المحاضرة التاسعة: فلسفة العلوم الطبيعية

تمهيد:

لقد شهدت العلوم في القرن الماضي، تحولات كبيرة، مست جميع أسسها، ومن العلوم التي طالهـــا هذا التغير: الرِّياضيات والفيزياء، أمَّا الرِّياضيات فقد تميز تقدمها بفك الارتباط بينها وبين الواقع كمـــا رأينا، وأصبحت أكثر تجريّدية، سواء كان ذلك في الجبر بظهور نظرية المجموعات ، أو في الهندسة، التي انقسمت على نفسها متجاوزة النسق الإقليدي، وسوف نركز في دراستنا، هذه على الشق الثـــاني، أي التطور الكبير الذي شهدته عوالم الميكروفيزياء، أين أصبحت كل نظريّة جديدة تظهر، تكشف عن نمطية جدلية تميز بها الفكر العلمي المعاصر، سواء كان ذلك في نظرية الكم، أو النظرية النســـبية أو النظرية التموجية في الضوء....

1- نظرية ميكانيكا الكم (الكوانطا):

هذه النَّظرية مرتبطة بالأبحاث السابقة حول طبيعة الضوء، و هي تنســـب إلـــى "مـــاكس بلانـــك" (M.Blank)** ، فقد اعتبرها "باشلار" من أهم النَّظريات المعاصرة التي عرفها تطور الفيزياء، حيث يقول عنها على لسان "مايرسون" (I.Meyrson) " إن نظرية الكوانطا تشغل منزلة مستقلة وهامة ... بالنِّسبة إلى جميع النَّظريات"[1]، فقد اعتبر "بلانك" الضوء عبارة عن طاقة تسري على شكل "كوانطوم"، أو كميات صغيرة لا تقبل التجزئة، وأخذ يبحث عن الكيفية التي تتوزع بها تلـــك الطاقـــة الضـــوئية، خاصة على الأجسام السوداء، رابطًا هذا التَّوزيع بتواتر أشعة ذلك الضوء ودرجة حرارة ذلك الجسم[2]، وبذلك كشفت له هذه التجربة على أن فوتون الضوء يحمل طاقة أو بإمكانه أن ينتج طاقة، وعند سقوط الفوتون على تلك الأجسام الصغيرة في المادة، فإنه ينقل إليها جزء من تلك الطَّاقة، فيتحرر الإلكترون الساقط عليه من مداره.

وقد لوحظ قبل النَّظرية الكوانطية، أنه إذا أضئنا صفيحة معدنية ما، أو سلَّطنا عليها نورًا، فإن ذلـــك يحدث كهرباء تظهر على صورة كهارب أو إلكترونات تخرج من الصفيحة المعدنية المعرضة للضوء أو الإنارة، وهذه الظاهرة تعجز النَّظريات السابقة حول طبيعة الضوء عن تفسيرها، ولـــذا اعتبـــرت النظَّرية الكوانطية الضوء مكونًا من جسيمات أو وحدات تصدر من منبع الضوء بصورة منفصلة، إذ لكي ينتزع الالكترون من الصفيحة المعدنية، لا بد من وجود طاقة، فالنور إذن عبارة عـــن طاقـــة أو وحدات طاقة أو كوانطا الطَّاقة، وهذه النتيجة جاءت تتويجًا للتجارب والأبحاث التي قام بهـــا العـــالم

الألماني "هرتز"[3]، حيث توصل إلى نتيجة تصدقها تمامًا معطيات التجربة، وهي تتوافق بـــذلك مـــع النَّظرية التي تعتبر الضوء عبارة عن جسيمات .

وقد أوضح "بلانك" أن تلك النَّظرية تستند إلى ظاهرتين مختلفتين في تفسيرها، الأولى تسمى ظاهرة المفعول الكهرضوئي (l'effet photo-électrique)، والثانية تسمى ظاهرة كمتون نسبة إلى العـــالم الفيزيائي "كمتون" (A.H.Compton)*، وهي نظرية ترى بأن اصطدام الفوتون بأي جسم مادي، يؤدي إلى فقدانه بعض من الطَّاقة، لتنتقل على شكل حركي إلى الالكترون الذي اصطدم به، وقد أطلق على هذه الظّاهرة، اسم الصدمة الكهروطيسية[4]، أمَّا ظاهرة المفعول الكهرضوئي، فملخصـــها أن الموجـــة المنبعثة من مصدر ضوئي، يقل تأثيرها عند انتشارها في الأثير، وتضعف كلما بعدت عن مصدرها، على الرَّغم من أن الجسيمات تظل ذات تأثير قوي على إلكترونات الأجسام التي تسقط عليهـــا مهمـــا بعدت المسافة بين المصدر الضوئي والجسم الذي يسقط عليه ذلك الضوء، وهذا يعني أن الفوتونات أو الإشعاع الضوئي يتألف من "كمَّات" تمتصها الالكترونات التي تسقط عليها[5]، وبذلك تحرر لنفسها طاقة لم تكن تملكها من قبل، فالعملية شبيهة بكرات البلياردو عندما تصطدم ببعضها البعض.

