

فلسفة علم الطبيعة النيوتوني

أ. كريمة بودرواز أستاذة باحثة

المدرسة العليا للأساتذة بوزريعة

Résumé :

La philosophie de la physique newtonienne qui a été traité par newton dans le domaine philosophie de la nature, ou sa recherche a été basé sur la matière et les lois du mouvement, le lieu, le temps et la lumière, ou il a vu que la matière est composé de grosses particules solides qui bougent et elles sont pas pénétrables, comme elles sont extension et rigides , a son avis se sont des atomes inerte inefficace .

Newton a reliée la matière et le mouvement dans le cadre des trois lois, Lois de l'inertie, Lois de la convenance entre la vitesse et la puissance, Lois de l'égalité entre l'action et la réaction, Egalement il a parlé des 3 absolus, Lieu absolue, Le temps absolu, mouvement absolu. Dans cela il y avait une déférence entre sa philosophie de la nature et la philosophie d'Albert Einstein de la relativité. La loi d'attraction est la réalisation la plus importante de newton ou il a vu que cela explique la présence du mouvement dans l'univers et la terre ou dans l'espace et que les objets qui tombent revient à la loi d'attraction.

Pour la lumière, Newton a établi une distinction entre la lumière simple et la lumière composé. Comme il a montré dans sa théorie particules que la lumière dans sa nature est une matière particulaire et constituée des particules infinitésimales pour ce la sa théorie est déférent par apport à la théorie des vagues de Huygens. Et pour la méthodologie, Newton a adoptée dans ces recherches une approche hypothétique, circonstancielle basée sur la nécessité de l'expérience avant l'hypothèse, ainsi que l'induction expérimentale.

Les études newtoniennes sur la philosophie naturelle ont été fondées sur l'adoption d'hypothèse, l'induction réaliste et les trois absolus, Lieu absolue, Le temps absolu et mouvement absolu.

Mots-clés :

La physique newtonienne, Lois du mouvement , Particules, tomes, Lumière, Loi de l'Inertie, La loi de l'action et de la réaction égale, Le lieu absolu, Le temps absolu, Mouvement absolu, Loi générale sur l'activité, Lumière simple, Lumière composé, Théorique des particules, La théorie des vagues, Approche déductive.

يعد علم الطبيعة النيوتوني عماد الفيزياء الكلاسيكية بمنظور ابستمي وتاريخي، حيث نجد إسحاق نيوتن Isaac Newton (1643-1727) الرياضي والفيزيائي الانجليزي من أبرز وجوه الثورة العلمية في القرن السابع عشر، وأحد العباقرة في تاريخ العلم الحديث.⁽¹⁾ إذ بفضلله تحقق الانتقال من المرحلة الوضعية إلى المرحلة الديناميكية في مجال الفيزياء. وكان نيوتن من هواة علم الفلك، ونشر كتابه " المبادئ الرياضية في الفلسفة الطبيعية "

Mathématique principales of Natural Philosophie"، حيث سجل فيه نظرياته وأهم بحوثه الطبيعية ومبادئ منهجه في البحث.

وكانت غاية بحوثه البحث عن الحقيقة حيث قال: "أفلاطون صديقي، أرسطو صديقي، لكن الحقيقة هي أكبر صديق."⁽²⁾ وهذا يظهر تميزه كمفكر وباحث، والوارد أن بحوثه الطبيعية ارتكزت على موضوعات ومسائل هامة وعديدة، لكن ما يهمنا في هذا المقال هو الاطلاع عليها من خلال محاولة الاجابة على التساؤلات الجوهرية التالية: ما الموضوعات الأساسية لبحوث نيوتن الطبيعية؟ وما المبادئ التي أقام عليها علمه الطبيعي وبصيغة أخرى فلسفته الطبيعية أي فيزيائوه؟ وما المنهج الذي انتهجه في دراساته؟ هل اعتمد المنهج الجاليلي أم اعتمد منهجا جديدا؟

موضوعات علم الطبيعة النيوتوني

الواقع أن بحوث نيوتن الطبيعية ارتكزت على موضوعات هامة هي: المادة وقوانين الحركة التي فصل فيها، وكذا قانون الجاذبية العام، كما تناول جانبا آخرهما في الطبيعة وهو الضوء حيث قدم نظريات في مسأله، هذه الموضوعات سنغوص في تفاصيلها في ما يتبع. وحدد نيوتن موضوع الفيزياء أي فلسفة الطبيعة كما يسميها في تصدير كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية سنة 1686 حيث قال: «والقدماء الذين لا يعتبرون إلا الثقل المحرك جعلوا الميكانيكا التطبيقية داخلية في القوى الخمس التي تخص الصناعات اليدوية، أما نحن الذين ليس موضوعنا الصناعات اليدوية بل تطوير النظرية الفيزيائية ولا نتوقف إذن عند الاهتمام بالقوى اليدوية فقط بل تجاوزناها إلى القوى الطبيعية، فنعتني خاصة بدرس الثقل، والخفة، والقوى الكهربائية، وصلابة السوائل، والقوى الأخرى من هذا النوع...»⁽³⁾، أي في نظره لا يجب الاهتمام بالقوى اليدوية بل يجب التركيز على القوى الطبيعية أي دراسة قوى الطبيعة كالثقل والقوى الكهربائية وغيرها، وبهذا فإنه يعتبر موضوع الفيزياء هو دراسة القوى اليدوية ولكن تدرس فيها القوى الطبيعية بشكل خاص. وقدم نظرة خاصة للمادة والحركة والزمان والمكان.

المادة وقوانين الحركة عند نيوتن:

رأى نيوتن أن المادة كما يراها الناس في الحياة العادية شيئا جامدا يصدم الحواس ويخضع لقوانين الطبيعة في الحركة وغيرها خضوعا غير مشروط، ويشار إلى نظرية نيوتن العامة في الميكانيكا بثلاث قضايا رئيسية تعرف بقوانين الحركة، وهي تدور حول تحديد تصور "القوة"، ويتحدد هذا التصور في اطار تصور الحركة، إذ أن القوة عند نيوتن هي علة

الحركة أي سببها، وحسبه تفهم الحركة بتصورات تسبقها هي تصورات المكان، والزمان، والكتلة، والتي يعتبرها نيوتن الخصائص الثلاث الأساسية للمادة.⁽⁴⁾ أي أن المادة مربوطة بالكتلة والمكان والزمان، فلا يمكن الخوض في موضوع المادة دون الكلام عن هذه الخصائص. والمادة في رأي نيوتن مكونة من جسيمات كبيرة وصلبة متحركة غير قابلة للاختراق، ذات أحجام وأشكال مختلفة. أما خواصها فيحدددها في التمدد، والصلابة، والاختراقية، والقصور الذاتي. ومن منظوره طبيعة هذه الجسيمات-أي الذرات- وخواصها ثابتة إلى الأبد والذرة تعتبر أصغر جسيم يمكن تصوره.⁽⁵⁾ وفي نفس السياق اعتبر المادة شيئاً خامداً غير فعال، فلو وجدت مادة في حالة من السكون، فهي ستضل كذلك إلى الأبد، ما لم تؤثر عليها قوة من خارجها، وكذلك لو كانت في حالة حركة فستظل في نفس الاتجاه ونفس السرعة ما لم تتعرض لقوة خارجية وبمعنى آخر المادة في حالة من السلبية المطلقة.⁽⁶⁾ وتعتبر كلمات نيوتن نفسه عن ذلك حيث قال: «فالمادة تتكون من جسيمات متكتلة ذات كتلة صلبة لا تقبل الاختراق قابلة للحركة».⁽⁷⁾ وليس هنالك فرق لدى نيوتن بين الجسيمات المكونة للمادة وما تكونه من مواد مرئية سوى قابلية الاختراق.

إضافة إلى ذلك ربط نيوتن بين المادة والتغير، حيث أجاب على سؤالين جوهريين هما ما التغير؟ وكيف تطرأ التغيرات على المادة؟ حيث عرف التغير في قوله: «إن التغيرات التي تطرأ على الأشياء المادية تقتصر على مختلف عمليات انفصال هذه الجسيمات الثابتة وعلى عمليات اتحادها وحركتها الجديدة».⁽⁸⁾ وهو بهذا قريب من نظرة ديموقريطس للمادة. وأجاب على التساؤل الثاني بالقول بأن القوانين الطبيعية تنظم حركة المادة في إطار الزمان والمكان المطلقين.

وعرف نيوتن الكتلة بأنها حاصل ضرب الحجم في الكثافة وعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية: $ك = ح \cdot ث$ حيث تمثل "ك" كتلة الجسم، و"ح" حجمه، و"ث" كثافته. وقال في هذا: "كمية المادة تقاس بالكثافة والحجم معاً".⁽⁹⁾ أي أنها مربوطة بالكثافة والحجم، إذ يعترف بأن تحديد كمية المادة مربوطة بأجزاء الأجسام أو كتلتها من جهة أخرى، وهذا انطلاقاً من تجارب قام بها حيث قال: "أحدد كمية المادة عن طريق أجزاء الأجسام أو الكتلة. وهذه الكمية تعرف عن طريق وزن الأجسام: ذلك أنني وجدت بواسطة تجارب دقيقة جداً حول النواصات، أن أوزان الأجسام تتناسب مع كتلتها".⁽¹⁰⁾

أما إذا تكلمنا عن قوانين الحركة عنده فإننا نجد أن تصوره للمادة يتلخص في قوانينه الثلاثة المشهورة للحركة، إذ تعد أساس العصر الحديث في مجال العلوم الفيزيائية واستمرت حتى بداية القرن العشرين إلى أن ظهرت النظرية النسبية ونظرية الكوانتم. ويعد قانون القصور الذاتي أول قوانين الحركة عند نيوتن والذي فحواه: أن كل جسم يظل على حالته

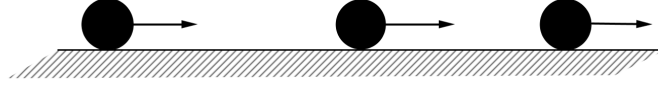
سكونا وحركة، ما لم يطرأ عليه ما يغير حالته. وبتعبير آخر يميل الجسم إلى الاحتفاظ بحالته من السكون أو الحركة ما لم يؤثر عليه مؤثر خارجي. ويطلق لفظ القصور الذاتي على خاصية المادة التي تؤدي إلى مقاومة التغيير في حركته. وعبر عن هذا القانون بقوله في كتابه المبادئ الجزء الأول: "كل جسم يحتفظ بحالة السكون أو بحالة الحركة المنتظمة بخط مستقيم التي يوجد بها، إلا إذا أثرت فيه قوة لتجبره على تغيير حالته."⁽¹¹⁾، ومعنى هذا أن يظل المتحرك متحركاً وأن يظل الساكن ساكناً، إلا إذا أثرت فيه "قوة" خارجية. والعامل الخارجي الذي يحرك جسماً ساكناً يفقد من حركته هو نفسه بمقدار ما أعطى من الحركة للجسم الذي حركه (12). ومن هنا ينتج أن الحركة التي يستحدثها الجسم المتحرك في الجسم الساكن لا يمكن أن تزيد عما عند الجسم المتحرك من الأصل. وبهذا يكون نيوتن قد ساند جاليليو جاليلي في فكرة القصور الذاتي.

