العلم والاحتمال

تطور العلوم أدى إلى القول بالاحتمال

obeikan.com

1
تمهيد

إن فهم الصورة المتطورة التى أصبح عليها العلم فى القرن العشرين يقتضى تتبع الجذور التاريخية لتطور العلم عبر القرون السابقة، إذ إن مثل هذه الخلفية التاريخية تسمح لنا بفهم أعمق للأبعاد الفلسفية للعلم السائد فى عصرنا. فلا يمكن النظر إلى حدث هام فى ميدان العلم بمعزل عن بقية الأحداث والمؤثرات التى تدور فى ميدان العلم نفسه. لأن العلم وإن كان يتصف بالتراكمية، إلا أنه يتسم أيضا بدينامية داخلية تتناول كافة جوانبه وتدفعه دومًا إلى كل جديد، فالعلاقات بين الأحداث العلمية والنظريات والأفكار جميعًا علاقات عضوية متشابكة، فهناك قنوات متصلة بين القديم والجديد، من واجبنا كشف النقاب عنها[١].

ولقد كانت الحقيقة عند فلاسفة الإغريق تعنى حقيقة الوجود وحقيقة الطبيعة – طبيعة الأشياء والإنسان – وتمثلت هذه الحقيقة أمام العقل فى "جوهر" الوجود والطبيعة الذى لا يتغير، مهما تغيرت الأعراض. وكان العقل يصوغ هذه الحقيقة فى قالب من الأفكار والمقولات والأحكام[٢]. وإذا كانت الحقيقة قد ارتبطت عند القدماء بالوجود والطبيعة، وأصبحت معرفة العقل لطبيعة الموجودات هى الهدف والغاية من الفلسفة أو الحكمة، فإننا نستطيع أن نؤكد أن هذه المعرفة لا تتحقق إلا بسيطرة العقل على الطبيعة[٣].

وفى العصور الوسطى، عندما انتشرت النزعات الدينية علت أصوات تقول بأن الحقيقة يجب أن تكون واحدة، وأنه لا فرق بين حقيقة تأتى عن طريق العقل وأخرى تأتى عن طريق الإيمان. وبجانب التيار الدينى الذى يصعد بالوجود إلى خالق الوجود، كانت هناك تيارات طبيعية فى فلسفة العصر الوسيط تنتمى فى أصلها إلى الإغريق. وكان رجال الدين واللاهوت يحاربون هذه التيارات الطبيعية بشدة وعنف، ولكنهم فشلوا فى أن ينالوا منها[٤]. ولابد لنا – عند ذكر العلم فى العصور الوسطى – من أن نفرق بين العصور الوسطى فى أوربا والعصور الوسطى فى العالَم الإسلامى.

ففى تلك الفترة الزمنية الواحدة، كان هناك تفاوت هائل فى مستوى العلم بين هاتين المنطقتين من العالَم. ففى حين أن العلم الأوربى هبط إلى الحضيض فى تلك الفترة، فإن العلم الإسلامى وصل إلى قمته خلالها. ويمكن القول إنه بفضل العرب وتأثير حضارتهم على الحضارة الأوربية، حدثت نهضة علمية فى العالَم الغربى، أدت إلى تقدم العلم والتكنولوجيا تقدمًا سريعًا ورائعاً. وأصبح العلم هو مصدر الحقيقة التى لا يتطرق إليها شك. وبدا العلم فى العصر الحديث قوة عظيمة تقهر الطبيعة وتجعل الإنسان مالكًا وسيدًا لها[٥].

وكان لابد أن تقوم الفلسفة باستقاء الحقيقة من مصدرها العلمى البحت، الرياضى والطبيعى على السواء. ولم يكن العلم فى حد ذاته حائلاً بين معرفة الطبيعة ومعرفة الحق سبحانه[٦]. إن عصر العلم ليس معناه بالضرورة عصر التنكر للميتافيزيقا واللاهوت[٧]. ولقد بدأت مرحلة الفكر الحديث مع يقين كل إنسان بالعلم. وسعى فلاسفة العصر الحديث إلى جعل الحقيقة العلمية أساسًا ترتكز عليه الحقيقة الفلسفية، وهو ما فعله "فرنسيس بيكون" و"ليبنتس"[٨] Leibnitz (١٦٤٦ – ١٧١٦) و"كانط" – ونظرًا لأهمية هذه المسألة سوف نعالجها فى شىء من الإطناب فى الفصل التالى، الذى نسعى أن نبيّن فيه كيف أن "كانط" قد طمح فى أن يكون نيوتن الميتافيزيقا وأن يُحْدِث فى الفلسفة ثورة كوبرنيقية، وجعلنا عنوانه "الأساس العلمى للفلسفة النقدية" – أما ديكارت فقد جعل الحقيقة العلمية نتيجة لازمة عن الحقيقة الفلسفية، حين أكد على أن الفلسفة شجرة جذورها الميتافيزيقا، وجذعها علم الطبيعى، وفروعها الطب والميكانيكا والأخلاق[٩].

وفى عصرنا الحالى نجد أن نظريات أينشتين وميكانيكا الكم قد أدت إلى زعزعة الأسس الفلسفية لمعرفتنا، وانتقلت بنا إلى معرفة من نوع أرقى قد تكون مبهمة عند الوهلة الأولى. ولكن، وكما تم التسليم فى نهاية الأمر بتصور كوبرنيقوس للعالَم، وأصبح التسليم بهذا التصور صفة مميزة لكل إنسان مثقف، فإنه سيحدث الشىء نفسه لنظرية النسبية. فبعد انقضاء مائة عام من الآن سوف يتم التسليم بها كبديهية، وسيكون من الصعب تبرير ما لاقته من معارضة شديدة فى أول أمرها[١٠]. ومن الظواهر التى تسترعى الانتباه أن النظريات والابتكارات الجديدة غالبًا ما تُواجه

بالمعارضة من جانب عامة الناس وحتى من قِبل العلماء والمتخصصين. وقد يكون مرجع ذلك هو أن هؤلاء المعارضين قد وجدوا إجابات محددة فى العلم السائد فى عصرهم تتلاءم مع تصورهم للكون. ومن هنا يستشعر هؤلاء الخطر إذا ما ظهرت نظريات وحقائق علمية جديدة تُهدد الركائز الأساسية للتصورات العلمية والعامة السائدة فى عصرهم.