تُبين لنا هذه الكشوفات بأن فوتونات الضوء تملك طاقة أو بالتحديد الفيزيائي، يصدر منها نوع مـــن الطاقة، وهذا يكشف عن حقيقة أخرى وهي اشتراك الطاقة والمادة في نفس الجسم، فالضـــوء يمكـــن تفسيره تفسيرًا جسيميًا، باعتباره مؤلفًا من فوتونات، تؤثر بأي جسم تصطدم به، وفي نفس الوقت هو عبارة عن طاقة ينقلها أثناء هذا الاصطدام إلى الالكترون، كما أن هذه الطاقة تمثل له وسيلة دفع، ينتقل بها الفوتون من المنبع إلى الجسم الذي سلط عليه ذلك الضوء.

وبذلك أحدثت الكوانتا انقلابًا جدليًا في مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، خاصة في عالم الذَّرة ومكوناتها، لقد أخطرتنا الكوانطا بأن مبدأ مصطلحات السببية و الهوية، المكانية لم تعد منها جدوى[6]، فقد اعتبـــر "هايزنبرغ" الالكترون عبارة عن جسيم، ونفس التجارب قام بها "لوي دو بروي" ليكشف بأن الالكترون عبارة عن موجة، وجاءت تجارب "بوهر" لتؤكد الحقيقتين، ولكـــي يوضـــح "بـــوهر" هـــذا المفهـــوم المستعصي على الفهم، وجد منذ فترة وجيزة كلمة تعد بالنسبة إليه ثروة، لقد قال بأن الموجة والجسيم مظهران متكاملان لواقع واحد، بمعنى أنهما صورتان لا سبيل إلى المقارنة بينهما ولكن إدخالهما على التتابع، ضروري لتمثل مجموعة من الظواهر الملاحظة[7]، فقد أبدع "بوهر" من خلال مبدئه التوفيقي أو التكاملي بين التصورين، فالعلاقة القائمة بين النظرية الجسيمية والنَّظرية الموجية علاقة جدلية تكاملية، نتجت عنهما قضية ثالثة تركيبية، تتجاوز التصور الساذج الذي كان سائدًا.

وقد صادفت هذه الفكرة بالطبع ترحيبًا كبيرًا من طرف "باشلار"، حيث عمل من خلالها على إضعاف كل الاتجاهات التي تبني الجدل على ثنائية التوازي، أي لا يمكن أن تلتقي القضية والنقيض، وإذا التقيا كوَّنا بدورهما قضية، تبدأ بالبحث لنفسها عن نقيض، وهذا ما لم تُجزه الفيزياء الحديثة، فيمكن أن تشكل القضية والنقيض خطًا واحدًا، ولهذا يجب العمل على تصحيح حدوسنا السابقة، حيث نكتشف هذا في نص لـ "باشلار"يقول فيه " فإذا تتبعنا مشكلة المبادلة بين المادة–الطَّاقة وحاولنا الانحدار إلى مجالات الميكروفيزياء حيث يتشكل الفكر العلمي الجديد، أدركنا أن تحليلنا لحدوسنا المشتركة الشائعة تحليل جد خادع وأن أبسط الأفكار ...تحتاج إلى أن نعيد فيها النَّظر"[8] وبناء على التجارب التي قام بها "بوهر" أمكن التأكد بأن الالكترون ذو طبيعة ثنائية، أو أن المادة عبارة عن مادة وطاقة في نفس الوقت، ولذلك تعرف باسم "المادة الإشعاعية"[9].