بينما سمي القانون الثاني لنيوتن "قانون تناسب القوة والسرعة" وهذا نصه: "تناسب القوة الواقعة على جسم ما تناسباً طردياً مع تغير كمية الحركة التي يحدثها ذلك الجسم في زمن ما، واتجاه هذه القوة هو الاتجاه الذي يتخذه هذا التغير في كمية الحركة."⁽¹³⁾. وبصيغة أخرى القوة التي تؤثر في جسم ما تساوي كتلة الجسم جداء سرعته ويرمز لها رياضياً ب: $Q = K \times \text{سر}$ ، حيث يمثل "ق" القوة، و"ك" الكتلة، و"سر" السرعة. ويتضمن هذا القانون تحديداً كمياً ممكن القياس، أي يمكننا قياس القوة كمياً، فالقوة الواقعة أي المؤثرة على جسم ما في زمن ما تؤدي إلى تغير محدد في كمية الحركة حيث يكون هذا التغير في كمية الحركة بطيء في الكتلة الكبيرة وكبير في الكتلة الصغيرة.⁽¹⁴⁾

أما القانون الثالث فيعرف بقانون تساوي الفعل ورد الفعل المضاد. وينص على: "لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه."⁽¹⁵⁾ وهذا يعني أن التأثير المتبادل بين جسمين تأثير مساوٍ دائماً، ولكن في اتجاهين متقابلين فالقوة أساسها تأثير جسم على جسم. هذا القانون من القوانين الواضحة، لكنه احتاج من عالم مثل نيوتن النفاذ بكل بصره لتفسيره وشرحه، حيث إن هناك جسماً مؤثراً وجسماً مؤثراً عليه، وتؤثر قوة الفعل على الجسم المؤثر عليه، أما قوة رد الفعل فتؤثر على الجسم الأصلي. كمثال الكتاب المرتكز على منضدة يؤثر على سطحها بقوة إلى أسفل هي وزنه، كما أن سطح المنضدة يؤثر بقوة مساوية ومضادة إلى أعلى على الكتاب. وأعطانا نيوتن مثلاً على تطبيق هذا القانون في الطبيعة حيث قال: "عندما نضغط على صخرة بإصبعنا، فإن إصبعنا مضغوط في نفس الوقت من طرف الصخرة."⁽¹⁶⁾ وهذا ما يسميه نيوتن قانون الفعل ورد الفعل، حيث أن الصخرة تضغط بقوة على الإصبع في اللحظة التي يضغط فيه الإصبع على الصخرة. وظواهر الطبيعة يحكمها هذا القانون.

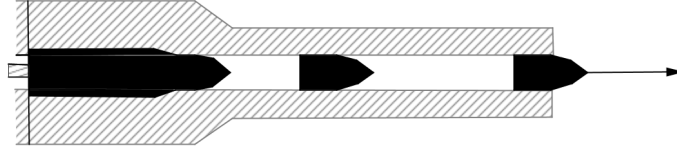
وبهذا بعد أن فرغ نيوتن من تعريف فكرة الكتلة، والدفع والقصور الذاتي والقوة انتقل إلى صياغة قوانين الحركة التي سبق التفصيل فيها. والأشكال الموالية توضح القانون الأول والثاني للحركة عنده.

القانون الأول



الشكل 01: تسير الكرة الموضوعة على مستوى أفقي والتي لا تؤثر فيها أية قوة في اتجاه تحركها، على خط مستقيم بسرعة منتظمة.⁽¹⁷⁾

القانون الثاني



الشكل 02: عندما تدفع القذيفة داخل ماسورة البندقية بفعل غازات مسحوق البارود فإن سرعتها تزايد باستمرار.⁽¹⁸⁾

المكان والزمان بالمفهوم النيوتوني:

بعد أن بينا نظرة نيوتن للمادة وارتباطها بقوانين الحركة الثلاثة، نتناول مطلقاته الثلاث، تصوره للمكان والزمان كخاصيتين أساسيتين للمادة وكذا الحركة. فكلهما أي الزمان والمكان في تصوره حقيقتان مطلقتان⁽¹⁹⁾، أي أنهما سيضلان موجودين حتى لو فنيت كل الأشياء المادية في الكون. ويصف نيوتن المكان في قوله: "إن المكان المطلق بطبيعته ذاتها، ودون علاقة بأي شيء خارج عنه، يضل متماثلاً وغير متحرك."⁽²⁰⁾ أي أن المكان المطلق ثابت. وأضاف قائلاً عن الزمان: «إن الزمان المطلق والصحيح والرياضي، بذاته وبحكم طبيعته، يتدفق باطراد من غير أن تكون له علاقة بأي شيء خارجه.»⁽²¹⁾ فهو بهذا يعتقد أن الزمان والمكان لا نهائي المدى وأنهما عالميان وغير قابلين للتغير.

كما بين اينشتاين تسليم نيوتن بإطلاقية الزمان والمكان.⁽²²⁾ اعتماداً على قول نيوتن: «وإذن فالمكان والزمان حيزان مطلقان، ولا يمكن أن تكون هناك حركات مطلقة إلا بالتحرك خارجهما.»⁽²³⁾

زيادة على ذلك ميز نيوتن في مسألة الزمان بين الزمن المطلق والزمن النسبي في قوله: «الزمان المطلق، الحقيقي والرياضي، الذي لا علاقة له بأي شيء خارجي، ينساب بانتظام ويسمى الديمومة. أما الزمان النسبي، الظاهري العامي، فهو هذا المقدار الحسي الخارجي، الساعة واليوم والشهر والسنة، الذي نستعمله عادة لقياس جزء من الديمومة بواسطة الحركة، والذي يكون دقيقا تارة وتقريبيا تارة أخرى»⁽²⁴⁾. وبهذا فإن الفرق الجوهرى بين الزمان المطلق والزمان النسبي عند نيوتن هو أن الزمن المطلق زمن مجرد رياضي ولا يرتبط بالعالم الخارجي العيني وأشياءه. بينما الزمن النسبي هو الزمن العادي الذي نقيسه بالساعة واليوم والسنة وهو غير دقيق.

وفي ذات الوقت ميز من جهة أخرى بين المكان المطلق والمكان النسبي وبين العلاقة بينهما في قوله: «المكان المطلق الذي لا علاقة له بأي شيء من الأشياء الخارجية الحسية هو بطبيعته ساكن متجانس دوما. أما المكان النسبي فهو هذا المقدار المتغير، أو المسافة التي قد تطول أو تقصر، والتي نقيس بها المكان المطلق، والتي تحددها حواسنا بناء على موقعها من الأجسام. والعوام من الناس يخلطون بينها وبين المكان الثابت، وهكذا يحدد الناس عادة المكان العلوي، في الجو أو في السماء، بناء على موقعه من الأرض. ولا يختلف المكان المطلق والمكان النسبي في طبيعتهما أو مقدارهما، فهما من هذه الناحية متطابقان. ولكنهما ليسا كذلك دوما من حيث العدد، ذلك لأنه إذا تحركت الأرض مثلا، فإن المكان الذي يشغله المكان المحيط بنا والذي يبقى دوما هو هو بالنسبة إلى الأرض، يكون تارة جزءا من المكان المطلق الذي يخترقه الهواء وتارة جزءا آخر وهكذا يتغير موقعه في المكان المطلق دون انقطاعهما»⁽²⁵⁾.

أي أن المكان المطلق عند نيوتن يتميز بالثبات مقارنة بالمكان النسبي الذي يعده متغيرا، وتظهر العلاقة بينهما في أن المكان النسبي نقيس به المكان المتغير، وذلك بحكم أن المكان النسبي هو المسافة التي تطول أو تقصر وبهذا من منظور نيوتن نقيس به المكان المطلق. زيادة على ذلك تناول نيوتن مفهوم "الحيز" نتيجة ارتباطه بالمكان وعبر عنه في قوله: «وأما الحيز أو (المحل) lieu فهو ذلك الجزء من المكان الذي يشغله الجسم. وهو بالنسبة إلى المكان إما مطلق وإما نسبي. وأعود فأؤكد أن الحيز هو جزء من المكان. فليس المقصود منه موضع الجسم ولا المساحة المحيطة به: ذلك لأنه عندما يكون الجسمان متساويين يكون الحيز الذي يشغله أحدهما مساويا دوما للحيز الذي يشغله الآخر، ولكن مساحة أحدهما تختلف في الغالب عن مساحة الآخر، فتكون أكبر فهو إذا داخل في الجسم ومندرج تحت كلية هذا الجسم»⁽²⁶⁾. وبهذا نجد نيوتن قد ربط الحيز بالمكان باعتباره جزءا من المكان

الذي يشغله جسم ما سواء كان المكان مطلقاً أو نسبياً. كما اعتبره داخلاً في الجسم ومندرجاً تحت كلية الجسم.

ومن جهة أخرى ميز في مسألة الحركة بين الحركة المطلقة والحركة النسبية حيث بين ذلك في قوله: «أما الحركة المطلقة فهي انتقال الجسم من حيز مطلق إلى حيز آخر مطلق، والحركة النسبية هي انتقال من حيز نسبي إلى حيز آخر نسبي.»⁽²⁷⁾ وهكذا حسب نيوتن فالحيز النسبي لجسم موجود فوق سفينة تدفعها الريح بسرعة مثلاً هو ذلك الموضع الذي يشغله الجسم على السفينة، أو هو هذا الجزء من الحجم الكلي للسفينة الذي يشغله الجسم ويتحرك بحركتها. أما السكون النسبي فهو دوام هذا الجسم في نفس الموضع الذي يحتله في السفينة أو في ذلك الجزء الذي يشغله من حجمها الكلي. وأما السكون الحقيقي فهو دوام الجسم في نفس الجزء من المكان الساكن الذي تتحرك فيه السفينة ككل حجمها والأشياء الموجودة عليها.

