المحاضرة الثامنة: فلسفة العلوم التجريبية –الطبيعية–

تمهيد:

تعد النهضة العلمية في أوربا معلمًا لتحديد تاريخ انطلاقة العلم التجريبي المبني على أسس استقرائية، لأن الفكر العلمي في القرون الوسطى كان يخضع للمفاهيم الأرسطية والتصورات اللاهوتية المسيحية، فكان القرن السابع عشر قرن إعلان ولادة العلم الحديث، وكانت الانطلاقة مع كتاب "الأورغانون الجديد" لـــ فرانسيس بيكون F.Bacon(1561-1626) الذي هدف من وراءه إلى إصلاح أساليب التفكير وطرق البحث، لقد انتقد الفلاسفة السابقين من عقلانيين وتجريبيين، فالأولون كانوا كالعنكبوت الذي يبني بيته من داخله والآخرون كانوا كالنمل يجمع من الخارج زاده، في حين أن الفيلسوف الحق هو الذي يشبه في عمله النّحلة التي تجمع الرحيق من الأزهار لتصنع منه عسلا مصفى[1]، وفي نفس العصر كان يعيش في إيطالي عالم فذ، سعى إلى إحداث ثورة في الفكر العلمي القديم، خاصة من الجانب العملي، إنه غاليلي Galilée(1564-1642)، لقد أسس هذا العالم دعائم المنهج التجريبي، لأن نظرته إلى الكون كانت نظرة مادية، فالعالم مادة وحركة، والحركة خاضعة لقانون العطالة، وبذلك يكون غاليلي أول من اهتم بعلم الديناميكا، وتوالت بعدها الاكتشافات العلمية مع تورشيلي وباسكال وديكارت... ليتوجها نيوتن بضبطه لقوانين الفيزياء الكلاسيكية.

والواقع أن هذه الاكتشافات رغم أهميتها إلا أن المنهج المتبع في اكتشافها هو الذي يكتسي أهمية أكبر، فقد طور هؤلاء منهج البحث العلمي الذي كان يقوم على الاستقراء، الذي يضم الخطوات التالية: الملاحظة، الفرضية، التجربة، القانون.

لكن تطور العلم المعاصر خلق مشكلات جديدة سواء على مستوى المنهج، المتمثل في الاستقراء أو على مستوى النتائج التي تغير الكثير منها مع النّظريات المعاصرة، وما يهمنا هنا كدارسين لفلسفة العلوم ليس القوانين والنظريات في حد ذاتها، وإنما انعكاس هذه الاكتشافات على الفكر العلمي والفكر الفلسفي الذي كان سائدًا.

1- الفيزياء المعاصرة وتغير المفاهيم:

لقد كان للتطور الكبير الذي شهدته الفيزياء في القرن الماضي، انعكاسًا مربكًا على الفلسفة التقليدية، حين انهارت معه معظم المفاهيم النيوتونية، هذه الفيزياء التي كان يُظن بأنها أبدية، وتمثـــل الصـــدق المطلق، وأنها لم تترك من الكون جانبًا إلاَّ وفسرته داخل أطرها، خاصة في القرن السابع عشر، الذي

كان يعد قرن توسيع وشمولية التفسير الميكانيكي للكون، لينطبق على الإنسان نفسه، وعلى سائر– الآلات– الحية، ما عدا القليل النَّادر من الظواهر، التي اعتقد الناس، أنها ستفسره بحلول عام 1900م[2].

ترتكز الفيزياء التقليدية أو النيوتونية على عدة منطلقات، أولها فكرتا الزمان والمكان المطلقين، فهما الخلفية الواسعة والشاملة، التي يتحرك كل شيء فيها و بالنسبة إليها، فالمكان يوجد كله مرةً واحدة في ثبات وانتظام لانهائي، لا يختلف من مراقب إلى آخر مهما اختلفت أحوالهم من حيث الحركة والسكون، فإذا قاس أحدنا مسافةً معينة ووجد فيها عشرة أمتار مثلاً، فإنه يبقى متأكدًا من أن أي شخصٍ آخر مهما كان، إذا قاس نفس المسافة بنفس القياس فإنه سيجد فيها عشرة أمتارٍ أيضًا، وكذلك الشأن بالنسبة إلى المفاهيم والأشكال الهندسية، فنحن نعتبرُ المكان مستويًا، ونقول عن الخطين المتوازيين أنهما لا يلتقيان أبدًا، وأن زوايا المثلث 180 درجة...إلى غير ذلك من الحقائق التي تذكرنا بهندسة "إقليدس"، وهذا ما يجعلنا نقول بموائمة الهندسة الإقليدية للفيزياء النيوتونية.

