- هيوم، ديفيد (2008)، مبحث في الفاهمة البشرية، ترجمة: موسى وهبه، ط1، الفارابي، لبنان.

13- هوكنج، ستيفن (2006)، تاريخ موجز في الزمن، ترجمة: مصطفى فهمي، ط1، مصر، الهيئة المصرية العامة للكتاب.

14- وولف، فريد (1994)، القفزة الكمومية، ترجمة أدهم السمان، ط1، دمشق، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر.

ثانياً: رومنة المراجع العربية

1- Omnes, ruland (2008), Quantum Philosophy: Understanding and Interpreting of Contemporary Science, The World of Knowledge, Kuwait.

2- Einstein, Albert, Infeld, Leopold (1986), The evolution of Physical Ideas, Publications of the Ministry of Culture, Syria, 10th Edition.

3- Badawi, Abdel Rahman (1973), existential time, Dar Al-Thaqafa, Lebanon, 3rd Edition.

4- Belka Elias, (2009), Existence between Causality and System, Published Master's Thesis, American Institute of Islamic Thought.

5- Al-Muhaish, Tawfiq (2003), Causality among Sunnis and their opponents through the writings of Sheikh Al-Islam Ibn Taymiyyah, thesis submitted to obtain a doctorate degree in faith, Imam Muhammad bin Saud Islamic University, College of Fundamentals of Religion, Kingdom of Saudi Arabia.

6- Toby, E, Huff,(1997), T: Muhammad Asfour, The rise of early Modern Science, Islam - China-West, The World of Knowledge, Kuwait.

7- Khamis, Akram, (2015), Causality between Contemporary Islamic Theologians and Philosophers, Master's Thesis, University of Islamic Sciences.

8- Ghassib, Hisham (1988), The Road to Relativity, Royal Scientific Society, Jordan, 1st Edition.

9- Ghassib, Hisham (1999), Did the Universe Emerge from Nothing, Arab Institute for Studies and Publishing, Beirut, 1st Edition.

10- Ghassib, Hisham (2018), Reason and Method in the Great Scientific Revolution, International Center for Innovative Education, Germany, 1st Edition.

11- 11- Leibniz, Gottfried (1956), Monadology: or Principles of Philosophy, translated by: Albert Nasri Nader, Arab Organization for Translation, Beirut, 1st Edition.

12- Hume, David (2008), an enquiry concerning human understanding, translated by: Musa Wahba, Dar Al-Farabi, Lebanon, 1st Edition, pp. 84-52.

13- Hawking, Stephen (2006), A Brief History of Time, translated by: Mustafa Fahmy, Egyptian General Book Organization, Egypt, 1st Edition.

14- Wolf, Farid (1994), Taking the Quantum Leap, translated by Adham Al-Samman, Dar Tlass for Studies, Translation and Publishing, Damascus, 1st Edition.

ثالثاً: قائمة المراجع الأجنبية

1- Bohm, David(1957), Causality and chance in modern physics, university pf pennsylvania, press, ed1.
2- Dampier, w.c.(1942) A History of science,Cambridge unv. press,ed3.
3- Greiner, Walter (1989), classical mechanics "point particles and relativity", springer, New York.
4- Hume, Dived (1946), A Treatise of Human nature, L.A. Selby-Bigge,N.A ,oxford, ed1, XI.
5- Morin, David (2007), introduction to classical mechanics with problems and solutions, Cambridge university press, uk.
6- Lenzen, 1954, victor(,Causality in natural science, Charles C Thomas. publisher, USA, 213ed.
7- Newton, Isaac,(1846), The Mathematical Principles of Natural philosophy , Daniel Edee,ed1
8- Russell, Bertrand (1966),human knowledge.its scope and limits, 5ed. George allon and unwin ltd.
9- Russell, Bertrand, mysticism and logic and other essays, Longmans, green and co.3ed.
10- Thornton, Stephen, Marion,Jerry (2004), classical Dynamics of particles and systems, Thomson books, USA, 5ed.

Causality in Newtonian Mechanics and Its Role in Classical Physics

Suzan Al Dababsa

Philosophy Dept, The University of Jordan- Jordan

s.talouza@gmail.com

Abstract

This study aimed at studying the principle of causality and its problems theoretically in the modern physical theory, starting with Isaac Newton. It considered Newton's theory of motion and gravity the launching pad for the whole of modern physical theory. This study averred that the principle of causality acquires its definite physical meaning from, and is operationally determined by, the physical theory itself. That is why this study embarked on studying the conceptual content of the modern physical theory in its various stages. It embarked on philosophically studying the conceptual content of Newtonian mechanics, classical physics. It detailed the genesis, principles and results of each of these theories and deduced the form of the principle of causality defined by each theory and its specific problems, emphasizing these specific problems and their resolutions in subsequent theoretical developments. This study tended to view causality in its various forms as a necessary condition for the construction of any physical theory, and that causality in physics cannot be understood in isolation from a specific physical theory. This research relied on both the analytical approach and the comparative approach in addition to the critical approach. These approaches were discussed according to the requirements of research.

Keywords: Causality, Newtonian mechanics, instantaneous remote interaction, force, classical physics.