غير أن الحال لا تدوم طويلاً، فطبيعة البحث والتطبيقات التى تفرضها التصورات العلمية السائدة لا يمكن أن تطمس النظريات والحقائق العلمية الجديدة. إذ سرعان ما يعجز العلم السائد بتطبيقاته المختلفة عن تفسير بعض الظواهر أو حل بعض المشكلات الطارئة. إن تراكم تلك الظواهر والمشكلات وتحديها للعلماء وأجهزتهم يحتم على الباحثين فى العلم مراجعة أنفسهم، وإعادة فحص الأسس التى يقوم عليها علمهم. وما هى إلا فترة حتى نرى الأفذاذ من العلماء يشككون فى صلاحية القواعد التى بنى عليها "العلم السائد"، ثم ما يكون منهم إلا أن يتصوروا أسساً جديدة للعلم ويستبدلوا بولائهم السابق للعلم السائد ولاء جديدًا للنظريات والحقائق الجديدة. هذه النقلة من "علم سائد" إلى "علم جديد" هى ما يُطْلَق عليها اسم "الثورة العلمية". وما نظرية كوبرنيقوس واكتشافات لافوازييه Lavoisier (١٧٤٣-١٧٩٤) وقوانين نيوتن ونسبية أينشتين إلا أمثلة على تلك الثورة العلمية[١١]. ومن الملاحظ أن هذه الثورات العلمية تظهر على أوضح صورة فى ميدان العلوم الفيزيائية، وإن كانت ميادين العلم الأخرى لا تخلو منها بطبيعة الحال[١٢].

وغنى عن البيان أن كل نظرية أو ثورة علمية تستوجب نظرة فلسفية جديدة إلى الكون من ناحية، وتحدد وظيفة الأسئلة التى يحق للعلماء أن يطرحوها حول الطبيعة من ناحية أخرى[١٣].

2

سمات التطور العلمى

كانت هذه مقدمة نود أن نبرز من خلالها جملة ملاحظات تتعلق بتطور الفكر العلمى، وهى:

أولاً : إذا كنا سنكتفى فى هذا الفصل بالوقوف عند نقاط التحول الكبرى فى تاريخ العلم، فإن هذا لا يعنى – بأية حال من الأحوال – أن الابتكارات الجزئية أو التطورات العلمية الفرعية، تقل أهمية عن غيرها من النظريات التى تشكل منعطفًا هامًا والتى اكتسبت شهرةً أوسع[١٤]. إن كل ما هنالك هو أننا اقتصرنا فى هذا العرض الذى نقدمه – لتطور الفكر العلمى عبر العصور المختلفة – على الإطار العام دون تفاصيل هذا التطور.

ثانياً: إذ كنا سنعرض لتصور اليونانيين للعلم، فإن غرضنا من ذلك هو التأكيد على أن المرحلة اليونانية قد تركت طابعها، إيجابًا أو سلبًا، على كثير من المراحل التالية، فعلى سبيل الدلالة لا الحصر نجد أن نظرة أرسطو الكيفية إلى الطبيعة قد أثرت على العلوم الطبيعية لأجيال طويلة. حتى جاءت العصور الحديثة وظهر العلماء الذين استبدلوا النظرة الكمية (حسابية ورياضية) بالنظرة الكيفية، والتى ظلت سائدة حتى يومنا هذا[١٥]. من هنا فإن الاهتمام بتجربة الفكر العلمى عند اليونانيين يفيد فى إلقاء الضوء على ما ورثته العصور اللاحقة عنهم من عناصر إيجابية، وما اضطرت إلى مكافحته من عناصر سلبية. فاليونانيون كانوا نقطة انطلاق عظيمة الأهمية، وهم الذين وضعوا جزءًا كبيرًا من الأساس، ولم يكن فى وسع أى عصر تال أن يتجاهلهم، بل كان لابد أن يذكرهم إما بالمدح وإما بالنقد[١٦]. ومن ثمَّ كان من الضرورى أن نعرض لهم.

ثالثاً: علينا أن نؤكد أن ليس هناك ما يدعو إلى التعصب لعلمنا المعاصر، فنصف نظريات السابقين بأنها لا علمية أو أن عصرهم كان عصر جهل وتخلف لمجرد أن نظرياتهم لا تتفق مع مبادئ العلم التى تسود عصرنا. إننا اليوم نأخذ

ببعض النظريات العلمية لأنها تمثل أقصى ما وصلت إليه معرفتنا العلمية، ولو كان فى مقدورنا معرفة المزيد ما توانينا عن ذلك. وليس هناك ما يمنع قيام نظريات علمية جديدة فى المستقبل القريب أو البعيد لتحل محل نظريات عصرنا، فيكون هناك فكر جديد يقوم على أكتاف فكر مضى وهو نفسه فكر هذا العصر الذى نعيش فيه(١٧).