2- النَّظرية النِّسبية (Théorie de la relativité) *:

لقد كتب "باشلار"مؤلفًا كاملاً بعنوان " القيمة الاستقرائية للنَّظرية النِّسبية" (La valeur inductive de la relativité)، بين فيه الأهمية القصوى التي تحتلها هذه النَّظرية داخل الإطار الجدلي في تطور الفيزياء، ولهذا السبب تغدو مناقشة المسائل التي أثارتها هذه النَّظرية، عنصرًا جوهريًا في دراستنا، من أجل معرفة الامتداد الذي عرفه تطبيق الجدل في الفيزياء المعاصرة.

لقد ظهرت النِّسبية نتيجةً لأزمةٍ منهجية حدثت في فيزياء "نيوتن"، وتكشفت بوادر هذه الأزمة عندما بدأ الفيزيائيون يناقشون طبيعة الحقل المغناطيسي الذي جاء به "ماكسويل"، فقد أشار إلى أن القوانين الأساسية للفيزياء، لا تتحدث عن أي موقع خصوصي في المكان، أو أي نقطة خصوصية في الزَّمان، وإنما هما عموميان تمامًا، لأن القوانين تنعقد في أي مكان وفي أي زمان[10]، وكان علماء الفيزياء يريدون أن يعرفوا كيف يتغير هذا الحقل في المكان والزمان، فحاولوا وضع معادلات للحركة في حقل القوة بدلاً من أن يهتموا فقط بالأجسام التي يتسلّط عليها هذا الحقل، وكان هناك رأي قديم يقول إن الفعل ينتقل من نقطة إلى نقطة أخرى مجاورة، وأنه يكفي وصف سلوك حقل القوّة بواسطة معادلات تفاضلية، وقد ظهر أن هذا ممكن الحدوث فعلاً، وأن وصف الحقول الكهروطيسية – كما يتجلى في معادلات "ماكسويل"– يبدو حقلاً مقبولاً لمسألة القوى، وعند هذه النّقطة حدث انحرافٌ واضح عن مفاهيم فيزياء "نيوتن"، فتعاريف "نيوتن" ومقولاته كانت تخص الأجسام وحركتها، أمَّا عند "ماكسويل" فيظهر أن حقول القوة اكتسبت قسطًا من الواقعية تعادل واقعية الأجسام في ميكانيكا "نيوتن"[11].

كما أن الحقول الكروطيسية تحوي موجات، فلا بد أن يكون للإلكترونات دخل في إحداث هذه الموجات، وبالتالي لابد من البحث من جديد عن نظرية تحقق الانسجام بين الكهرباء والمغناطيس والضوء، من أجل تحديد وسط يلاءم تنقل كل هذه الأجسام عبر الفضاء.

ذلك ما حاول العالم "الهولندي لورنز" (H.A.Lorentz)* القيام به، فقد قال بفكرة رائدة مؤداها: أن تسارع الالكترونات تنشأ عنه موجات كهروطيسية، وهذا يعني أن موجات الضوء المرئي (ألوان الطيف) والضوء غير المرئي (الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الحمراء...)، ترجع في وجودها إلى الحركة السريعة جدًا التي يقوم بها الالكترون داخل الذَّرة، فتسارع الالكترونات هو الذي يتسبب في قيام مختلف الموجات الكهروطيسية.

وهذه التجارب كلها كانت تهدف إلى معرفة تأثير حركة الأرض على سرعة الضوء، وتأكيد أو إبطال وجود " الأثير" كوسط تنتشر فيه الأمواج الضوئية. لقد كان الرأي السائد منذ نيوتن، أن أشعة الشمس تنتقل إلى الأرض عبر الأثير، بسرعة قدرها 300 ألف كلم في الثانية، وبما أن الأرض تتحرك بسرعة 30 كلم في الثانية بالنسبة لهذا الأثير أو الفضاء المطلق، تارة في اتجاه الشمس، وتارة في اتجاهٍ آخر يبعدها عنها، وذلك حسب موقعها في مدارها حول الشمس، فمن المفروض أن تتغير سرعة أشعة الشمس المتوجهة إلى الأرض، بتغير موقع الأرض في مدارها حول الشمس[12].