ومن هنا يتضح أنه عندما تكون الأرض في حالة سكون حقيقي، فإن الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون حقيقي، فإن الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون نسبي سيصبح في حالة حركة مطلقة تكون سرعته هي نفس السرعة التي تتحرك بها السفينة على الأرض. أما عندما تتحرك الأرض بدورها، فإن هذا الجسم سيصبح في حالة حركة حقيقية ومطلقة ترجع في جزء منها إلى حركة الأرض حركة حقيقية في المكان الثابت، وفي جزء آخر منها إلى الحركات النسبية، سواء منها حركات السفينة فوق الأرض أو حركات الأجسام فوق السفينة، ومن هذه الحركات تنشأ الحركة النسبية للجسم على الأرض.⁽²⁸⁾

وفي نفس السياق تناول ألبرت أينشتاين أساس الميكانيكا النيوتونية، وتصور نيوتن للحركة في كتابه "تطور علم الطبيعة" حيث قال: «وأساس الميكانيكا الكلاسيكية القديمة، كما وضعها نيوتن هو العلاقة بين القوة والتغير في السرعة لا السرعة نفسها كما يبدو لنا بالبداهة.»⁽²⁹⁾ أي أن ميكانيكا نيوتن اعتمدت على الربط بين القوة والتغير في سرعة الأجسام وليس السرعة نفسها كما يظهر لنا بالبداهة العقلية.

وثمة علاقة بين القوة والتغير في السرعة في ميكانيكا نيوتن حيث جاء في كتاب "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" لنيوتن قوله: «القوة الخارجية هي فعل يؤثر على جسم ساكن أو متحرك بانتظام في خط مستقيم لتغيير حالته، وتوجد هذه القوة أثناء تأثيرها فقط ولا تبقى في الجسم بعد انتهاء هذا التأثير، وذلك لأن الجسم يحتفظ بكل حالة جديدة يصل إليها بواسطة قصوره الذاتي فقط. فقد تنشأ عن الضغط أو التصادم أو عن القوى

المركزية».⁽³⁰⁾ أي أن القوة الخارجية تؤثر على جسم ما ولا تبقى فيه والقصور الذاتي للجسم هو الذي يجعله يحتفظ بحالته الجديدة بعد تأثره بقوة خارجية.

كما رأى نيوتن أن القوة هي التي تسبب ازدياد السرعة أو تناقصها أثناء الحركة حيث قال: «إذا ألقي حجر من قمة برج، فإن حركته لا تكون منتظمة بحال من الأحوال وتزداد سرعة الحجر أثناء سقوطه، نستنتج إذن وجود قوة خارجية تعمل في اتجاه الحركة، ويمكن التعبير عن ذلك بطريقة أخرى بأن نقول أن الأرض تجذب الحجر».⁽³¹⁾ وقصد بذلك أن الحجر الساقط حركته غير منتظمة وقوة الجاذبية الأرضية تزيد من سرعته.

وفي نفس السياق أضاف قائلاً: «فلنأخذ مثلاً آخر: ماذا يحدث عندما يقذف حجر رأسياً إلى أعلى؟ تتناقص السرعة حتى يصل الحجر إلى أقصى ارتفاع له ثم يبدأ في السقوط. القوة التي تسبب هذا التناقص في السرعة هي نفس القوة التي تسبب ازدياد سرعة الجسم الساقط. في إحدى الحالتين كانت القوة في اتجاه الحركة، وفي الحالة الثانية كانت القوة في عكس هذا الاتجاه، والقوة واحدة في الحالتين ولكنها تسبب ازدياد السرعة أو تناقصها على ما إذا كان الحجر ساقطاً أو مقذوفاً إلى أعلى».⁽³²⁾ وقصد بهذا المثال أن القوة هي علة زيادة سرعة الأجسام أو نقصانها.

ومن هذه المعطيات توصل نيوتن إلى أن القوة هي المسؤولة عن زيادة سرعة الجسم أو نقصانها أثناء الحركة، ومثال سقوط الحجر على الأرض أو ارتفاعه إلى أعلى يثبت ذلك. وخلاصة ما سبق أن نيوتن ربط بين المكان، والزمان، والحركة، والقوة، لتفسير ظواهر الطبيعة، مسلماً بالمطلقات الثلاث المكان، الزمان والحركة.

مبدأ النسبية في ميكانيكا نيوتن:

تتضح أهمية مبدأ النسبية لنيوتن في تعميم القوانين الميكانيكية، فهي لا تسري على منطقة بذاتها فقط، بل على مناطق أخرى في حركة منتظمة بالنسبة لبعضها مع بعض⁽³³⁾، وقانون القصور الذاتي عنده ينص على أن كل جسم يتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة، إلا إذا أجبرته تأثيرات خارجية على تغيير حالته. ولكن ما المقصود بتغيير الحركة في خط مستقيم؟

في الحياة اليومية الأمر واضح تماماً حسب نيوتن حيث قدم مثالا عن كرة البلياردو فحركة هذه الأخيرة في اتجاه مواز لإحدى حواف الطاولة تكون حركة في خط مستقيم ولكن المائدة أو الطاولة ترتكز على الأرض التي تدور على المحاور القطبية وتدور حول الشمس. وبهذا يتضح لأي شخص خارج الكرة الأرضية أن الكرة تسير في طريق متعرج جداً، وتتحرك في خط مستقيم فقط بالنسبة لشخص ما في الحجرة نفسها.

وقد فسر نيوتن هذه النقطة بتعريف الحركة المطلقة، أي حركة الجسم من موقع مطلق لآخر، وأضاف أن الحركة المطلقة ليست مولدة ولا منعكسة بل ناشئة عن قوة مؤثرة على الجسم المتحرك.⁽³⁴⁾ ولذلك، عند ملاحظة حركة كرة في اتجاه مواز لحافة الطاولة دون أية قوة مؤثرة عليها، يمكن اعتبار الحجرة مستقرة على فضاء مطلق، وتلك الحجرات التي ينعلم فيها قانون القصور الذاتي هي ما أطلق عليه فيما بعد "أنظمة القصور الذاتي" فلو أن الحجرة في دوامة تدور بالنسبة لحجرة مستقرة، فإن الكرة لا يمكن أن تتحرك في اتجاه مواز لحافة الطاولة القائمة في الدوامة دون ممارسة قوة عليها. وعليه الدوامة لا تخضع لقانون القصور الذاتي. ولكن ماذا لو كانت الحجرة الثابتة تمارس حركة مطردة في خط مستقيم؟

كان جواب نيوتن أنه حينئذ يمكن أن تتحرك الكرة باتجاه مواز لحافة الطاولة في الحجرة المتحركة دون بذل قوة تؤثر فيها، والواقع عنده أن جميع أنواع الحركة التي تظهر بسرعة منتظمة في النظام الأول سوف تظهر أيضا بسرعة منتظمة في النظام الثاني، وبالتالي فإن قانون القصور الذاتي ينعلم أيضا في "النظام المتحرك" مهما كانت سرعته بالنسبة للحركة المستقرة، طالما أنها تأخذ الاتجاه نفسه وتحفظ بمغناطيسية ثابتة، وعندما تؤثر القوى على الكرة وتتغير سرعتها يكون معدل تغير السرعة واحدا في كلا النظامين.

وعليه فإننا لا يمكن أن نحدد السرعة التي تتحرك بها الحجرة وفقا لقانون القصور الذاتي عن طريق إجراء تجارب على حركة الجزيئات في تلك الحجرة، وبالعكس، فإنه يمكن التنبؤ بالحركة المستقبلية للجزيئات دون معرفة السرعة المنتظمة التي يمكن أن تتحرك بها الحجرة. كل النظم التي تتحرك باطراد عبر خط مستقيم بالنسبة لنظام قصور ذاتي تكون أنظمة قصور متماثلة، غير أن قوانين نيوتن لا تحدد أي الأجسام يعد نظام قصور.⁽³⁵⁾

ومن الناحية العملية يعد أثر دوران الأرض وحركتها ضعيفا جدا، ويمكن اعتبار حركتها مطردة في خط مستقيم، وفي هذا الإطار تعد الأرض تقريبا من أنظمة القصور ويمكن التنبؤ بحركة الجزيئات فوق الأرض بواسطة قوانين "نيوتن"، وبالشكل نفسه يمكن تطبيق ذلك على قطارات السكك الحديدية والمصاعد والسفن، طالما أن حركتها بالنسبة للأرض في خط مستقيم وسرعة ثابتة، فمن الشائع أن يلعب الإنسان بكرة ما بالطريقة نفسها سواء أكان مستقلا للقطار أو على متن السفن، طالما أنها لا تهتز. ولا يمكن من خلال التجارب السابقة وصف الفريق بين واحد من أنظمة القصور وآخر.⁽³⁶⁾

والخلاصة، أن مبدأ النسبية عند "نيوتن" أكد عدم قدرة التجارب الميكانيكية على تحديد السرعة المطلقة في الفضاء الخاوي، وأكد أيضا أنه لا معنى لمفهوم "السرعة المطلقة"⁽³⁷⁾. وهكذا ظهر مبدأ النسبية للمرة الأولى بوصفه أحد ملامح الميكانيكا النيوتونية.

وكما سنرى أن أعظم اكتشافات "أينشتاين" أن مبدأ النسبية لازال صالحا للتطبيق حتى بعد أن أصبحت ميكانيكا "نيوتن" غير سارية، فقد أدرك "أينشتاين" أن مبدأ النسبية أكثر ملاءمة لوصف الظواهر الفيزيائية من قوانين نيوتن، فقد استمر هذا المبدأ ساريا حتى بعد أن فقدت ميكانيكا نيوتن قيمتها.⁽³⁸⁾

إن موقف العديد من الفيزيائيين من ميكانيكا نيوتن معروف حيث كانت هذه الميكانيكا حتى القرن العشرين تقدم على أنها علم ثابت لا يتغير، قادر على أن يوفر إجابات عن طريق الأسئلة حول بنية المادة اللاعضوية، لكن "أينشتاين" أدرك أن ميكانيكا "نيوتن" في جوهرها علم نسبي.

إن استنتاج نسبية المعرفة الفيزيائية لم يجبر أينشتاين على نبذ العالم الخارجي والحقيقة الموضوعية، كما كان الحال مع عدد من الفيزيائيين الذين يسمون بالمثاليين الفيزيائيين.⁽³⁹⁾ بل إن أينشتاين لم ينبذ ميكانيكا نيوتن، بل وضعها في موضعها المناسب ضمن هيكل المعرفة الفيزيائية، إيمانا منه بأن الاستنتاجات النظرية للميكانيكا ملائمة فقط لجزء محدد من الظواهر، فكتب يقول: "علينا أولا أن نرى بوضوح إلى أي مدى استطاعت الميكانيكا الكلاسيكية أن تبرهن أنها صالحة لأن تكون أساسا لكل الفيزياء"، وعلى العكس من الميتافيزيقيين، أكد أينشتاين على التواصل بين النظريات الفيزيائية.⁽⁴⁰⁾

وفيما يتعلق بتأثير ميكانيكا نيوتن على عدد من مسائل الفيزياء النظرية بين أينشتاين أن خلاصة التطور في أفكارنا عن عمليات الطبيعة، يمكن اعتباره التجسد أو الامتداد العضوي لأفكار نيوتن⁽⁴¹⁾. أي أن الفيزياء المعاصرة امتداد لفيزياء نيوتن، وفي هذا إقرار صريح بدور الميكانيكا النيوتونية في بناء صرح الفيزياء المعاصرة.