أما الزَّمان فهو كيان متدفق في تساوٍ من الأزل إلى الأبد، ومن هنا كان التآني أو التزامن (Simultanéité) يعني حدوث حادثتين أو أكثر في لحظةٍ واحدة بالنَّسبة لأي مراقبين يتوفران على آلتين لضبط الوقت تسيران على وتيرة واحدة، أما المسافة التي تفصل بينهما، أو حركة أحدهما وسكون الآخر، أو تحركهما معًا تحركًا مختلف السرعة أو الاتجاه، فتلك كلها أمور لا تغير شيئًا في ظاهرة التآني كحقيقة واقعية[3].

والأشياء جميعًا بحسب طبيعتها، تتحرك في داخل الزّمان والمكان، ويمكن أن نميز بين نوعين من حركة الأجسام، حركة مطلقة وحركة نسبية، فالحركة المطلقة هي انتقال الجسم من النقطة "أ" إلى النقطة "ب" في المكان المطلق، أمَّا الحركة النسبية فهي تغيُّر في بعد جسم ما عن جسم محسوس آخر، والسكون هو استمرار جسمٍ ما محافظًا على نفس مسافة بعده على الأجسام الأخرى[4].

هذه أهم المفاهيم التي تحركت في إطارها فيزياء نيوتن، وقد بنيت عليها جميع القوانين التي تحكم حركة الأشياء، ومن بين أهم هذه القوانين:

- يظل كل جسمٍ في حالةٍ من السكون أو من الحركة المطَّردة في خطٍ مستقيم ما لم تدفعه قوة إلى تغيير حالته.
- يتناسب تغير الحركة مع القوة المتحركة الدَّافعة، ويتعين في اتجاه الخط المستقيم الذي اندفعت فيه هذه القوة.
- يكون رد الفعل دائمًا مساويًا ومضادًا للفعل[5].

وبهذه القوانين اندفع الفيزيائيون ليحددوا كتل الأجسام ومواضعها وسرعاتها...مدعومين بالهندسة الإقليدية، التي قدمت السند لترسانة القوانين المكونة للفيزياء الكلاسيكية.

ولكن سرعان ما واجهت هذه الفيزياء، في منتصف القرن الماضي، ظواهر لم تكن لتجد السبيل لإخضاعها للمنهج السّالف الذِّكر، وكان ذلك إيذانًا بميلاد أزمة حادة في الفيزياء التّقليدية. أزمة منهجية في جوهرها، عصفت بكل المبادئ – تقريبا– التي وضعها "نيوتن"، وكانت هذه الأزمة نتيجةً لصدامٍ بين هذه الفيزياء وبين ظواهر جديدة في عالم التجربة الخارجية، وهذا لا يعني عدم جدواها، إنَّما يعني فقدانها لتلك الشمولية التي كانت تتصف بها، فقد كانت تعتبر القوانين التي وضعتها، قادرة على أن تفسر كل ظواهر الكون، وبإمكانها أن تستوعب كل وافد، لكنها أخطأت في تقديراتها.

أمّا السبب الذي جعل هذه الفيزياء تؤول إلى ما آلت إليه، فهو راجع لافتقادها لأهم آلية تمكِّنها من الثبات، أمام مختلف التَّغيرات، ألا وهي آلية الجدل، فقد دخلت الفيزياء المعاصرة في علاقة جدلية مع الفيزياء الحديثة، حين جاءت لتضيف فهمًا جديدًا للظواهر، وتعمل على تنمية المفاهيم القديمة وتكملتها[6]، في إطار جدل التكامل دومًا.