رابعاً: إننا لا ننظر إلى مسيرة العلم نظرتنا للتحولات التى قد تحدث فى مدينة ما، حيث يتم إسقاط البنايات التى شاخت، لتحل محلها بنايات جديدة كل الجدّة، وإنما ننظر إلى تلك المسيرة نظرتنا إلى تطور الأنواع الحيوانية التى تتطور باستمرار إلى أشكال جديدة تعجز العين غير المدربة عن التعرف عليها فى حين أن العين الخبيرة ستجد فيها دائمًا العمل السابق الذى قامت به القرون الماضية. لا ينبغى إذن أن نعتقد أن النظريات القديمة كانت عقيمة وباطلة، فالقوانين العلمية تتميز بالاستمرارية والتغير فى آن معًا(١٨).

خامساً: واستنادًا إلى الملاحظة السابقة نقول إن الفيزياء الحديثة لم تؤد إلى هدم واستبعاد قوانين الفيزياء الكلاسيكية(١٩)، بل أهم ما فعلته أنها قيدت مجالات تطبيقها فإذا كنا نتعامل مع مفاهيم مثل الكتلة والسرعة ونريد تطبيقها تطبيقًا مباشرًا، سنجد أن قوانين نيوتن ما زالت صالحة، أما إذا كنا نتعامل مع جسيمات تقارب سرعتها سرعة الضوء، فإن قوانين نيوتن لا تصلح للتطبيق فى هذه الحال، وتنسحب من هذا المجال لتحتل مكانها ميكانيكا الكم(٢٠). ولذا يمكن القول إن الفيزياء الحديثة لم تبزغ من أفكار ثورية جُلِبَت إلى العلوم البحتة من خارجها، بل هى على العكس، شقت طريقها من خلال الأبحاث التى كانت تحاول بمثابرة ودأب أن تتابع برنامج الفيزياء الكلاسيكية، مما أدى إلى إحداث تغيير فى القواعد ذاتها التى تقوم عليها هذه الفيزياء(٢١).

سادساً: إننا نعتبر أن الإنجازات الكبرى فى العلم ليست – فى حقيقتها – عملاً فرديًا، كما أنها لا تتحقق بين عشية وضحاها، فعلى سبيل المثال نجد أنه بالرغم من أن النتائج المترتبة على نظرية النسبية عند أينشتين، وعلى نظرية الكم

عند ماكس بلانك M. Plank. تقع بأسرها فى القرن العشرين، إلاَّ أنها جاءت كمحصلة لجهود مخلصة فى عهود سابقة[٢٢]. فإذا أخذنا نظريات أينشتين، نجد أنها لم تكن نتاجًا لأفكار فلكية فحسب، بل استندت إلى حقائق النظرية الكهربائية والنظرية الضوئية أيضًا. ولن يكون فى وسعنا فهم نظريات أينشتين فى النسبية إلا بالقدر الذى نكون فيه على دراية بمصادرها، إذ إن لها مصادر عدة. ففى حين أن المصدر الحديث قد أدى إلى ظهور نظرية النسبية الخاصة، فإن المصدر الأقدم وفر المادة اللازمة لتشييد النظرية النسبية العامة، والتى امتزجت فى إطارها المعلومات القديمة والجديدة فى وحدة رائعة[٢٣].

سابعاً: فضلاً عن كل ما سبق، قد يكون من المفيد أن نلقى الضوء على الإنجازات العلمية، وأن نفحص هذا التغير المميز الذى يعترى كل مشكلة عظيمة عبر عشرات السنين، بل عبر قرون عديدة أحيانًا، لأنه من الممكن أن تبدو هذه المشكلات مرات عديدة – إذا ما عُرِضَت بشكل خلاَّق – فى ضوء جديد حتى ولو كانت قد صادفت حلاً مقبولاً من قبل[٢٤].

3

obeikan.com

مفهوم الطبيعة عند أرسطو

أدت عوامل عديدة إلى قيام النهضة العلمية الحديثة التى شهدتها أوربا خلال القرن السابع عشر، وكان بعض هذه العوامل داخليًا، يتعلق ببناء المجتمع الأوربى ذاته، وبعضها الآخر خارجيًا، كالتأثير الإيجابى الذى مارسته الحضارة الإسلامية على العقل الأوربى. وليس من مهمتنا – فى هذا البحث – أن نتحدث عن هذه العوامل جملةً وتفصيلاً، بل ما يهمنا بالدرجة الأولى هو محصلتها النهائية، ونعنى بذلك التغير الذى طرأ على مفهوم العلم ذاته، أى العناصر التى أسقطها العصر الحديث من مفهوم العلم فى العصور السابقة، وتلك التى أضافها إلى هذا المفهوم. وتوضيحًا لذلك نقول إن أرسطو كانت له نظرة "كيفية" إلى الطبيعة، شأنه فى ذلك شأن فلاسفة الإغريق جميعهم، كان أرسطو يبحث عن العلل الصورية التى تشكل المادة بصورها المختلفة. ولقد أثرت هذه النظرة الكيفية الصورية على العلوم الطبيعية لأجيال طويلة، حتى جاءت العصور الحديثة وظهر العلماء الذين استبدلوا النظرة الكمية بالنظرة الكيفية[٢٥].

كان لابد لقيام نهضة علمية من تجاوز نظرة أرسطو إلى الطبيعة. فلقد كانت الطبيعة فى نظره نسيجًا من الجواهر والصور والكيفيات، وكان الغرض من العلم هو تصنيف هذه الصور، والكشف عن علل ظهورها واختفائها. وكان العلم بكل مقوماته (الجواهر، الصور، العلل) ثابتًا[٢٦] بثبات الطبيعة ذاتها. وهكذا كانت العقلية العلمية جامدة لا تتشد أى تغيير فى الطبيعة أو أى تقدم علمى. وكان ارتباط العقل بالطبيعة الثابتة وبكيفياتها سببًا فى ضيق الأفق الذى اتسمت به هذه العقلية. ذلك لأن اعتماد الإنسان على حواسه المجردة قد جعله ينظر إلى الطبيعة فى الحدود الضيقة التى تستشفها هذه الحواس، ولم يكن العلم يستطيع أن يتجاوز هذه المعايير الإنسانية البسيطة والضيقة[٢٧].