إن الميكانيكا النيوتونية تكفي في نطاق التجارب العادية، في الكميات المحدودة والسرعات الضعيفة كسرعة السيارات والعربات. وأما نظرية النسبية المعاصرة فتتدخل عندما يتطلب الأمر أرقاما كثيرة و ذيو لا رياضية طويلة، فهي جهاز الدقة في أيدي العلماء، كمثال الأرض فهي مسطحة إذا اقتصرنا على بقعة محدودة منها، ولكننا إذا نظرنا إليها ككل فهي كروية، فالصورة الثانية أدق من الأولى، والأولى تلتقي مع الثانية في نطاق المساحات المحدودة.⁽⁴²⁾ وهكذا يتضح أن الفارق الوحيد بين مبدأ النسبية عند "أينشتاين" و "نيوتن"، أنه بعد "أينشتاين" تكون نسبية الحركة دائمة أو صامدة في جميع أنواع التجارب، كما أن الأثير والفضاء يشيران إلى شيء واحد.

وقد يعارض بعض الميتافيزيقيين فكر "أينشتاين" على أساس أن السرعة المطلقة لا معنى لها، حيث أن أي تجربة لم تستطع رصدها، لكن العلم يختلف عن الميتافيزيقا، لأنه يقوم على التجارب، ولذا فإن معارضة مسبقة لفكرة السرعة المطلقة تكون بمثابة

خطيئة في حق المنهج العلمي، لكن السرعة المطلقة التي يفترض وجودها، والتي لم تؤكدتها التجارب، لا تمثل دورا مهما في النظم الطبيعية، ولذا فلو أثبتت النظم المستقبلية وجودها سيكون من الضروري إعادة تقديمها، ولكن الاحتفاظ بوجودها مبدأ عام ضد حكم التجارب يتنافى مع الأسلوب العلمي.⁽⁴³⁾ ولقد كتب أينشتاين في المقابل مبينا مزايا الميكانيكا الكلاسيكية قائلا: "علينا أولا أن نرى بوضوح إلى أي مدى استطاعت الميكانيكا الكلاسيكية أن تبرهن أنها صالحة لأن تكون أساسا لكل الفيزياء."⁽⁴⁴⁾

ولم تقتصر أهمية ما توصل إليه "نيوتن" على أنه أوجد أساسا منطقيا صالحا للميكانيكا فعلا، بل إنه ظل حتى القرن العشرين منهاجا لكل العلماء الذين يبحثون في الفيزياء النظرية. لقد كانت مبادئ "نيوتن" الأساسية مرضية منطقيا لدرجة أن ما يستوجب مراجعتها كان لا يمكن أن ينهض إلا بدافع من الحقيقة التجريبية وتحت ضغطها. وأكد "أينشتاين" أن "نيوتن" نفسه كان يعرف تماما مواطن الضعف في الصرح الفكري الذي شيده أكثر من جل أجيال العالم الذين جاؤوا بعده.⁽⁴⁵⁾ وهذا نخلص إلى أن نيوتن ينظر إلى المادة على أنها تتكون من جسيمات نقطية تتحرك تحت تأثير قوى التفاعل المتبادلة فيما بينها طبقا لقوانين معينة. وأهم هذه القوانين هو قانون الحركة الذي ينص على أن قوة الجسم تساوي جداء كتلته في السرعة وعبر عنه بالصيغة الرياضية التالية: القوة = الكتلة × السرعة. وقال في هذا: "كمية الحركة هي جداء الكتلة في السرعة."⁽⁴⁶⁾

وبالاشتراك مع قانون الجاذبية نجحت النظرية الميكانيكية النيوتونية في وصف حركة الكواكب، كما أمدتنا بوجه عام بوصف مقنع لحركة الأنظمة الماكروسكوبية المتعادلة كهربائيا. وجوهر ميكانيكا نيوتن يكمن في أنها تتعامل مع المادة في صورة جسيمات بكتلة محددة، كما أن حركة أي جسيم حرتعرف تعريفا تاما بدلالة طاقته E وكمية حركته P.⁽⁴⁷⁾ ووصف نيوتن الهدف المثالي لنظامه الميكانيكي قائلا: "إن استخلاص مبدئين عامين أو ثلاثة مبادئ عامة للحركة من الظواهر، ثم اظهار كيفية انبثاق خواص ونشاط جميع الأشياء المادية من هذه المبادئ التي يكون قد تم استجلاؤها. سيمثلان خطوة كبيرة في ميدان الفلسفة."⁽⁴⁸⁾ أي أن غاية الفلسفة الطبيعية عنده هي البحث عن مبادئ عامة للحركة أي قوانين عامة تفسر الطبيعة وظواهرها. وبهذا فإن النظام القديم في الفيزياء الحديثة كما يسميه مؤرخو العلم هو نظام نيوتن، ومقوماته هي المادة والمطلقات الثلاث المكان والزمان والحركة.

قانون الجذب العام لنيوتن:

بعد أن اطلعنا على مفهوم المادة والحركة وقوانينها كموضوع من موضوعات علم الطبيعة النيوتوني، نتناول في ما يلي موضوع آخر أكثر أهمية عند نيوتن، وهو قانون الجذب العام. فهذا القانون يفسر وجود الحركة في الكون سواء في الأرض أو في الأجسام السماوية أي هو قانون عام. فالذي يجعل الأرض تدور حول الشمس أو الذي يجعل القمر يدور حول الأرض من منظور نيوتن، هو ما يسمى التجاذب بين الأجسام الضخمة، وهذا ليس المقصود منه أنه يتعلق فقط بالأجسام الضخمة، بل يعني القانون أي جسمين في العالم.

ويتحدد معنى قانون التجاذب عند نيوتن من خلال الكتلة والمسافة، فالمسافة هي البعد في المكان، أما الكتلة فهي في مفهوم نيوتن شيء مختلف عن المادة فهي مقدار ما في المادة من قوة العزوف عن التغيير. أو قوة البقاء على الحالة الراهنة سكونا أو حركتنا ضد عوامل التغيير الخارجية أو القصور الذاتي. حيث إن حساب الكتلة يكون بمقدار ما يقع عليه من جاذبية الأرض. بحكم أن كل جسم على الأرض وإن كان يتجاذب كل جسم سواه إلا أن تجاذبه مع الأرض أوضح من أي تجاذب آخر لعظم حجم الأرض ولقربها، كما أن تجاذبه مع الأرض يمكن أن يعد جذبا من جانب واحد هو جذب الأرض للشيء، لأن جذب الأرض للشيء مقدار تافه يمكن تجاوزه.

وحقيقة تصور نيوتن للكتلة لا يفرض الجاذبية أولا بل يفرض وجود الكتلة أولا وبهذا تصور نيوتن العالم المادي على أنه يتكون من مادة لها خاصية القصور الذاتي أو العزوف عن التغيير، تتفاوت خاصيتها هذه بين جزء من المادة وجزء آخر حسب ما لكل منهما من كتلة، ويحاول كلا الجزأين أن يجذب الآخر إليه، فيمتنع الآخر عن جذب الآخر بكل ما لديه من كتلة، كما هو الحال في مبادرة شد الحبل، فإن كانت كتلة أحد الجزأين أكبر جدا من الجزء الآخر كالنسبة بين كتلة الأرض وكتلة كرة مثلا، نرى بسهولة أي الجزأين سيجذب الآخر إليه، وعندئذ يجوز لنا أن نحسب مقدار ما في الكرة من كتلة بمقدار مقاومتها لجاذبية الأرض، لأنه مقدار قليل. (49)

والملاحظ أن نيوتن ربط قانون الجذب العام بسقوط الأجسام، حيث أكد أن السبب في سقوط الأجسام إلى الأرض إنما يرجع إلى المؤثر نفسه الذي يتسبب في دوران الأرض وغيرها من الكواكب في أفلاكها الدائرية تقريبا حول الشمس، وفي دوران القمر حول الأرض ويتلخص هذا السبب حسبه في أن هناك قوة تجاذب بين الشمس والأرض تمسك الأرض في مدارها حول الشمس، وأن هذا النوع من القوة هو الذي يتسبب في سقوط كتلة معينة إلى سطح الأرض. وبهذا فرض نيوتن صيغة القانون الذي وحد بين القياسات الفلكية والملاحظات الأرضية وهو "قانون الجاذبية".⁽⁵⁰⁾

وكان منطلق نيوتن لنظريته في الجاذبية سؤاله: لماذا لا يسقط القمر مثلما يسقط التفاح؟ وكذلك دراسته لحركة الأجرام السماوية واستفادته من أبحاث كبلر وغاليلي. وبذلك تمكن من بناء فرضية علمية حوّلت فيها ظاهرة طبيعية خاما إلى مجال رياضي مجرد وتمثلت تلك الفرضية في أنه إذا كان القمر لا يسقط، فذلك لأن قوة جاذبية الأرض تمسك به حيث قال: "القمر يبقى في مداره لأنه ممسوك بقوة الجاذبية."⁽⁵¹⁾ وأكد ذلك أيضا في الجزء الثاني من كتاب المبادئ قائلا: "القمر ينجذب نحو الأرض، وعن طريق قوة الجاذبية يستمر في خط مستقيم ويحتفظ بمساره."⁽⁵²⁾

حاول نيوتن صياغة فكرة الجاذبية الأرضية في شكل قانون رياضي. حيث درس أولا نظرية كبلر لجهة التجاذب بين الشمس والكواكب المحيطة بها، وبعد أبحاث امتدت حوالي عشرين عاما توصل إلى قانون التجاذب الكوني العام الذي ينص على ما يلي: "تجاذب جميع الأجسام في الطبيعة بقوة تتناسب طرديا مع كتلتها وعكسيا مع مربع المسافة التي تفصل بينها"⁽⁵³⁾. وعبر عنه بالصيغة الرياضية التالية:

$$F_g = G \cdot M_1 \cdot M_2 / D^2$$

حيث: M_1 : ترمز إلى كتلة الجسم الأول.

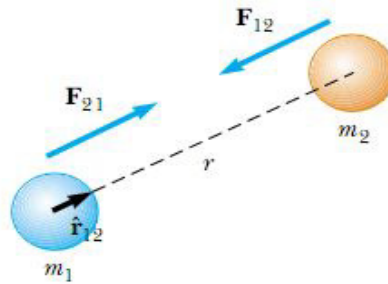
M_2 : ترمز إلى كتلة الجسم الثاني.