فقد جاءت هذه الاكتشافات الخطيرة والمتوالية للقرن العشرين، من قبل علماء شباب جدًا، كما وصفهم "باشلار" " فقد ولد هايزنبرغ (W.Heizenberg)* ومنافسه جوردن (C.Jordan)** في مستهل هذا القرن، وفي انجلترا خلق عبقري فذ، هو ديراك (P.A.M.Dirac)***، والذي توصل إلى اكتشاف ما يسمى انتقال الكهرب، وكان لمَّا يبلغ الخامسة والعشرين من العمر، وإذا تذكرنا أن بوهر(N.Bohr)**** كان فتيًا جدًا عندما اقترح سنة 1913م أنموذجه في الجوهر الفرد، وأن أنشتاين (A.Einstein)***** اكتشف في الخامسة والعشرين من عمره النسبية الضيقة...لقد أصبح في وسعنا عندئذٍ، الاعتقاد بأن القرن العشرين، قد رأى وثبة الدِّماغ، أو وثبة العقل الإنساني"[7]، فهذه الوثبة شككت في مبادئ الفيزياء الكلاسيكية، وتحول ذلك الاطمئنان الوثوقي، إلى مجرد رواية قد تكون رائعة في كثير من فصولها، والحقيقة أن الخطر ليس في أن نيوتن أخطأ، إذ العلم يتقدم بأخطائه – كما أكد "باشلار" – وإنما الخطر أن أخطاء نيوتن تحولت عند الفيزيائيين إلى حقائق مطلقة، لا يمكن الشك فيها ولا العمل على تجديلها.

لقد انتزعت بهذه الاكتشافات من طرف هؤلاء الشباب، الثقة من فيزياء "نيوتن"، وتبدد اليقين مرةً واحدة، ولم يعد ثمة صدق في أمرٍ من الأمور، وهذا ناتج عن اضمحلال القديم، وحلول الجديد، عن

طريق تعقيبات جدلية، وتفسير هذه التعقيبات يتطلب منَّا وصف آليات التدخل الجدلي في الفيزياء، وذلك في اتجاه تحديد رهان ذلك التدخل.

فما هو رهان هذا التدخل الجدلي في الممارسة العلمية، وبالتحديد في النظرية الفيزيائية؟ وأي أداةٍ يمكن أن يعتمل من خلالها هذا الجدل؟

غير أن تحديد هذا الرِّهان قد لا يتيسر لنا ما لم نقف على الموقع الذي يمارس فيه هذا الجدل، ومن داخل النَّظرية في حدِّ ذاتها، ولذلك رمنا من خلال هذا الطرح تحديد أهم النَّظريات التي عرفتها الفيزياء المعاصرة، لنعيش عن كثب مع الفيزيائيين تلك اللحظات الجدلية التي تجعلهم يرغبون في معرفة المزيد كل يوم، ويؤجلون المجهول إلى الغد "فيخرج العالم من ذلك ببرنامج، وينهي نهاره بالعبارة التي يكررها كل يوم: <غدًا سأعرف>"[8]. ومن هذه النَّظريات التي طالها الجدل:

أولا: نظريات طبيعة الضوء:

لقد اعتبر "نيوتن" أن الضوء ذو طبيعة مادية، فهو يتألف من جزيئات صغيرة تنبعث بسرعةٍ هائلة من المصدر الضوئي، وتخضع في سيرها إلى قانون الحركة، ولذلك فهي تسير في خطوط مستقيمة عبر الفضاء، أو ما يسميه "نيوتن" بالأثير، وعندما يصادفها حاجز فإنها تحيد عن مسارها، كوضعنا ورقة أمام حزمة من الأشعة الضوئية، فإن ظِل هذا الحاجز يرتسم على الجدار المقابل، وهذا في نظر الفيزياء الجسيمية دليل على أن الضوء ينتشر على شكل خطوط مستقيمة، فالظِّل معناه أن قسمًا من الأشعة قد منعه الحاجز من مواصلة طريقه نحو الجدار، مما تسبب في ظهور الظلام عليه، ويكون هذا الظلام محاكيًا للجسم الذي منع الضوء من المرور[9].

وفي نفس الوقت كانت نظرية أخرى، في تفسير طبيعة الضوء، تلوح في الأفق، والتي ابتدعها هويجنز(C.Huyghens)* رغم أنها لم تصادف في بداياتها نجاحًا كبيرًا، وتقوم هذه النَّظرية على اعتبار الضوء ذو طبيعة موجية، أي انتقاله في الفضاء يشبه إلى حدٍ بعيد انتقال الصوت، وتتأكد هذه النَّظرية من خلال تجربة التداخل (Interférence)، التي يوضع فيها شعاعان ضوئيان، كلٌ فوق الآخر، فيمحو أحدهما الآخر، وهي نتيجة تعجز النَّظرية الجسيمية عن تفسيرها، ذلك لأن الجزيئين اللَّذين يتحركان في نفس الاتجاه لا يمكن أن ينتجا إلاَّ تأثيرًا أقوى، أي يزيدا من كثافة الضوء المسلط على تلك النقطة[10].