تلك كانت العقلية العلمية الأرسطية التى تجمدت فى "صور" الطبيعة من ناحية، وفى "صور" ألفاظ اللغة من ناحية أخرى. ومما زاد من وطأة هذا الجمود، أنه أضاف إلى البناء العلمى الكيفى، بناءً ميتافيزيقيًا ضخمًا قوامه المبادئ الأولية والجواهر الثابتة والعلل البعيدة. ولقد أُكْمِلَ هذا البناء بفكرة المحرك الأول الذى يحرك العالَم بحركة "العشق" لا كعلة فاعلة، بل كعلة غائية للكون والطبيعة[٢٨]. ويقتضينا

الإنصاف أن نقول إن سيادة الفكر الأرسطى طوال ما يقرب من ألفى عام، وتأخر العلم هذه القرون العديدة، لم يكن مسئولية أرسطو المباشرة بقدر ما كان مسئولية أولئك المفكرين والعلماء الذين سلموا تسليمًا أعمى بكل ما قال به أرسطو، ولم يحاولوا فحصه ونقده ومحاولة تجديده(٢٩).

والأمر الذى يلفت النظر فى ظاهرة الخضوع لسلطة مفكر مثل أرسطو، أن هذا الخضوع كان يتخذ شكل التمجيد، بل التقديس، لشخصية هذا الفيلسوف، ومع ذلك فقد جنى هذا التقديس على أرسطو جناية لا تغتفر: إذ إنه جمده وجعله صنمًا معبودًا، وهو أمر لو كان الفيلسوف نفسه قد شاهده لاستنكره أشد الاستنكار: إذ إن الفيلسوف الحق – وأرسطو كان بالقطع فيلسوفًا حقًا – لا يقبل أن يُتْخَذ تفكيره، مهما بلغ عمقه، وسيلة لتعطيل تفكير الآخرين وشل قدراتهم الإبداعية، بل إن أقصى تكريم للفيلسوف إنما يكون فى عدم تقديسه، وفى تجاوزه، لأن هذا التجاوز يدل على أنه أدى رسالته فى إثارة عقولنا إلى التفكير المستقل على الوجه الأكمل(٣٠).

وإذا كان الفكر الإغريق قد عنى عناية خاصة بالعلة الصورية، فإن الفكر الوسيط كان أكثر عناية واهتمامًا بالعلة الفاعلة. وذلك لأن الديانات المنزلة قد جاءت بفكرة الخلق من العدم، وعملية الخلق والإيجاد تستلزم بالضرورة علة فاعلة. أما العلة الغائية فقد قل الاهتمام بها فى مجال العلم الطبيعى(٣١) كما أصبحت العلل الميتافيزيقية فى العصور الوسطى هى المقدمات الضرورية للعلم، مما أدى إلى إضعاف جانب التجربة أمام الجانب الميتافيزيقى(٣٢).

وإذا كان فلاسفة اليونان، وعلى رأسهم أرسطو، قد استخفوا بالتفكير العلمى التجريبى، فإنهم – من ناحية أخرى – كادوا أن يبلغوا حد الكمال فى العلوم التى تستند إلى النظر العقلى المجرد، ولا سيما العلوم الصورية (الرياضة والمنطق)(٣٣). لقد بلغوا الأوج فى التفكير الاستنباطى، حتى لتُعَد هندسة إقليدس نموذجًا للتفكير الرياضى الكامل. كما بلغوا الأوج فى التفكير المنطقى، حتى لقد جاء ما كتبه أرسطو فى ذلك بداية أوشكت – لما بلغته من درجة بعيدة فى دقة التفكير – أن تكون هى النهاية أيضًا، لولا أن قيض الله للمنطق رجالاً بعثوه بعثًا جديدًا، يبشر بالتطور والنماء السريعين(٣٤).

ويطول بنا الحديث لو حاولنا أن نتتبع مظاهر النظرة العقلية الخالصة إلى العلم عند الإغريق، ومدى تطرف اليونانيين فى تأكيدها، كما أن المجال لا يتسع للتحدث طويلاً عن الأسباب المحتملة لإصرار اليونانيين عليها. وحسبنا أن نقول إن هذا التأكيد المتطرف للعلم النظرى على حساب العلم التجريبى عند الإغريق، ربما كان راجعًا إلى أحد عاملين:

١- من الممكن أن يكون مرتبطًا بنظرة إلى العالَم المادى على أنه عالَم ناقص، وإلى العالَم الروحى والعقلى على أنه عالَم الكمال[٣٥]. إن هذا الازدواج بين عالَم رفيع، غير مادى، وعالَم وضيع، هو العالَم المادى، يمكن أن يكون قد انعكس على نظرة اليونانيين إلى العلم، وأدى إلى الاعتقاد بأن العلم الجدير بهذا الاسم هو العلم العقلى، وأن مجرد اقتراب العلم من العالَم الطبيعى، ومحاولته حل مشاكله، يقضى على كل ما هو رفيع فى هذا العلم[٣٦].