D : يرمز إلى المسافة الفاصلة بين الجسمين.

G : مقدار ثابت يدعى ثابت الجذب العام.

F_g : ترمز إلى قوة التجاذب بين الجسمين.

أي أن القوة تزداد إلى الضعف إذا ضوعفت إحدى الكتلتين وتقل إلى ربع قيمتها إذا ضوعفت المسافة بينهما.



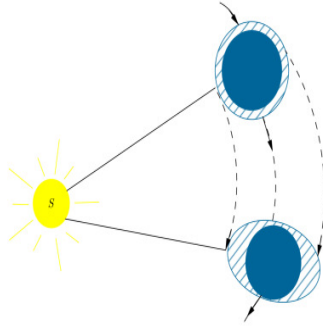
الشكل 1: يمثل قوة التجاذب بين جسمين عند نيوتن.⁽⁵⁴⁾

من الشكل يتضح أن لدينا كتلتين M_1 و M_2 وتفصل بينهما مسافة r حيث أن شعاع الوحدة r_{12} موجه من الجسم 1 إلى الجسم 2 والقوة F_{21} مساوية لـ F_{12} . وحساب قوة التجاذب بينهما تكون وفق العلاقة الرياضية السابقة.

وعبر نيوتن عن قانون الجذب العام واصفا إياه في كتابه "مبادئ الفلسفة الطبيعية" في الجزء الثاني منه حيث قال: «إن النظام الكلي الذي نرمز إليه بعد الآن بقانون الجاذبية معنى إيجابيا واضحاً فالعقل يستطيع الإحاطة بهذا النظام. وهو ليس أزليا سريا لأنه من أكثر الأمور بدها. وينتج عن ذلك أن الحقيقة الوحيدة التي يمكن لوسائلنا في المعرفة إدراكها - أي المادة و الطبيعة - تبدو لنا كمزيج من الخصائص أحكم انتظامه ويمكن للعلاقات القائمة بينها أن يعبر عنها بلغة الرياضيات».⁽⁵⁵⁾

ولقد بين نيوتن أن قوة التجاذب هي المناسبة لسقوط الأجسام نحو الأرض، كما أنها هي المسؤولة عن المدارات شبه الدائرية التي تدور فيها الكواكب حول الشمس، والقمر حول الأرض، وحسبه قانون الجاذبية قانون عام ومطلق، أي أنه صحيح في جميع الظروف وفي كل زمان ومكان، فلا تقتصر قوة الجاذبية على المجموعة الشمسية فحسب بل تتعداها إلى مجراتها التي تكوّن الشمس وكواكبها جزءا ضئيلا منها.

وعلى ضوء القوانين الثلاثة السابقة للحركة، واستنادا إلى القوانين التي قال بها "كبلر" صاغ نيوتن قانون الجاذبية الذي مكن من حل كثير من المشاكل العلمية وتفسير الكثير من الظواهر الطبيعية مثل المد والجزر وحركة الأجسام السماوية في مداراتها، وحركة المذنبات، إلى غير ذلك من الظواهر الطبيعية. حيث فسر نيوتن ظاهرة المد والجزر في المحيطات فعزاها إلى عدم التساوي في قيم قوى الجاذبية التي تؤثر بها الشمس على نصف الكرة الأرضية الذي يواجهها ونصف الكرة الذي من الناحية الأخرى، على النحو الممثل في الشكل 02.



الشكل 02: تفسير نيوتن لظاهرة المد والجزر⁽⁵⁶⁾

والملاحظ أنه أقرب بأن فكرة الجذب العام معطى تجريبي، لكن رغم ذلك فإنه أقحم "الميتافيزيقا" في تفسير طبيعة الجاذبية نفسها، حيث أنه في مسألة ما إذا كان الجذب خاصية ذاتية للمادة مثل الامتداد والحركة والصلابة أم أنها شيء خارج عن صفاتها الأساسية هذه.

كما رأى بأن الجاذبية ليست صفة ذاتية ولا ضرورية للمادة، فهو يرى أن الله عندما خلق المادة خلقها مع صفاتها الأساسية الامتداد والحركة، الشيء الذي نتج عنه عالم يسير سيرا ميكانيكيا وحسب نيوتن لكي يكون العالم كما هو عليه فعلا أضاف الله إلى هذه الطبيعة الميكانيكية للعالم خاصية جديدة بموجها تنجذب الأشياء إلى بعضها⁽⁵⁷⁾. وبهذا ربط فكرة الجذب العام بقوة ميتافيزيقية تسير العالم.

ونجد نيوتن في نظريته إلى العلوم الطبيعية اعتمد طريق غاليلي، حيث بحث عن قوانين الطبيعة بواسطة التجربة والمشاهدة وهي طريقة جديدة في زمنه. واعتبر قانونه في الجاذبية تفسيراً سليماً للظواهر الطبيعية لكنه لم يعط تفسيراً لأسباب الجاذبية، حيث اعترف بأنه لا يعرف هذه القوة الهائلة رغم محاولته الوصول إلى معرفة سببها. حيث قال: "عندما أقول أن المراكز تجذب، وعندما أتكلم عن قوتهم، لا يجب التفكير في أنني أريد أن أنسب إليها أي قوة حقيقية".⁽⁵⁸⁾ وفي هذا إقراراً صريحاً بجهله لحقيقة الجاذبية رغم تفسيره لحركة سقوط الأجسام وتجاذبها عن طريق هذه القوة.

وقدم رأيين لتفسيرها، أولهما أن توجد مادة "أثيرية" موزعة توزيعاً غير منتظم في الفضاء، فهي كثيفة في بعض الجهات مقارنة بجهات أخرى وبتضاغط هذه المادة يمكن أن ينشأ اقتراب الأجسام وتجاذبها، وثانيهما أن سبب الجاذبية هو مجرد إرادة الخالق، ومن منظوره نيوتن لا تعارض بين الرأيين فهي مراتب للحقيقة. فالحواس تكشف لنا عن قوانين الطبيعة ومن وراء هذه القوانين توجد حقائق ما وراء الطبيعة أي حقائق ميتافيزيقية.⁽⁵⁹⁾ ورأى نيوتن أن تركيب المجموعة الشمسية ما كان يمكن أن يحدث من دون وجود الخالق الأعظم. وعُرف عنه أنه كان على درجة من التدين، ورغم ذلك كان حريصاً على الفصل بين معتقداته الدينية وأبحاثه العلمية. لكنه بالرغم من ذلك تبقى الروح الميتافيزيقية الفلسفية تطفئ على بحوثه وكمعطى موضوعي يكون "نيوتن" قد أحدث تحولاً كبيراً في مجال دراسة فكرة الجاذبية حيث طورها من مجرد ملاحظة لظاهرة طبيعية خام، إلى فكرة علمية مصاغة بلغة رياضية دقيقة وهنا تكمن عبقرية هذا العالم الفيزيائي والفيلسوف. ولم يكتف بهذا بل وسع مجال بحثه في ظواهر الطبيعة مركزاً على ظاهرة الضوء.

نظرية نيوتن في الضوء:

كانت الفوضى تهيمن على علم الألوان قبل "نيوتن". فحتى مطلع القرن السابع عشر سادت في هذا المضمار أفكار أرسطوطاليس القائلة بأن الألوان هي مزيج من الضوء ونسب مختلفة من الظلمة. ولقد ردد هذه الأفكار علماء كبار منهم "كبلر" الذي اعتبر اللون ضوء تخفته المواد المختلفة. وحتى "اسحاق بارو" ISAAC BARO (1630-1677) أستاذ "نيوتن" كان يقول: «تكون المادة بيضاء اللون عندما تحتوي ضوء غزيرا، وسوداء إذا لم تحتوي أي لون، وحمراء إذا كان النور قويا وتقطعه فواصل مظلمة، وزرقاء إذا بعثت نورا خفيفا، أما اللون الأخضر فهو قريب من الأزرق، وأما بقية الألوان فهي مزيج من المذكورة سابقا...»⁽⁶⁰⁾. وقد درس نيوتن نظريات أستاذه بعمق ولم يخالف آراءه في البداية، ولكن تجاربه المخبرية حسمت الموضوع، حيث توصل بعد بحث طويل ومناقشات إلى نظرية في الضوء الأبيض.⁽⁶¹⁾ وفي هذا الإطار ركز نيوتن على ضبط بعض المفاهيم والمصطلحات الهامة في مجال الضوء أوردها في كتابه رسالة في البصريات .

حيث عرف الشعاع الضوئي في قوله: «لذلك ما أدعوه شعاعا ضوئيا إنما هو أصغر جزء نستطيع إيقافه بصرف النظر عن باقي الضوء، أو هو الذي يستطيع أن يمتد لوحده، أو أن يفعل شيئا أو ينفعل بشيء ما لوحده، دون أن يكون لباقي الضوء أي دور في ذلك.»⁽⁶²⁾، وانطلاقا من هذا التعريف يتضح أن نيوتن عرف الشعاع الضوئي بأنه أصغر جزء من الضوء يمكن أن نوقفه دون بقية الضوء الصادر.

بالإضافة إلى ذلك عرف انكسارية أشعة الضوء قائلا: «إن انكسارية "Refractivity" أشعة الضوء هي قابلية انكساره أو تحوله عن مجراه، عند مروره من جسم أو وسط مادي إلى آخر. وبقدر ما تكبر أو تصغر قابلية تحول أشعة ذات ورود incidence معين، عن مجراها تكبر انكساريتها أو تصغر.»⁽⁶³⁾ وبهذا يكون مفهوم الانكسار بالنسبة للضوء عنده هو تحول أشعته عن مسارها وتغير اتجاهها بميل معين، أي أن الشعاع الضوئي يغير اتجاهه بزاوية معينة.

وفي الاطار المفاهيمي دائما عرف نيوتن الانعكاسية Reflexibility، أي انعكاسية الضوء في قوله: «إن انعكاسية الأشعة هي قابلية انعكاسها أو ارتدادها عن الوسط الذي تقع على سطحه، إلى الوسط الذي انطلقت منه، وبقدر ما يكون الارتداد سهلا تكون الأشعة قابلة للانعكاس.»⁽⁶⁴⁾، وهنا وضع معنى انعكاس الضوء حيث ربطه بالشعاع الضوئي الذي يعود إلى منطلقه بعد بلوغه سطحاً معيناً كما يحدث عند توجيه شعاع ضوئي إلى المرآة حيث ينعكس.