أمَّا النَّظرية الموجية فترى بأن الموجتان اللَّتان تتحركان في اتجاهٍ واحد، تلغي أحدهما الأخرى، لتنتج بقعة مظلمة. وبذلك وصلت كل نظرية إلى طريقٍ مسدود، فإذا سلمنا بجسيمية الضوء، عجزنا عن فهم

ظاهرة التداخل، وإذا سلمنا بأنه عبارة عن أمواج، لم تكن لدينا الإمكانية في فهم انتقاله عبر الفضـــاء، لأن الأثير يحتاج إلى شيء مادي لينقله.

وبعد التقدم الذي عرفته وسائل الدراسة، أدى هذا إلى استحداث آليات جديدة في دراســة الضــوء، وكان ذلك مع "ماكسويل" (G.Maxwell)*، الذي ربط في دراسته بين نظرية الموجــات الضــوئية و النَّظرية الكهربائية، ثم توضحت هذه التجارب أكثر مع "هارتز"(G.Hertz)** ، حــين بــيَّن وجــود موجات كهربائية أثناء انتقال الضوء، وأصبحت النَّظرية التموجية في الضوء أقرب إلى التصديق من النَّظرية الجسيمية، لأن التجربة دائمًا كانت سلبية عندما أراد العلماء دراسة اصطدام ضــوئيتين، فقــد عجزوا عن فهم السبب الذي يمنع كل اصطدام في نقطة تقاطع الشعاعين، وهذا يؤكد أنه ليس هناك أي ضوئيات مقذوفة من مصدر الضوء، ففي هذه النقطة بالذّات لا يستطيع البــاحثون إظهــار تركيــب ميكانيكي –جسيمي– للضوء، في حين أنهم يكتشفون بيسر عظيم أحوال التــداخل، وأن الضــوء لــه تركيب موجي[11].

ومن هذا تبين للفيزيائيين أن الضوء عبارة عن موجات لاعن جسيمات، هذا ما ثبت لحد الآن فــي ميدان علم الضوء نفسه، ومع ذلك بقيت هذه النَّظرية تعاني صعوبة لازمتها منذ البداية، وذلك لأنها لم تستطع الاستغناء عن تلك الفرضية المزعجة، التي وضعها نيوتن، وهي فرضية الأثير، على الرَّغم من أن ماكسويل قد قلَّل من شأن هذه الفرضية، حينما فسّر الضوء بكونه عبارة عن أمواج كهروطيســية، فلقد بقي من الصعب مع ذلك تصور ماذا "يتموج" حين انتشار الأمواج الضوئية في الفراغ؟

لقد ظلَّ السؤال قائمًا ومحرجًا، ومع ذلك سكت العلماء عنه، لأن المعادلة التي تتوفر عليها النَّظريــة الموجية، معادلة صلبة ومتينة تُمكن من التقدم التام، الشيء الذي ولَّد في نفوس العلماء انطباعًا حملهم على الاعتقاد بأن جميع الظَّواهر الممكن اكتشافها في المستقبل، لابد أن تقبل التفسير بالنَّظرية الموجية في شكلها الجديد[12]، ورغم هذا لم يغفل العلماء عن محاولة جدلنة (dialectiser)، هذه النَّظرية كلّمــا سنحت لهم الفرصة.

وبقي جمعٌ من العلماء يرون في النَّظرية الجسيمية جانبًا من الصِّحة، ذلــك أن الحــرارة والأشــعة البنفسجية، تنتشر في الفضاء بكميات متقطعة حقًا، انطلاقًا من تجربة بسيطة تتمثل فــي الإحســاس بالدفء الذي نشعر به أثناء جلوسنا بالقرب من المدفأة، إلى أن جاء "أنشتاين" ليؤكد صــحة النَّظريــة الجسيمية مستندًا إلى الظاهرة الكروضوئية، القائلة بأنه إذا سقط شعاع الموجات البنفسجية على لــوح معدني فإنه ينطلق عدد من الكهارب، أمَّا إذا سقط شعاع من الضوء تردده أقل مــن تــردد الشــعاع