٢- ومن المؤكد أن يكون هذا التطرف فى تأكيد العلم العقلى على حساب العلم التجريبى عند الإغريق، راجعاً إلى التقسيم الذى كان سائدًا فى المجتمع اليونانى - الذى كان مجتمعًا يسوده نظام الرق - بين المواطنين الأحرار وبين العبيد. ذلك لأن العبيد كانوا هم الذين يتصلون، فى عملهم اليومى، بالعالَم المادى، وبذلك كانوا يوفرون لأسيادهم الأحرار الوقت والجهد اللذين يسمحان لهم بممارسة التفكير والجدل والحوار فى المسائل النظرية الخالصة. وكان من الطبيعى فى هذه الحالة أن تنعكس مكانة الإنسان على نوع العمل الذى يمارسه، حيث يرتبط العالَم المادى فى أذهانهم بالوضع الاجتماعى المنحط، ويرتبط العالَم العقلى بالوضع الاجتماعى الرفيع، وبحيث يؤكدون فى النهاية أن الجهد اللائق بالإنسان الكريم، والمثل الأعلى الذى ينبغى أن يسعى الإنسان إلى تحقيقه، هو التأمل النظرى الذى لا تشوبه من المادة شائبة، وأن الاقتراب من العالَم المادى فيه حط من كرامة الإنسان[٣٧].

إن حرص الإغريق على أن تظل العلوم العقلية محتفظة بنقائها، بعيدًا عن أدران العالَم المادى، قد أدى إلى انفصال العلوم الرياضية عن العلم الطبيعى. وهكذا كان العلم الطبيعى يعانى من الإهمال أولاً، ومن الانصراف عن تطبيق الرياضيات فى

صياغة قوانينه ثانيًا[٣٨]، مما أدى – كما ذكرنا – إلى سيادة النظرة "الكيفية" إلى الأشياء. فحين يتحدثون عن خصائص العناصر الطبيعية يصفونها من خلال "كيفيات" فيقولون إنها حارة أو باردة، خفيفة أو ثقيلة. أما التعبير "بالأرقام" عن درجة الحرارة أو الوزن فلم يخطر ببالهم، لأن الرياضة فى نظرهم لها عالمها الرفيع الذى لا ينبغى أن يقترب من عالَم الأشياء الأرضية. ولا شك أن هذه النظرة "الكيفية" إلى الطبيعة كانت تعنى تخلفًا تامًا فى العلوم التجريبية، فلا غرابة فى ألا يبدأ بحث الطبيعة بحثًا علميًا دقيقًا إلا بعد انقضاء عصر الحضارة اليونانية بقرون عديدة[٣٩].

obeikan.com

4

النهضة العلمية ورواد العلم الحديث

شهد القرن السابع عشر نهضة علمية عظيمة كان لها أبعد الأثر فى تغيير نظرة الإنسان إلى الكون والطبيعة. فى هذا العصر ظهرت بعض النظريات العلمية الحديثة، وانطلقت العلوم انطلاقة رائعة نحو الآفاق الواسعة للتجربة العلمية[٤٠]. وسوف نحاول أن نكشف هنا من خلال الآراء الجديدة التى نادى بها بعض علماء هذا العصر عن أبرز ملامح العلم الحديث. والحق أن هذه الملامح لم تظهر كلها دفعةً واحدة عند أى واحد من العلماء، ولكنها ظهرت بصورة متفرقة وبطريقة متدرجة لدى رواد العلم الحديث[٤١].

ولنبدأ بكوبرنيقوس Copernicus (١٤٧٣-١٥٤٣) الذى نادى بضرورة تأسيس علم الفلك على الملاحظة الدقيقة، وكان يرى أن الفروض العلمية البسيطة أقرب إلى الصواب من الفروض المعقدة. ولقد قسم حركة الأفلاك إلى ثلاث حركات: حركة الأرض حول نفسها، وحركة الأرض حول الشمس، ثم حركة الأرض مع الأفلاك الأخرى، وكلها فى نظره حركات نسبية، واتصفت بحوثه الفلكية بالدقة المنهجية الشديدة[٤٢]. ومن الصعب علينا اليوم أن ننطق باسم كوبرنيقوس دون أن ترد على أذهاننا نقطة التحول التاريخية التى أحدثها كتابه "دورات الأجسام السماوية"[٤٣] Revolution of the Heavenly Bodies الذى أهداه إلى البابا نفسه. وقد يشعر المرء بالحزن العميق إذا ما عرف أن كوبرنيقوس استلم نسخة مطبوعة من كتابه هذا، قبل ساعات قليلة من مفارقته الحياة بتاريخ ٢٤ مايو سنة ١٥٤٣، ولكن من يدرى لعلنا يجب أن نستبدل الفرح بالحزن إزاء موقف كهذا، وذلك لأن الموت قد جعل كوبرنيقوس بمنأى عن رجال الكنيسة ومؤامراتهم. فهل كان يرضى رجال الكنيسة أن يهدد كوبرنيقوس – أو غيره – نظام الفكر وتقاليده السائدة آنذاك؟ وهل كانوا سيلتزموا الصمت إزاء أفكار تعارض ما جاء فى الكتاب المقدس وتهدد سلطانهم الذى فرضوه على الناس قرونًا طويلة[٤٤]؟