وقسم نيوتن الضوء إلى بسيط ومركب حيث ميز بينهما في قوله: «إنني أدعو ضوءاً بسيطاً، متجانساً Homogeneous ومتشاهماً، ذلك الذي تكون قابلية انكسار أشعته متساوية، وأدعو ضوءاً مركباً، غير متجانس Heterogeneous أو متشاهماً، ذلك الذي تكون قابلية انكسار جزء من أشعته أكبر من قابلية انكسار جزء آخر منها»⁽⁶⁵⁾. وبهذا يمايز نيوتن بين الضوء البسيط والمركب حيث أن البسيط يتميز بكون أشعته قابلة للانكسار بشكل متساو في حين الضوء المركب تكون قابلية انكسار جزء من أشعته أكبر من أجزاء أخرى. وقال أيضاً: «إنني أدعو ألوان الأضواء المتجانسة أضواء بدائية متجانسة وبسيطة. كما أنني ألقب ألوان الأضواء غير المتجانسة بالألوان غير المركبة وغير المتجانسة»⁽⁶⁶⁾.

ومن خلال دراسته للضوء كظاهرة طبيعية توصل إلى نظريتين، الأولى حول الضوء الأبيض والألوان استوحاها من التجربة، والثانية حول طبيعة الضوء، وفحوى نظريته حول الضوء الأبيض أن الألوان موجودة في الضوء الأبيض نفسه، وما يميزها عن بعضها هو قابليتها المختلفة للانكسار داخل الموشور حيث أكد ذلك في قوله: «يتكون نور الشمس من أشعة تختلف قابليتها للانكسار. ويقابل كل قابلية انكسار معينة لونا معيناً والعكس صحيح. فالأشعة الحمراء هي أضعف انكساراً، والبنفسجية أشدها انكساراً، ونستطيع تركيب اللون الأبيض من الألوان الأخرى، وما لون الشمس الأبيض إلا مزيج متناسق من الألوان البدائية»⁽⁶⁷⁾. أي أن الضوء الأبيض عبارة عن مزيج من الألوان المنسجمة وليس كما كان ينظر إليه أرسطو طاليس، وكبلر، وإسحاق بارو.

إذ حسب نيوتن الضوء الأبيض عند مروره من موشور زجاجي، فإنه ينبثق من الناحية الأخرى على شكل حزمة من الضوء بها نفس الألوان، التي يتكون منها قوس قزح والذي يظهر في السماء في الأيام الممطرة، وبهذا اكتشف أن ضوء الشمس الذي يبدو لأعيننا ناصع البياض إنما يتكون في الحقيقة من عدة ألوان غير اللون الأبيض سماها ألوان الطيف السبعة، وكل لون من هذه الألوان يختلف مدى اشعاعه عن اللون الآخر.

وبذلك فإن اللون الأبيض في الواقع خليط من ألوان كثيرة، وأن هذه الألوان تنكسر بدرجات متفاوتة عند مرورها في الموشور. وحسبه ثمة سبعة ألوان يتكون منها الضوء هي: الأحمر، والبرتقالي، والأصفر، والأخضر، والأزرق، والبنفسجي، والأسود.⁽⁶⁸⁾

وعبر عن ذلك "جورج جاموف" في كتابه قصة الفيزياء قائلاً: «وتقتصر أعمال "نيوتن" في هذا المجال على دراسة الألوان، والبرهان الأساسي على أن الضوء الأبيض هو في الواقع خليط من الأشعة المتباينة الألوان ابتداءً من الأحمر إلى البنفسجي»⁽⁶⁹⁾، كما رأى أن نيوتن خرج من تجاربه البسيطة في الضوء بنتيجة مفادها أن اللون الذي يتكون به أي شيء

من الأشياء المرئية يعتمد على طبيعة المادة التي يتكون منها هذا الشيء، ونوع وصفة الضوء المسلط عليه.⁽⁷⁰⁾

أما نظريته الجسيمية، فقد أقر فيها أن الضوء يتألف من جزيئات متناهية في الصغر. تسير في خطوط مستقيمة مندفعة من مصدرها، حتى إذا صادفت جسما من الأجسام ارتدت عنه كما ترتد كرة حين تصطدم بحائط، وتكون زاوية الارتداد مساوية لزاوية السقوط.⁽⁷¹⁾ ويظهر هذا من خلال تعريفه للضوء، حيث عرفه في قوله: «أعني بأشعة الضوء أصغر أجزاءه، والمتتالية منها على الخطوط ذاتها، أو المتقاربة منها، على الخطوط المختلفة، فمن البديهي أن الضوء يتألف من أجزاء متتالية وأخرى متقاربة: وذلك لأننا نستطيع في المكان ذاته، أن نوقف الجزء الوارد في وقت معين وأن ندع الجزء الوارد بعده مباشرة يمر، كذلك نستطيع أن نوقف جزءا منه، في مكان معين، وندع جزءا آخر يمر في الوقت عينه في مكان آخر، ولا يمكن للجزء الذي أوقفناه أن يكون نفسه الذي سمحنا له بالمرور»⁽⁷²⁾. ومن هذا التعريف تتضح النظرة الجسيمية للضوء عنده فهو لا يقر بالطبيعة الموجية التي سلم بها هويجنز.

وفي نفس السياق عبر جاموف عن رفض نيوتن للنظرية الموجية في قوله: «ولكن نيوتن كان يعارض النظرية الموجية للضوء بعنف وشدة، ويرجع ذلك غالبا إلى أنه لم يدرك كيف يمكن أن تفسر هذه النظرية انتشار الضوء في خطوط مستقيمة. وقد أصر على أن أحزمة الضوء يجب أن تكون مجرى من الجسيمات المندفعة بسرعة خارقة عبر الفضاء»⁽⁷³⁾.

كما بين الدكتور عبد الكريم اليافي الطابع الجسيمي للضوء عند نيوتن في كتابه تقدم علم الفيزياء الحديثة والفلسفة قائلا: «وفي نظر نيوتن ينتشر الضوء عن طريق انتقال جزيئات مادية تصدرها المنابع الضوئية، وتختلف طبيعة هذه الجزيئات باختلاف ألوان النور، إلا أنها تنتشر جميعا وفق خطوط مستقيمة تسير بسرعة واحدة في الفراغ»⁽⁷⁴⁾ وتوصل نيوتن في نظريته الجسيمية إلى أن سرعة الضوء أكبر في الوسط الكثيف منه في الوسط الأقل كثافة. وبالرغم من أنه تم اكتشاف سرعة الضوء من قبل ذلك، إلا أن قياس سرعة الضوء في المسافات القصيرة نسبيا لم يكن ممكنا. ومن الاكتشافات الهامة التي توصل إليها هي اكتشافه "لمبدأ التذبذب" في الضوء، وفي رأيه أن اختلاف الذبذبة ينشأ عنه اختلاف في اللون، واستنبط نيوتن هذا مقارنة وقياسا إلى ما يحدث في الصوت.⁽⁷⁵⁾ والتذبذب هو حركة الجسم بأكمله حركة دورية ذهابا وإيابا. وهو غير الاهتزاز الذي يتحرك فيه الجسم حركة دورية دون أن يبرح الجسم مكانه.⁽⁷⁶⁾

نتائج بحوث نيوتن في الضوء:

انطلاقاً مما سبق يتضح أنه قدم تصورات واضحة حول الضوء من حيث طبيعته وألوانه، كما توصل إلى عدة نتائج هامة. منها أن الضوء من طبيعة جسيمية وأن انكسارية أشعة الضوء تختلف باختلاف ألوانها. وأثبت ذلك تجريبياً، كما توصل إلى أن انكسار اللون الأزرق والبنفسجي أكبر من انكسار اللون الأحمر والأصفر، حيث قال: «إن انكسار اللون الأزرق والبنفسجي أكبر من انكسار اللون الأحمر والأصفر»⁽⁷⁷⁾ وأثبت هذا تجريباً من خلال إشهار عدة مواشير.

كما توصل إلى نتيجة مفادها أن ضوء الشمس يتكون من أشعة مختلفة الانعكاسية حيث قال: «يتألف ضوء الشمس من أشعة مختلفة الانعكاسية، والأشعة الأكثر انكسارية من غيرها هي ذاتها الأكثر انعكاسية»⁽⁷⁸⁾، أي أن الأشعة الضوئية التي تنكسر أكثر بالضرورة تنعكس أكثر.

إضافة إلى ذلك توصل إلى أن أكثر الألوان إضاءة في الموشور هو الأصفر والبرتقالي حيث قال: «تجدد الملاحظة أيضاً أن أكثر الألوان المنشورية والبرتقالي، نقول بأن هذين اللونين يؤثران على الحواس أكثر مما تفعل جميع الألوان الأخرى مجتمعة. يندرج بعدها مباشرة، على صعيد القوة، اللونان الأحمر والأخضر والمقارنة، فإن الأزرق لون ضعيف ومعتم، أما النيلي والبنفسجي فهو أكثر ضعفاً وعتمة، بحيث لا يستحقان أن نغيرهما أي انتباه عند مقارنتهما بالألوان الأخرى»⁽⁷⁹⁾.

حقق نيوتن تحليل وتفسير ألوان الأجسام الطبيعية الثابتة بواسطة خاصيات الضوء التي اكتشفها حيث قال: "تنتج هذه الألوان من كون بعض الأجسام الطبيعية تعكس بعض أنواع الأشعة، بينما يعكس بعضها الآخر أنواعاً أخرى منها بغزارة أكبر مما يعكس غيرها. ويعكس معدن الرصاص الأحمر، بغزارة أكبر الأشعة الأقل انكسارية، أو المنتجة للون الأحمر، فيبدو بذلك أحمر اللون. ويعكس زهر البنفسج، بغزارة أكبر، الأشعة الأكثر انكسارية مما يسبب لونه المعروف، لأن كل جسم يعكس أشعة لونه الخاص بكمية أكبر مما يعكس أشعة أي نوع آخر، فإنه يأخذ لونه من زيادة هذه الأشعة وسيطرتها على الأشعة المعكوسة."⁽⁸⁰⁾ وأثبت نيوتن ذلك تجريبياً. وكانت نظريات وقواعد نيوتن عن طبيعة الضوء وألوانه المختلفة الأسس الرئيسية التي اعتمد عليها علماء القرن العشرين.

منهج علم الطبيعة النيوتوني

بعد اطلاعنا على موضوعات فلسفة الطبيعة النيوتونية وأهم تصوراتها حولها، نركز في ما يلي على المنهج النيوتوني في دراسة الطبيعة وهذا الأمر تفرضه الدراسة الاستمولوجية

للموضوع، حيث أنه لا يمكننا فهم حقيقة فيزياء نيوتن، والتي تعد ركيزة الفيزياء الكلاسيكية دون التركيز على منهجه في البحث الطبيعي.