تلك هي التجربة التي قام بها العالم الأمريكي "ميكلسن" (A.Michelson)* ، وقد استعمل فيها جهازًا من المرايا رتبها بطريقة خاصة تمكنه من مقارنة سرعة أشعة الشمس الواردة من الاتجاه الذي تقترب فيه الأرض من الشمس مع سرعة نفس الأشعة الواردة من الاتجاه الذي تبتعد فيه الأرض عن الشمس[13]، وقد كشفت هذه التجربة عن نتيجة مدهشة، وهي أن سرعة الضوء واحدة في جميع الحالات، ولمَّا أراد "أنشتاين" تفسير نتيجة هذه التجارب، اقترح أن نتصور المكان الذي ينتشر فيه الضوء على أنه وسط يفرض على الضوء نوعًا من الانحراف الذي يمكن حسابه مقدمًا، وبتأثير هذا الوسط، يدرك مختلف القائمين بالملاحظة سماء مختلفة[14]، وبذلك أثبتت النَّظرية النِّسبية بشكل حاسم أن مفهوم الأثير يجب التخلي عنه، وتدريجيًا تم استنباط نتيجة أكثر غرابة لنظرية النِّسبية، ألا وهي اكتشاف خواص جديدة للمكان والزَّمان، وأصبحت نظرية النِّسبية ترفض الفصل بينهما، فهما مرتبطان ويتعلق أحدهما بالآخر، فلو أن غرفةً مصنوعة من الحديد أو البلاستيك المُقوى، أمكننا الدَّفع بها في الفضاء بسرعة مقاربة لسرعة الضوء في اتجاه الجدار الذي يمثل الطول فيها، لاختلف هذا الطول بالنسبة إلى من يَقسْه على الأرض، عنه بالنِّسبة إلى من يوجد فيها، وذلك بسبب اختلاف المرجعية التي يستند عليها الأول عن المنظومة التي يستند إليها الثاني.

وأمام هذا الوضع الجديد، ظن الكثير من الفيزيائيين أن ميكانيكا "نيوتن" التي تعتمد على الأثير في بناء قوانينها، خاطئة كلها، ولذلك يجب استبدالها بمقولات جديدة جاءت بها النَّظرية النِّسبية، ففيزياء "نيوتن" ليست هي الصرح المكتمل، بل هناك جوانب من الكون عجزت عن تغطيتها، وفي هذا السياق يقول "باشلار"" لقد كانت إعادة النَّظر التي قام بها مذهب أنشتاين إعادة كلية من زاوية علم الفلك، وأن علم الفلك المستند إلى النَّظرية النسبية لم ينشأ عن علم الفلك النيوتوني، لقد كان مذهب نيوتن يؤلف نظامًا مكتملاً... ومن ناحية أخرى كنَّا نحيا في عالم نيوتوني حياتنا في منزل وسيع منير، وكان الفكر النيوتوني بالدرجة الأولى نمطًا جليًا، جلاءً رائعًا من أنماط الفكر المغلق، ولم يكن الخروج منه ممكنًا بدون عنف وإكراه"[15].

ورغم هذا فـ "باشلار"لا يعتبر فيزياء نيوتن خاطئة بالشكل المطلق، فهي تبقى صحيحة ولكن بشكل تقريبي، لا يمكن الطعن في كل ما جاءت به، رغم أن الكثير من المقولات التي تقوم عليها قد طالها التَّجْديل ، فقد ألغيت قاعدة التأثير عن بعد، وأن الضوء يحمل طاقته من المصدر الذي نبع منه، ووحدت النَّظرية النِّسبية بين الكتلة والطَّاقة، واستبعدت فرضية الأثير، وألغت المفهوم اللاَّهوتي للزمان والمكان المطلقين، وجهدت لكي تحصل من الظَّاهرة الفيزيائية، على صياغة خيالية للكون وقد يكون هذا من وجهة النَّظر الشخصية التي توجه الفيزيائي[16].

وما يمكن أن نتنبه إليه من خلال هذا التطور الذي قدمته النَّظرية النِّسبية للفيزياء، أنه تمَّ وفق تصحيحات جدلية، فالجديد أفصح عن نفسه عن طريق تعميمات جدلية " ففي الواقع أن عدة تعميمات جدلية، مستقلة في البدء أخذت تتماسك وتتناسق، وعلى هذا النحو أفصح عن نفسه الميكانيك الغير نيوتوني، والذي وضعه أنشتاين"(En fait plusieurs généralisation dialectique, au départ indépendante se sont colérée .C'est ainsi que la mécanique non neutoniénne d'Einstein s'est très naturellement exprimé dans la géométrie non euclidienne raison)[17] ، ومن هذا تظهر لنا أهمية الجدل في تطور أي نظرية، إذ أن أي اكتشاف جديد لا يتيسر إلاَّ إذا اتخذ طابعًا جدليًا، جدل التجاوز والاستيعاب، فلا يمكن استبدال ميكانيكا "نيوتن"، بشيء يختلف عنها جوهريًا، وتفسيرهما المتناقض لكثير من الظَّواهر لا يعني تعارضهما، بل هما قائمان على جدل التكامل.