ولعله من الواجب أن نذكر أن مقدمة الكتاب التى كتبها أوسياندر Osiander– صديق كوبرنيقوس الحميم – كانت تشير إلى أن النظرية لا تخرج عن كونها فرضًا وليست حقيقة ثابتة. ولقد أفادت هذه الملاحظة التى صيغت ببراعة فى سماح رجال الدين بتداول الكتاب[٤٥]، ولكن هذا الكتاب كان يفعل ببطء، وإن يكن بثبات، فى حمل المفكرين على هجر نظرية تمركز الكون حول الأرض[٤٦]. إن كل معارفنا قد تأثرت تأثرًا عميقًا بالكشف العلمى الذى حققه كوبرنيقوس. فالقول بأن الأرض تدور حول الشمس، ليس مجرد حقيقة فحسب، وإنما هو ثورة علمية أثرت على مركز الإنسان فى الكون[٤٧]. إن كوبرنيقوس قد انتزع الإنسان من وضعه المركزى المتميز فى العالَم الطبيعى[٤٨]. فلقد كانت الأرض هى مركز الكون، ثم رأى الإنسان – على ضوء ما قال به كوبرنيقوس – أن وطنه ليس هو المركز الثابت المهيب للكون الذى يدور من حوله كل شيء، إنما هو ضمن الشظايا المادية التى تدور حول نجم عادى من النجوم العديدة التى تزخر بها السماء[٤٩]. وأضحى كل ما يبدو لنا عظيمًا وهائلاً هو فى الواقع أقل أهمية عندما يقاس بمعايير الكون، وأصبح من المستحيل اعتبار الإنسان تاج الخليقة أو بطل الرواية الكونية، وبهذا اضطربت الميثولوجيا (*) الكنسية من الأساس[٥٠]. وصار ممكنًا تقبل حقيقة أن الأرض تدور حول الشمس رغم تعارضها مع خبرتنا المباشرة، ونحن لا نشعر اليوم بهذا التعارض لأننا نشأنا منذ الطفولة فى كنف هذا التصور الكوبرنيقى للعالَم[٥١].لا يمكننا إنكار أن التصور الكوبرنيقى بتعارض مع شهادة حواسنا، ذلك لأن كل دليل مباشر إنما يُظْهر أن الأرض تقف ساكنة بينما السماء هى التى تتحرك. وتتمثل أهمية كوبرنيقوس، على وجه الدقة، فى حقيقة أنه قد ناهض بإصرار الاعتقاد القديم المُعضّد بكل الخبرات الحسية المباشرة[٥٢]. وهذا هو السبب فى أننا لا نستطيع مقارنة مَولِدِ الفيزياء الحديثة بتلك الثورات العظيمة التى حدثت فى الماضى، إذ إن فكرة كوبرنيقوس كانت تمثل مضمونًا جديدًا أُدْخِلَ إلى مفاهيم العلم فى عصره، وبالتالى فقد أدت إلى تغيرات أكبر أثرًا فى العلم من الأفكار التى تقدمها الفيزياء الحديثة[٥٣].

(*) الميثولوجيا Mythology هى نسق من الأساطير المترابطة أو المتلاحمة، تدور بخاصةٍ حول شعب ما وتاريخه وآلهته وأسلافه وأبطاله الخرافيين. وقد يقصد بالميثولوجيا أيضًا "علم الأساطير"، أى العلم الذى يدرس الأساطير بوصفها ظواهر اجتماعية، علمية. وقد بدأ الاهتمام بدراسة الأساطير فى القرن الثامن عشر.

5

نظرية بطليموس ومعارضة كوبرنيقوس لها

وجد كوبرنيقوس أن الصورة السائدة للعالَم ترتد إلى اليونانيين القدماء، فلقد وضع بطليموس Ptolemy Claudius of Alexandria (وهو عالم سكندرى عاش فى القرن الثانى الميلادى) نظامًا للعالَم حوالى عام ١٤٠ ميلاديًا، أوجزه فى كتابه الشهير "المجسطى" Almagest. والسمة الغالبة والهامة لنظام بطليموس هى القول بأن الأرض مركز العالَم، وأن قبة السماء تدور حولها حاملة معها النجوم والشمس والقمر[٥٤].أدرك بطليموس أن الأرض كروّية وأقر بهذا، ورغم إقراره بكروّية الأرض، فإنه لم يعترف بحركتها[٥٥]، بل على العكس تمامًا، دافع بشدة عن استحالة حركة الأرض، سواء أكانت تلك الحركة دورانية Rotative motion أم انتقالية Pogressive motion[٥٦]. لقد تصور بطليموس أن تحرك الأرض يتنافى مع العقل، وبرهن على ذلك متصورًا أن الأرض أثناء دورانها سوف تُخلّف الهواء وراءها، كما ستُخلّف وراءها الأشياء التى يحتويها الغلاف الجوى، كالطيور المحلقة التى لن تتمكن من اللحاق بدوران الأرض، وبالتالى سوف يتحتم عليها بدورها أن تتخلف[٥٧]. كذلك الأمر بالنسبة للحركة الانتقالية للأرض، فهى مستحيلة – فى رأى بطليموس – بالقدر نفسه، لأن الأرض فى هذه الحالة ستترك مجال السماء، وسنرى جزءًا صغيرًا من الكرة الأرضية ليلاً، فى حين نرى الجزء الأكبر نهارًا. ولم يدرك بطليموس أن المسافات الواقعة بين النجوم The interstellar distances هى مسافات هائلة تجعل الانحراف الجانبى للأرض غير قابل للملاحظة على الإطلاق[٥٨].

ووفقًا للنسق الفلكى عند بطليموس تتميز الكواكب بحركة مشتركة، فمسار الكواكب كما يُلاحظ فى السماء يتم تحديده عن طريق تطابق المدارات الدائرية، ونتيجةً لذلك نشأ ما يسمى "بأفلاك التدوير" epicycles[٥٩]. ولا شك أن بطليموس قد فهم طبيعة الحركات الكوكبية، فقال بأن الشمس والقمر ليسا مثبتين فى موقع محدد بين النجوم، وإنما يتحركان فى مسارات دائرية خاصة بهما[٦٠]. والكواكب ترسم أقواساً

ذات أشكال غريبة، أدرك بطليموس أنها نتيجة لحركتين دائرتين تتمان فى نفس الوقت؛ مثل مسار شخص جالس فى أرجوحة تدور فى داخل أرجوحة أخرى أكبر منها. وما زال نظام بطليموس الفلكى، الذى يُعْرَف أيضًا باسم نظام مركزية الأرض geocentric system يُسْتَخدم اليوم فى الإجابة على جميع الأسئلة الفلكية التى تقتصر على الإشارة إلى الجانب الذى يُرَى من الأرض فى النجوم، لا سيما الأسئلة المتعلقة بالملاحة[٦١].