وعبر نيوتن بوضوح عن منهجه في الفلسفة الطبيعية في كتابه "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" حيث بين فيه القواعد التي يجب اتباعها في دراسة الفيزياء.⁽⁸¹⁾ وأورد هينريغ أن "كوتس R.COTES". أحسن من شرح موقف نيوتن ومنهجه في البحث، وهو الذي نشر كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية في طبعته الثانية، إذ حسب كوتس قسم نيوتن كل من يكرس نفسه للبحث في مجال الفيزياء إلى ثلاثة أصناف، الصنف الأول أناس يلقون ببعض الأشياء خواص نوعية وخفية تتوقف عليها تصرفات شتى الأجسام وهم أنصار الفلسفة المدرسية الأرسطية. أي أنهم يفسرون الظواهر الفيزيائية تفسيراً ميتافيزيقياً.

أما أناس الصنف الثاني فهم أناس يؤكدون حسبه أن مادة العالم متجانسة وأن تنوع الوظائف الخاصة بمختلف الأجسام ناجم عن بعض العلاقات البسيطة التي ترى بسهولة فيها بين الجسيمات المؤلفة لها. ولكن ما داموا يسمحون لأنفسهم أن يتصوروا أجزاء ذات أشكال وحجوم مختلفة ومجهولة بمنحوتها موضوعاً وحركة غير معينين، فهم ينزلون إلى إدراك الهواجس.⁽⁸²⁾ ويظهر ذلك في قول نيوتن: «إن أولئك الذين يؤسسون أفكارهم على فرضيات لا يمكن أن يبنوا سوى حكايات قد تكون جميلة وممتعة لكنها مجرد حكايات، حتى ولو سلكوا فيما بعد سلوك الرصد الدقيق لقوانين الميكانيكا».⁽⁸³⁾ وحسبه فالطريقة الثانية لا تؤدي إلى استنتاجات موثوقة.

وشرح كوتس طريقة نيوتن في البحث كصنف ثالث كما يلي: "ولنتكلم الآن عن الصنف الثالث من علماء الطبيعة، عن أولئك الذين لا يعترفون، في فلسفتهم إلا بالأسس التجريبية وهم رغم قناعتهم التامة بوجوب استنتاج أسباب كل الأمور انطلاقاً من أبسط ما يمكن من المبادئ، يقلبون كمبدأ وجود شيء لم يتبين بعد في الظواهر. وهم يستخدمون في هذا البحث طريقتين: التحليل والتركيب، فمن بعض الظواهر المختارة بمهارة يستنتجون بالتحليل قوى الطبيعة وأبسط قوانينها، ثم يشرحون بعدئذ بطريقة تركيبية ترتيب الظواهر الأخرى ومواقعها على أساس أنها تتعلق بتلك القوة مباشرة، إنها بلا ريب خير أسلوب في العمل، وهو أيضاً الأسلوب الذي اختاره كاتبنا المرموق (نيوتن)، والذي اعتبره بحق أفضل من أي أسلوب آخر. فتفسير منظومة العالم تستنتج بمثل تلك السهولة من قانون الجاذبية. تطبيق موفق لهذه الطريقة الجديدة، قد خطر لبعض الفلاسفة قبل السيد نيوتن، أن الثقالة يمكن أن تكون شيئاً مشتركاً لكل الأجسام، وقد تصور آخرون ذلك بلا مبر. أما فيلسوفنا فهو الأول والأوحد الذي استطاع اثباته بالظواهر الطبيعية وأعطاه أساساً مثبتاً بفضل التأملات الأكثر نباهة."⁽⁸⁴⁾

وهذا يعترف كوتس أن منهج نيوتن في الفلسفة الطبيعية يعتمد على أساس تجريبي ينطلق من أسباب واقعية بغرض بلوغ قوانين عامة، كما يعتمد على التحليل والتركيب كعمليات رياضية، ويراه أفضل أسلوب ومنهج في الدراسات الطبيعية. وفصل كوتس في شرح منهج نيون مبرزاً دور الملاحظة والتجربة قائلاً: "على أننا يجب أن نستنتج هذه القوانين من افتراضات غير موروثة، بل يجب أن نكتشفها عن طريق الرصد والتجربة. هذا وإن التفاخر بالقدرة على اكتشاف مبادئ فيزياء حقيقية، وعلى اكتشاف قوانين الطبيعة بقوة العبقرية وحدها، بصرف النظر عن كل ما يحيط بنا، وبالاعتماد على اشراق العقل الباطن، يؤكد القول بأن العالم موجود بضرورته وأن القوانين الطبيعية امتداد مباشر لهذه الضرورة، أو هو في حالة الاقتناع بأن هذا العالم صنيعه الله. شيء من الغرور يدفع صاحبه إلى التصور بأن مخلوقاً صغيراً أو ضعيفاً، كالإنسان يعرف بوضوح رغم صغره وضعفه أحسن ما استطاع الله صنعه، إن كل فلسفة سليمة وجديرة بهذا الاسم تعتمد حصراً على الظواهر التي تقودنا شئنا أم أبينا إلى مبادئ نرى فيها توقد الذكاء الخارق والقدرة المطلقة لكائن واسع الحكمة والمقدرة."⁽⁸⁵⁾ وبهذا يظهر أن نيوتن اعتمد منهجاً فرضياً استنتاجياً، أثبت من خلاله أن ظواهر الطبيعة من خلال القوانين التي اكتشفها تحكمها حتمية مطلقة، أي تحكمها الضرورة.

وكان نيوتن بهذا يصّر على أن الملاحظة الحسية والتجربة المباشرة هما المعيار الوحيد لصدق الفرض العلمي، وبين أن ما حققه من كشوف وقوانين علمية ونظريات إنما هو نتيجة استقراء مباشر للظواهر، ولذا كان يميز بين النتائج العلمية التي تقوم على الملاحظة المباشرة وبين الفروض الميتافيزيقية التي لم يجد مبرراً لإقحامها في مجال عمله كعالم فلكي وطبيعي. حيث قال: "هذا وإن الفرضيات، سواء كانت ميتافيزيقية أو فيزيائية، ميكانيكية أو من مجال الأوصاف الخفية يجب أن لا تفتح لها أبواب الفيزياء، ففي هذا العلم تستمد المقولات من الظواهر ثم تعمم بالاستقراء."⁽⁸⁶⁾

ويحكم عليه الدكتور فهد زبدان من أعماله، أنه من رواد المنهج الفرضي، المنهج العلمي المعاصر، وأن ما وصل إليه في الميكانيكا والجاذبية يرجع لإتباعه المنهج الفرضي،⁽⁸⁷⁾ ولذلك فهو صاحب الفضل في وضع المبادئ الأساسية للعلم الطبيعي كما نفهمه الآن. كما استخدم لفظة الفلسفة الطبيعية بمعنى العلوم الفلسفية أو هي عنده العلم الطبيعي أو الفيزياء. وورد هذا في عنوان كتابه "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" إذ المقصود بالفلسفة الطبيعية علم الطبيعة في زمن نيوتن.

إن استعمال نيوتن للمنهج الفرضي الاستنتاجي يختلف عن المنهج الديكارتي، إذ يمكن إبرازه في كون ديكارت كان يشترط أن تكون المبادئ واضحة وضوحاً عقلياً، وأن تكون الأشياء

مستنتجة منها بحيث يمكن معرفة المبادئ دون النتائج، ولكن لا يمكن معرفة النتائج دون المبادئ، بينما نيوتن يلج على ضرورة عدم افتراض أي شيء قبل البرهنة عليه والتأكد منه بالتجربة فهو لا يقبل بالفرضية إلا بعد أن تصبح حقيقة علمية. كما بين أن من النتائج يمكننا استنتاج الأسباب وليس العكس.

وبهذا نجد نيوتن قد اعتمد منهجا فرضيا استنتاجيا، قائما على ضرورة أن تكون التجربة أساسا للفرضية فلا تكون الفرضية دقيقة إلا إذا أكدت التجربة الواقعية العملية، كما لا تحدد أسباب الظواهر الطبيعية بالرجوع إلى الاستنتاجات وإنما بالرجوع إلى النتائج التي وقعت عمليا أي نتائج الظاهرة، وفي هذا تركيز على الطابع التجريبي للمعرفة وهو بهذا أقرب إلى النظرة الوضعية منه إلى النظرة العقلية.

وفي نفس السياق قال هيزنبرغ عن منهج نيوتن في البحث: «لقد أتاح رصد الظواهر والتعميم الاستقرائي لنيوتن أن يكتشف الحركية وقوانين الحركة الثقلالية: الجذب الثقالي موجود ويعمل بموجب القوانين التي أصدرها. ويتخذ منطلقا لتفسير حركات الأجرام السماوية. فهو ينفي الخواص الخفية للأجسام. وبإصدار المسلمات التي تتعلق بتعريف مفاهيم الكتلة والسبب والقوة والعطالة والمكان والزمان والحركة. كان نيوتن أول من صنع منظومة للعلوم الطبيعية الحديثة»⁽⁸⁸⁾. وفي هذا اقرار بجهود نيوتن في تشييد سرح العلم الحديث.

ونجده في نهاية كتابه المبادئ عاد وأكد أن منهجه في البحث هو الاستقراء حيث قال: «لم أتمكن بعد من استخلاص الجاذبية من الظواهر الحسية ولم أتخيل أبدا افتراضات لأن ما لم يستنتج من الظواهر الحسية افتراض، والافتراضات ميتافيزيقية كانت أو فيزيقية أو ميكانيكية أو مستترة لا ينبغي أن تقبل في الفيزياء ففي الفيزياء نستنتج الأفكار من الظواهر الحسية ثم تعمم بعد ذلك عن طريق الاستقراء، وهكذا عرفنا اللاتحيزية والحركة وقوة الأجسام وقوانين أخرى عرضناها»⁽⁸⁹⁾ وبهذا حسبه استخلاص الجاذبية كان من الظواهر الحسية ثم التعميم عن طريق الاستقراء.

وعبر هانز راشنباخ عن ذلك في كتابه نشأة الفلسفة العلمية بقوله: «إن البرهان التجريبي على القانون المسعى بقانون الجاذبية يتم بطريقة غير مباشرة، ما دام من الممكن، كما أوضح نيوتن، أن نستخلص منه جميع نتائج الملاحظات التي تلخصها قوانين كبلر، بل إن الأمر لا يقتصر على ذلك، وإنما يمكن بالمثل استخلاص قانون سقوط الأجسام عند جاليليو، وكثير غيره من الوقائع الملاحظة، كظاهرة المد والجزر في ارتباطها بمواقع القمر»⁽⁹⁰⁾. وفي تصريح راشنباخ اقرار باعتماد نيوتن على الملاحظة والاستقراء التجريبي في منهجه.