فرغم النتائج السلبية لكل التجارب التي كانت تستهدف كشف الحركة التي يقطعها الضوء في الفضاء، والدور الذي يلعبه الأثير كوسط تتحرك فيه الأجسام، عمد الفيزيائيون إلى وضع نظريات تحاكي النموذج الرِّياضي، وذلك للتوفيق بين المعادلة الموجية لانتشار الضوء والنَّظرية النِّسبية،

فاقترح "لورنتز" تحويلاً رياضيًا يحقق هذا التوفيق، وقد اضطر لأجل ذلك إلى إدخال فرضية مفادها أن الأجسام المتحركة تتقلص في منحى الحركة، بمعدل يتعلق بسرعة الجسم، وإنه من جهة أخرى، يوجد في مختلف مراجع المقارنة أزمنة ظاهرية مختلفة، وهذه الأزمنة تحل محل الزمن الحقيقي من عدة وجوه، وقد توصل بهذه الصورة، إلى تقديم شيء يشبه مبدأ النسبية[18]، وهذا يؤكد المبدأ الذي يقر بتكامل النَّظريات " فإذا ألقينا نظرة عامة على العلاقات الابستيمولوجية بين علم الفيزياء المعاصرة وبين العلم النيوتوني، رأينا أن ليس ثمة نمو ينطلق من المذاهب القديمة شطر المذاهب الجديدة، بل وجدنا بالأحرى، احتواء الأفكار الجديدة للأفكار القديمة"[19] ثم يضيف "باشلار"" إن الأجيال الروحية تعمل وفق أسلوب قوامه ضم التجارب المتعاقبة بعضها إلى بعض وتداخلها، وبين الفكر اللاَّنيوتوني والفكر النيوتوني لا يقوم تناقض، بل مجرد تقلص وإرغام"[20]، فأهمية المكتشفات الجديدة للنسبية تكمن في أنها حطمت الأفق الضيق لطريقة التفكير الكلاسيكية، ومكنت العالم من النَّظر إلى الطبيعة وفق طريقة جدلية، فلم يعد هناك ثبات أو سكون على مستوى النَّظريات، بل هناك فقط تغير، وتطور ودخول في الفكر الجدلي.

ومن خلال ما سبق من تحليل، يتبين لنا أن مسألة التمييز التي أحدثناها في هذا التقسيم لأسس أو منطلقات الجدل الباشلاري، من أساس فلسفي وأساس علمي، ليست مجرد مسألة تقنية اقتضتها معايير إجرائية للفصل الأول، بل هي مسألة جوهرية تتنزل في صلب الممارسة الابستيمولوجية، وبالتحديد في جانبها الجدلي، وقد التزمنا عن وعي بترتيب هذه الأسس وفق منظور نستطيع القول بأنه منطقي وفي نفس الوقت منهجي.

فقد بدأنا بعرض الجدل ضمن أطُرٍ فلسفية، حاولت أن تصخرها إبستيمولوجيا "باشلار" لصالحها، سواء بطريقة إيجابية أو سلبية، ثم تناولنا الخلفية العلمية لهذا الجدل، والذي أفاد أيما إفادة من كل ما تقدم به العلم من كشوفات.

وفي ذلك كله دليل على أن تصنيف القضايا الفلسفية والقضايا العلمية، على شكل أساسين للجدل الباشلاري، ليس عملاً تقنيًا بحتًا ولا هو عمل نظري صرف، وإنما هو ممارسة معقدة تتجلى من خلالها مواقف "باشلار"الابستيمولوجية، والتي نعمد في كثير من الأحيان إلى مساءلة النص الباشلاري لاستخراجها، فالجدل الفلسفي في هذا النص متراوح التخفي، ولكنه يكاد يكون متجانس التأثير، ولا يعني هذا أن "باشلار"يُقزم الفلاسفة، وإنما هو شكل من أشكال البحث عن الحقيقة، والتغاضي عن من صدرت.