البنفسجي مثل الأحمر أو الأصفر، فإن الكهارب تنطلق أيضًا ولكن بسرعة أقل في الحالة الأخيرة، وهذا يبين بأن الكهارب تنبعث من المعدن نتيجة الاحتكاك الحاصل بينها وبين فوتونات الضوء، ورغم هذا فإن "أنشتاين" لم يستغني عن النَّظرية الموجية التي تفسر ظاهرة الانعطاف، فوضع سلك رفيع بين مصدرٍ للضوء وحاجز، لا يكاد يخلق ظلاً، مما يدعو إلى التفكير بأن الموجات الضوئية قد انعطفت حول السّلك، كما تنعطف موجات المياه حول صخرة، فعندما تمر حُزمة من الأشعة الضوئية خلال فتحة ينتج عنها على الحاجز دائرة مضيئة محددة، ولكن إذا صغر اتساع الفتحة إلى ثقبٍ دقيق كثقب الإبرة، فإنه ينتج عنها على الحاجز دوائر متبادلة من الضوء والظل، وتسمى هذه الظَّاهرة باسم" حيود الضوء"[13].

ولتوضيح هذه الظاهرة، يلجأ الفيزيائيون إلى فصل منابع الضوء بإمراره خلال ثقبين متجاورين ومتقاربين، فنموذج الحيود يكون عبارة عن خطوط متوازية تمامًا، كما ينتج من تقابل موجتين من موجات المياه، فبالتقاء قمتي الموجتين تقوي إحداهما الأخرى، وعندما تتقابل قمة مع قاع فإنهما يتلاشيان، وبالمثل تنتج الخطوط البيضاء من أثر تقابل الموجتين، وتنتج الخطوط السوداء من أثر إلغاء إحدى الموجتين للأخرى بالتداخل، وهاتان هما ظاهرتا التداخل والانعطاف[14].

والسؤال الذي يجب طرحه هنا هو: أي التفسيرين أصح، التفسير الجسيمي أم التفسير الموجي؟

لقد تناول "باشلار" النَّظريتين، في الفصل الرابع من كتابه الفكر العلمي الجديد، والمعنون باسم المشكلة " الأمواج والجسيمات"، وتتبع بدقة الفيلسوف وفهم العالِم تطور النَّظريتين، وقد اعتبر أن هايزنبرغ قد أصاب فيما ذهب إليه، وذلك عندما جمع بين النَّظريتين، حيث عقد فصلين طريفين متضادين في كتابه" المبادئ الفيزيائية لنظرية الكوانتا(Les principes physiques de la théorie Quanta)، حين ضمَّن الفصل الأول انتقادات لاذعة للمفاهيم الفيزيائية التي حوتها النَّظرية الجسيمية، مستندًا في ذلك إلى مفاهيم فيزياء النَّظرية الموجية، ويمنح من ثمة ضربًا من الصحة المسبقة إلى المفاهيم الموجية، أما الفصل الثاني فإنه يقلب الاعتراضات تمامًا، منتقدًا المفاهيم الفيزيائية لـ"هويجنز" بالاستناد إلى المفاهيم الفيزيائية لنظرية الجسيمات التي يعتبرها صالحةً هذه المرة[15].

لقد اعتُبر هذا الانتقاد الموجه للنَّظريتين من طرف "هايزنبرغ" في نظر "باشلار" ، انتقادًا يخدم الفكر الجدلي داخل الفيزياء، لأننا لا يمكن أن نجزم أي النَّظريتين تمتلك الصحة، فالجواب بصحة أو خطأ إحداهما، لا معنى له خارج سياقه النَّظري أو حتى التَّجريبي، فكل نظرية سليمة في سياقها، وهذا ما أكدته تجارب الفيزيائي "لوي دو بروي" (L.DeBroglie)*، والذي استشهد به "باشلار" لتأكيد هذا الطابع الجدلي بين النَّظريتين، ويتعلق هذا الاكتشاف بـ "موجات المادة"، حيث أدى هذا الفرض إلى

اعتبار المادة ذات طبيعة مزدوجة، جسيمية وتموجية، أي أن الضوء عبارة عن ذرات وموجات معًـــا، لكن ليس في نفس الوقت[16].