ما يمكن قوله أخيراً هو أن نظام نيوتن الميكانيكي قدم محاولات لتفسير الطبيعة بلغة ميكانيكية، وقد تدعم على مر الزمن بتصورات ميكانيكية للكهرومغناطيسية قدمها مكسويل (Maxwell) وفراداي (Faraday)،⁽⁹¹⁾ كلها رأت أن العالم مجموعة من الجسيمات تتحرك بتأثير الدفع والجذب من جانب جسيمات أخرى، هذا الدفع والجذب يماثل ما تفعله عضلاتنا بالأشياء التي نلمسها.⁽⁹²⁾ وهذا ما يبين سيطرة النظرة الميكانيكية في الدراسات الفيزيائية. وبهذا يكون قد اتضح الجديد الذي جاء به نيوتن في مسائل المكان والحركة، والضوء والجاذبية والزمان وغيرها إضافة إلى منهجه في البحث في الطبيعة، وتميزت عن إنجازات سابقة كموضوعات ومنهج. حيث أنه قام في ما سبق بعملية دمج بيكوني استقرائي نموذجي بين الكشف والتبرير. فقوانين الحركة والجاذبية تم اكتشافها بواسطة الاستدلال الاستقرائي من الظواهر، وتم تبريرها بالطريقة نفسها أي بالاستدلال الاستقرائي، كما أنه من جهة أخرى لم يتحدث عن الاستدلال بواسطة الاستقراء العام من لكنه يتحدث مباشرة عن الاستنباط من الظواهر وهذا الأمر له أهمية لأنه غالباً ما كان يتم الخلط بين الاستقراء والاستنباط في القرنين السابع عشر والثامن عشر.

الهوامش:

- (1)- منير البعلبكي، معجم أعلام المورد، دار العلم للملايين، بيروت 1992، ط1، ص462.
- (2)- دونالد جيليز، فلسفة العلم في القرن العشرين، ترجمة: د. حسين علي، مراجعة وتقديم: أ.د. إمام عبد الفتاح إمام، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة 2010، ص56.
- (3)- Newton Isaac, **Principes mathématiques de la philosophie naturelle**. Tom1, **op.cit**, p xvj.
- (4)- عبد القادر بشتة، الإيستمولوجيا مثال فلسفة الفيزياء النيوتنية، دار الطليعة للطباعة والنشر، بيروت 1995، ص88.
- (5)- روبرت م. أغروس، جورج ن. ستانسيو، العلم في منظوره الجديد، سلسلة عالم المعرفة، ترجمة: كمال خلايلي، العدد 134 الكويت 1989، ص20.
- (6)- بول ديفيز وجون جرين، أسطورة المادة، ترجمة: علي يوسف علي، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ص16.
- (7)- Newton Isaac, **Principes mathématiques de la philosophie naturelle**..., tom1, **op.cit**, p343.
- (8)- Newton Isaac, tom1, **op.cit**, p343.
- (9)- **Ibid**, p01.
- (10)- **Idem**, p02.
- (11)- Newton Isaac, tom1, **op.cit**, p17.
- (12)- فرانسواز باليبار، اينشتاين يقرأ غاليليو ونيوتن المكان والنسبية، ترجمة: سامي أدهم، المؤسسة الجامعية للنشر والتوزيع، بيروت 1993، ط1، ص92.
- (13)- Newton Isaac, tom1, **op.cit**, p17.
- (14)- فرانسواز باليبار، المرجع السابق، ص93.
- (15)- Newton Isaac, tom1, **op.cit**, p18.
- (16)- **Ibid**, p18.
- (17)- جاموف جورج، قصة الفيزياء، ترجمة: محمد جمال الدين الفندي، تقديم: أحمد فؤاد باشا، المركز القومي للترجمة، القاهرة 2010، ص107.

- (18) - المرجع نفسه، ص 107.
- (19) - روبرت م. أغروس، جورج ن. ستانيسيو، المرجع السابق، ص 20.
- (20) - Newton Isaac, **Principes mathématiques de la philosophie naturelle ...**, tom1, op.cit, p08.
- (21) - **Ibid**, p08.
- (22) - ألبرت أينشتاين، ليوبولد انفلد، تطور علم الطبيعة (تحول الآراء من المبادئ الأولى إلى النظرية النسبية و الكمات)، ترجمة محمد الندى، وعطية عاشور، مراجعة محمد مرسى أحمد، تقديم عطية عاشور، المركز القومي للترجمة، القاهرة 2009، ط 2، ص 8.
- (23) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p08
- (24) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p08.
- (25) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p.08-09.
- (26) - **Ibid**, p09.
- (27) - **Ibid**, p09.
- (28) - محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم العقلانية المعاصرة وتطور الفكر العلمي، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت 2006، ط 6، ص 9.
- (29) - ألبرت أينشتاين، ليوبولد انفلد، المرجع السابق، ص 7.
- (30) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p03.
- (31) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p21.
- (32) - **Ibid**, p21.
- (33) - ألبرت أينشتاين، النظرية النسبية الخاصة و العامة، ترجمة رمسيس شحاتة، تقديم محمد أحمد الشريبي، مراجعة محمد مرسى أحمد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة 2000، مقدمة المترجم ص 10.
- (34) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p43.
- (35) - ألبرت أينشتاين، النظرية النسبية الخاصة والعامة، ص 43.
- (36) - المرجع نفسه، ص 42.
- (37) - Abro, A. **the Evolution of Scientific Thought :from Newton to Einstein**, 2nd ed., Dover pub ,New York, 1950, P 420
- (38) - ألبرت أينشتاين، النظرية النسبية الخاصة و العامة، ص 44.
- (39) - جريبانوف، أينشتاين كيف يُرى العالم فلسفياً، ترجمة ثامر الصفار، مجلة الثقافة الجديدة، العراق 1986، ص 59.
- (40) - جريبانوف وآخرون، " أينشتاين " والقضايا الفلسفية لفيزياء القرن العشرين، ترجمة ثامر الصفار، الأهالي للطباعة والنشر، دمشق 1990، ط 1، ص 31.
- (41) - ألبرت أينشتاين، أفكار وآراء، ترجمة: رمسيس شحاتة، سلسلة العلم للجميع، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة 1959، ص 48.
- (42) - عبد الرحمان مرحبا، أينشتاين و النظرية النسبية، دار القلم بيروت 1981، ط 8، ص 125.
- (43) - Abro, A, op.cit p.431.
- (44) - ألبرت أينشتاين، أفكار وآراء، ص 43.
- (45) - المرجع نفسه، ص 43.
- (46) - Newton Isaac, tom1, op.cit, p43.
- (47) - محمود علي ندا، ميكانيكا الكم في النسبية، دار الإيمان للطبع والنشر والتوزيع، الإسكندرية 1995، ص 15.
- (48) - روبرت م. أغروس، جورج ن. ستانيسيو، العلم في منظوره الجديد، ص 20.
- (49) - أرايمند سيرواي، جون جاوات، قانون الجذب العام، ص 04.
- (50) - أرايمند سيرواي، جون جاوات، المرجع السابق، ص 07.
- (51) - Newton Isaac, 1990. **Principes mathématiques de la philosophie naturelle**. tom2, édition Jacques Gabay, Paris, p25.

- (52) - Ibid,p481.
- (53) - إسحاق نيوتن، رسالة في البصريات، ترجمة: إلياس شمعون، سلسلة الكتب العلمية 4، معهد الإنماء العربي، بيروت 1987، ص 14.
- (54) - أ.رايمند سيرواي، جون جاوات، المرجع السابق، ص 06.
- (55) - Newton Isaac, tom2,op.cit,p314.
- (56) - جورج جاموف، قصة الفيزياء، ص 108.
- (57) - المرجع نفسه، ص 273.
- (58) - Newton Isaac, tom1,op.cit,p07.
- (59) - Ibid,p343.
- (60) - إسحاق نيوتن، رسالة في البصريات...، ص 12.
- (61) - إسحاق نيوتن، رسالة في البصريات...، ص 12.
- (62) - المصدر نفسه، ص 21.
- (63) - المصدر نفسه، ص 22.
- (64) - المصدر نفسه، ص 22.
- (65) - المصدر نفسه، ص 23.
- (66) - المصدر السابق، ص 23.
- (67) - المصدر السابق، ص 12.
- (68) - عبد الفتاح مصطفى غنيم، نحو فلسفة العلوم الطبيعية النظريات الذرية الكوانتم والنسبية، سلسلة تبسيط العلوم، القاهرة، ص 51.
- (69) - جورج جاموف، قصة الفيزياء، ترجمة: محمد جمال الدين الفندي، تقديم: أحمد فؤاد باشا، ص 123.
- (70) - المرجع نفسه، ص 123.
- (71) - عبد الفتاح مصطفى غنيم، المرجع السابق، ص 52.
- (72) - إسحاق نيوتن، المصدر السابق، ص 21.
- (73) - جورج جاموف، المرجع السابق، ص 134.
- (74) - عبد الكريم اليافي، تقدم العلم الفيزياء الحديثة و الفلسفة، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، دمشق 2004، ط 1، ص 35.
- (75) - إسحاق نيوتن، المصدر السابق، ص 22.
- (76) - المصدر السابق، ص 24.
- (77) - المصدر نفسه، ص 48.
- (78) - المصدر نفسه، ص 64.
- (79) - إسحاق نيوتن، المصدر السابق، ص 85.
- (80) - المصدر نفسه، ص 138.
- (81) - بشته عبد القادر، الإستيمولوجيا مثال فلسفة الفيزياء النيوتنية، ص 86.
- (82) - فيرنر هاينزبرغ، الطبيعة في الفيزياء المعاصرة، ترجمة: أدهم السمان، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر 1986، ط 1، ص 153.
- (83) - Newton Isaac, tom1,op.cit,p 20.
- (84) - فيرنر هاينزبرغ، المرجع السابق، ص 154.
- (85) - فيرنر هاينزبرغ، المرجع السابق، ص 154.
- (86) - Newton Isaac, tom2,op.cit,p 633.
- (87) - محمود فهد زبدان، الاستقراء والمنهج العلمي، دار الجامعات المصرية، مصر 1977، ص 43.
- (88) - فيرنر هاينزبرغ، المصدر السابق، ص 155.
- (89) - Newton Isaac, tom3,op.cit,p 635.
- (90) - هانز راشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ترجمة فؤاد زكرياء، دار الوفاء، الإسكندرية 2004، ص 97.
- (91) - Newton Isaac, tom1,op.cit,p164.
- (92) - جيمس جيزر، الفيزياء و الفلسفة، ترجمة جعفر رجب، دار المعارف، القاهرة، 1971، ص 29.