كما أننا لا نعني بتقسيمنا هذا لهذه الأسس، أننا نفصل الخطاب الفلسفي كأساس أول عن الخطاب العلمي كأساس ثاني عند "باشلار"، كما هو الشأن عند بعض الفلسفات الكلاسيكية، والتي كانت تعتبر أن للفلسفة خطابها الخاص، وللعلم خطابه الخاص به أيضًا، فنبتعد بذلك عن المستويات التي أرادت الفلسفة الباشلارية التحدث عنها، وهي من القضايا التي عالجتها، فهناك دائمًا حسب "باشلار"جدل قائم بين الفلسفة والعلم – الأساس الأول والثاني– فيجب أن تستفيد الفلسفة من المستجدات التي أتى بها العلم، للتخلص من تلك الإطلاقية التي طبعت أنساقها، أو على وجه الدّقة الانغلاق الخارج عن صيرورة التَّاريخ، والمحصن ضد التطاول الثوري، فالأساس الذي بنت عليه هذه الفلسفات تصورها للجدل مهدد باستمرار بانفجار نظمه وتجددها أو تقويضها، وقد حدث هذا فعلاً في مطلع القرن العشرين.

هوامش المحاضرة:

** ماكس بلانك(M.Blank)(1858-1947): فيزيائي ألماني،يعتبر مؤسس نظرية الكوانطا، وأحد أهم الفيزيائيين للقرن العشرين.

[1] G.Bachelard, Le nouvel esprit scientifique, p.u.f, Paris, 1 édition, 1972, pp 179-180.

[2] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، مرجع سابق، ص 369.

[3] سالم يفوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، دار الطليعة، لبنان، طبعة1، سنة 1986، ص 67.

* كمتون(A.H.Compton)(1892-1962): فيزيائي أمريكي، اكتشف زيادة طول موجات X المنبعثة من الذّرات الخفيفة(effet compton).

[4] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مرجع سابق، ص 85.

[5] السيد شعبان حسن، مشكلات فلسفية معاصرة، مرجع سابق، ص 85.

[6] Roland Omnés: philosophie de la science contemporaine, édition Gallimard, 1994, p 139.

[7] سالم يفوت، فلسفة العلم المعاصرة ومفهومها للواقع، دار الطليعة، ط1، لبنان، 1986، ص 190.

[8] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مرجع سابق، ص 79.

[9] السيد شعبان حسن ، مشكلات فلسفية معاصرة، مرجع سابق، ص 87.

* ظهرت النَّظرية النِّسبية relativité عام 1905م، ولكن نتائجها واتجاهاتها ومعظم قوانينها كانت معروفة قبل هذا التاريخ بسنوات، وينبغي أن نذكر أن أنشتاين نشر نظرية أخرى عام 1955م، أي في العام الذي كان فيه باشلار أستاذًا محاضرًا في جامعة السربون، وكان يطالع عن كثب كل ما يدخل أو يخرج في حوزة العلماء من نظريات جديدة، وكان في ذلك الوقت في قمة عطائه الفكري .

André Laland, vocabulaire technique et critique de la philosophie, P .U.F , 18 édition , Paris,1996, p 914.

[10] رودلف كارناب، مدخل إلى فلسفة العلوم، الأسس الفلسفية للفيزياء، ترجمة وتقديم: السيد نفادي، دار التنوير للطباعة والنشر،ط1، 1993، ص217

[11] السيد شعبان حسن، مشكلات فلسفية معاصرة، مرجع سابق، ص 102.

*هندرك أنتون لورنز(H.A.Lorentz)(1853-1928): فيزيائي هولندي، اشتهر بأبحاثه في طبيعة وبنية المادة وخاصة الكهرطيسية.

[12] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، مرجع سابق، ص 340.

* ألبيرت ميكلسن (A.Michelson)(1852-1931): فيزيائي أمريكي، أجرى مع مورلي تجارب حول سرعة الضوء التي قدَّمت للنَّظرية النِّسبية.

[13] المرجع نفسه، الصفحة نفسها.

[14] بول موي، المنطق وفلسفة العلوم، ترجمة فؤاد زكرياء، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنّشر،د.ط، مصر، ص 275.

[15] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مرجع سابق، ص ص 47-48.

[16] السيد نفادي، السببية في العلم وعلاقة المبدأ السببي بالمنطق الشرطي، دار التنوير للطباعة والنشر، لبنان، ط1، 2006، ص 91.

[17] G.Bachelard: La philosophie du non, Essai d'une philosophie du nouvel esprit scintifique,P .U.F, 3 édition, Paris, p138.

[18]السيد شعبان حسن، مشكلات فلسفية معاصرة، مرجع سابق، ص 104.

[19] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مرجع سابق، ص 65.

[20] المصدر نفسه، الصفحة نفسها.