لقد أضحى التصور الذري والتصور المـــوجي مظهـــران لواقـــع واحـــد، فالضـــوء أو الإشـــعاع (radiation) يبدو أحيانًا كجزيئات وأحيانًا أخرى كموجات، فـــ" فوتون " الضوء عند سقوطه علـــى المادة فهو جسيم، لكن في سفره عبر الفضاء يكون عبارة عن موجة، وهو فرض يتجـــاوز الفيزيـــاء الكلاسيكية عن المادة وعن الضوء، بعد أن أصبح المفهوم الموجي والجسيمي، مفهومان لا غنى عنهما معًا في نظرية موحدة لتفسير الضوء، وبذلك يجتمع النقيضان في النَّظرية الواحدة، في إطـــار جـــدل التكامل.

ولم يقتصر المجال فقط على نظريات الضوء بل امتدت التغيرات لتشمل العنصـــر الأساســـي فـــي الجسم، ألا وهي الذرة، فما هي أهم ملامح التغير التي شهدتها عوالم الميكروفيزياء.

---

[1]هوامش المحاضرة:

[1] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، مرجع سابق، ص 237.
[2] محمد علي عبد المعطي، مقدمات في الفلسفة، مرجع سابق، ص 196.
[3] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، مرجع سابق، ص 336.
[4] أنظر هنري بوانكاري، العلم والفرضية، ترجمة حمادي بن جاء الله، المنظمة العربية للترجمة،ط1، لبنان، 2002، ص 169 وما بعدها.
[5] السيد شعبان حسن، برونشفيك و باشلار بين الفلسفة والعلم دراسة نقدية، دار التنوير للطباعة والنشر، لبنان، طبعة1، 1993، ص 68.
[6] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، ترجمة عامل العوا، تقديم الجيلالي اليابس، موفم للنشر، الجزائر، ط3،1994، ص 198.
[*] فرنر كارل هايزنبرغ (W.Heizenberg)(1901-1976): فيزيائي ألماني، اكتشف أحد أهم مبادىء الفيزياء الحديثة وهو مبدأ "الاحتمال".
[**] جوردن(C.Jordan)(1838-1922): رياضي فرنسي من مؤسسي نظرية المجموعات.
[***]باول أدريان ديراك (P.A.M.Dirac)(1902-1984): فيزيائي بريطاني وأحد مؤسسي نظرية الكم.
[****] بوهر(N.Bohr)(1885-1962): فيزيائي دانماركي، بحث في طبيعة الذرة، وهو صاحب مفهوم التكامل بين النظريتين، الموجية والجسيمية.
[*****] ألبرت أنشتاين(A.Einstein)(1879-1955): فيزيائي ألماني، اشتهر بوضعه النَّظرية النِّسبية الخاصة والعامة.
[7] المرجع نفسه، ص 197.
[8] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مصدر سابق، ص191.
[9] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم، مرجع سابق، ص 329.
[*] هويجنز(C.Huyghens)(1629-1695):فيزيائي وفلكي هولندي، صاحب نظريَّة الانعكاس والانتشار في الضوء، اعتمادًا على النَّظرية الموجية.
[10] السيد شعبان حسن، مشكلات فلسفية معاصرة، د.ط،د.س، 2000، ص 73.

[*] جيمس ماكسويل(G.Maxwell)(1831-1879): فيزيائي بريطاني، أسهم في تفسير ظهور الموجات الكهروطيسية، وكانت جل أبحاثه منصبة حول حركة الالكترون والطَّاقة التي يمكن أن يصدرها.
[**] هارتز(G.Hertz)(1887-1975): فيزيائي ألماني، حائز على جائزة نوبل 1925م ، على نظريته في انتقال الضوء عن طريق موجات كهرومغناطيسية.
[11] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد، مرجع سابق، ص 106.
[12] محمد عابد الجابري، مدخل إلى فلسفة العلوم،مرجع السابق، ص 334.
[13] السيد شعبان حسن، مشكلات فلسفية معاصرة، مرجع سابق، ص 73.
[14] المرجع نفسه، ص 74.
[15] غاستون باشلار، الفكر العلمي الجديد ، مرجع سابق، ص 96.
[*] لوي دو بروي (L.DeBroglie)(1892-1987): فيزيائي فرنسي، تلميذ وصديق أنشتاين ساهم في نظرية الكم، وقد اخترع المجهر الضوئي.
[16] محمود فهمي زيدان، كنط وفلسفته النّظرية، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، د.ط، د.س، مصر، ص 79.