obeikan.com

نظرية مركزية الشمس عند كوبرنيقوس

إن الفكرة القائلة بأن الشمس ساكنة والأرض والكواكب تتحرك حولها، لم تكن مجهولة لليونانيين[٦٢]. فقد اقترح أرسطرخوس الساموسى (*) Aristarchus of Samos النظام المتمركز حول الشمس فى حوالى عام ٢٠٠ ق.م.، لكنه لم يتمكن من إقناع معاصريه بصوابه. ولم يكن فى استطاعة الفلكيين اليونانيين أن يأخذوا برأى أرسطرخوس نظرًا لأن علم الميكانيكا كان فى ذلك الحين فى حالة متأخرة. مثال ذلك أن بطليموس اعترض على أرسطرخوس بالقول إن الأرض ينبغى أن تكون ساكنة لأنها لو لم تكن كذلك لما سقط الحجر الذى يقع على الأرض فى خط رأسى. ولم تجر تجربة لإثبات خطأ بطليموس إلا فى القرن السابع عشر، حين أجرى بيير جاسندى[٦٣] Gassendi (١٥٩٢–١٦٥٥) تجربة على سفينة متحركة، فاسقط حجرًا من قمة الصارى، ورأى أنه وصل إلى أسفل الصارى تمامًا. ولو كانت ميكانيكا بطليموس صحيحة، لوجب أن يتخلف الحجر عن حركة السفينة، وأن يصل إلى سطح السفينة عند نقطة تقع فى اتجاه مؤخرتها. وهكذا أيد جاسندى قانون جاليليو الذى كان قد اكتُشِفَ قبل ذلك بوقت قصير، والذى يقول إن الحجر الهابط يحمل فى ذاته حركة السفينة ويحتفظ بها وهو يسقط[٦٤]. ولم يقم بطليموس بتجربة جاسندى لأن فكرة التجربة العلمية لم تكن مألوفة لليونانيين[٦٥].

وإذا أردنا فحص البراهين التى قدمها كوبرنيقوس لنظريته الجديدة، سنجدها غير كافية من وجهة نظر المعرفة التى لدينا اليوم، ولكنه تمكن من تقديم آراء تتناسب مع البساطة التى يتميز بها نظامه. فهو لا يرى أن النجوم تتحرك بسرعة ضخمة فى مداراتها الهائلة، ووجد الأقرب إلى الصحة أن الأرض تدور حول محورها، لذلك فإن سرعة الحركة الموضعية فى كل بقعة تعتبر أصغر بالمقارنة بالسرعة الأصلية لحركة الأرض بدرجة كبيرة. ويرد كوبرنيقوس على اعتراض بطليموس ذاهبًا إلى أن هذا الأخير اعتقد أن الحركة الدورانية للأرض تتضمن قوة،

(*) أرسطرخوس الساموسى هو فلكى من مدرسة الإسكندرية كتب باليونانية وعاش فى القرن الثالث ق.م، وكان رائدًا للثورة الكوبرنيقية إذ أكد أن الأرض تدور حول محورها وحول الشمس، وأن الشمس هى مركز الحركات جميعًا. ولكن نظريته أهملت لصالح نظرية أفلاك التدوير التى قال بها بطليموس.

بينما هى فى حقيقتها حركة طبيعية تختلف قوانينها عن قوانين الحركة الاهتزازية المفاجئة اختلافًا تامًا. إن كل هذه الآراء التى قال بها كوبرنيقوس لم تكن مؤكدة بشكل حاسم. ونحن نعلم اليوم أن نظرية نيوتن تقدم أول برهان حقيقى على تصور كوبرنيقوس للكون. وفى هذا دلالة كافية على أن الأفكار الجديدة تستقر دعائمها بفضل قوة ما تتضمنه من حقيقة قبل أن يتحقق صدقها موضوعيًا بزمن طويل[٦٦].

obeikan.com

7

قوانين كبلر

لم يكن كشف كوبرنيقوس بقادر على أن يحظى بموافقة جميع الأوساط العلمية لو لم تكن أبحاث العالِم الألمانى كبلر (يوهان) J. Kepler, (١٥٧١-١٦٣٠) قد أدخلت عليه بعض التحسينات. ولقد كان كبلر معاصرًا لجاليليو، وكان أستاذًا للعلوم والأخلاق فى جراتز، كما كان مهتمًا بدراسة الرياضيات اهتمامًا كبيرًا، وعرف بعض قوانين الهندسة الفراغية، وكيف تتكون السطوح من مجموعة لا متناهية من السطوح الصغيرة. وعنى عناية خاصة بقياس هذه السطوح. وكان العالَم فى نظره نموذجًا للكمال الإلهى ووحدة متناسقة تخضع للانسجام والتناسب بين أجزائها، وحاول أن يوفق بين نظرية كوبرنيقوس فى حركة الأفلاك ونظرية عقول الأفلاك التى قال بها أرسطو، فكل فلك فى نظره يحركه عقل، ومن الممكن أن نتصور نفسًا واحدة هى المحركة للعالَم كله، ولكننا يجب أن نقيس هذه الحركات بالحساب الرياضى الدقيق، وأن نعبر عن الظواهر الطبيعية بلغة الرياضة وبالقوانين الحسابية[٦٧]. ويبدو أنه اهتم بدراسة البصريات وتوصل قبل ديكارت إلى اكتشاف بعض قوانين انكسار الضوء[٦٨]. وكان كبلر تلميذًا لعالِم الفلك الدانمركى تيكو براهى Tycho Braho (١٥٤٦-١٦٠١) الذى ذاعت شهرته كمصمم للأجهزة الدقيقة لا كباحث نظرى. استعان كبلر بالملاحظات التى خلفّها أستاذه فى محاولة تحديد مدار كوكب المريخ Mars، واعتقد فى أول الأمر أن مداره دائرى، ولكن تبين له أن هناك انحرافًا ضئيلاً جدًا بين الدائرة والمدار الحقيقى، وبلغ هذا الانحراف ثمان دقائق فى القوس، أى ربع القطر الظاهرى للشمس، فعاود البحث من جديد عن المدار الحقيقى للمريخ[٦٩]. وبعد عناء دام تسع سنوات، جرب خلالها تسعة عشر مدارًا مختلفًا، اهتدى أخيرًا إلى المدار البيضاوى[٧٠]. كما استطاع بفضل القياسات المحضة التوصل إلى صياغة قوانين ثلاثة اشتهرت باسم قوانين كبلر The Kepler's laws، وهى تمثل أساس الدراسة الرياضية للحركة المدارية فى المجموعة الشمسية، ويمكن تلخيصها على النحو التالى:

١- تدور جميع الكواكب فى مسارات بيضاوية الشكل ellipse تقع الشمس فى إحدى بؤرتى كل منها.

٢- يمسح نصف القطر المتجه من الشمس والواصل إلى الكوكب مساحات متساوية فى أزمنة متساوية.

٣- مربع زمن الدورة الكاملة للكوكب حول الشمس يتناسب تناسبًا طرديًا مع مكعب

متوسط بعد هذا الكوكب عن الشمس.

وبهذا لم يتناول كبلر حركات الكواكب من الناحية الهندسية والزمنية فحسب، بل حاول لأول مرة فى تاريخ الفكر الإنسان أن يبين ميكانيكيًا حركات الكواكب(٧١)، واعتقد أن الشمس تبعث خطوط قوى مغناطيسية تؤثر على الكواكب وتلزمها السير فى مداراتها البيضاوية(٧٢).

وعلى الرغم من أن اكتشافات كبلر الدقيقة قد أسهمت فى تطوير وإكمال الصورة الفلكية للعالَم بشكل ملحوظ، فهى فى أساسها كوبرنيقية، وإن اختلفت بقدر كبير عن فكرتنا الكوبرنيقية عن العالَم. فلقد اتفق كل من كوبرنيقوس وكبلر على أن المجموعة الشمسية قد شغلت الفراغ الكونى، وما النجوم بالنسبة لهما – كوبرنيقوس وكبلر – إلا نقاط دقيقة فى كرة السماء التى شغلت العالَم ككل. ويختلف كبلر عن كوبرنيقوس فيما ذهب إليه من أن الكوكب لا يدور فى شكل دائرى دائمًا، وإنما فى شكل بيضاوى(٧٣).

8

جاليليو وبداية العلم الحديث

إن اكتشاف المنظار المقرِّب Telescope أسهم فى إحداث التقدم الحاسم فى علم الفلك بعد كبلر، إذ أدى إلى تطوير وسائل الملاحظة. وعلى الرغم من أن

obeikan.com

جاليليو Galileo (١٥٦٤-١٦٤٢) لم يكن أول من اخترع المنظار المقرِّب، فالفضل يرجع إليه فى تصميم أول منظار عملى استُخدِم فى ملاحظة السماء، ولقد قام جاليليو بتوجيه منظاره إلى القمر فتعرف على البقع الموجودة على سطحه على أنها جبال ضخمة بالنظر إلى مظهرها الخشن المتعرج وكان ذلك عام ١٦١٠[٧٤]. وإذ كان علم الفيزياء يُعَد أكثر العلوم تقدمًا فى الوقت الحاضر، فإن البداية الحقيقية لهذا العلم كانت على يد جاليليو[٧٥]. ولكى يكون فى وسعنا إدراك حقيقة الإنجاز الذى حققه جاليليو فى هذا المجال، علينا أن نلقى نظرة سريعة على الفكر السائد فى عصره[٧٦].

كان العلماء المعاصرون لجاليليو والذين اعتادوا تعظيم فكر أرسطو يعتقدون بأن هناك أنواعًا عديدة من الحركة[٧٧]. بعض هذه الأنواع خاص بأجرام السماء، والبعض الآخر خاص بالأجسام الأرضية، وأن الحركة التى تخضع لها المادة الجامدة تختلف عن تلك التى تخضع لها أجسام الكائنات الحية. كما سايروا أرسطو فى القول بأن كل كائن حى له "نفس". وتختلف النفوس باختلاف أنواع الكائنات[٧٨]، كما قالوا بوجود العناصر الأربعة: التراب والماء والهواء والنار. وأن التراب والماء أثقل من الهواء والنار. ويتميز التراب والماء بحركة طبيعية هابطة، أما الهواء والنار فحركتهما الطبيعية صاعدة. كما اعتقدوا أيضًا فى وجود "عنصر خامس" فى الطبقات الأعلى من السماء وهو النار المتسامية[٧٩].

عندما جاء جاليليو أدخل إلى علم الفيزياء أفكارًا ومبادئ أساسية ظلت قائمة حتى القرن الحالى، وساهم فحصه لقوانين سقوط الأجسام فى قيام الفيزياء الرياضية[٨٠]، مع أن الجهاز الذى صممه كان بدائيًا تمامًا، فعلى سبيل المثال لم يستخدم ساعة للميقات بالمعنى الحديث للكلمة، بل استعاض عنها بالساعة المائية التى هى عبارة عن وعاء ينسكب منه الماء، ورغم كل هذا فقد حدد جاليليو العلاقة بين المسافة والزمن بالنسبة لحركة سقوط الأجسام. كما حدد أيضًا قانون العجلة[٨١]. وأخيرًا وضع القانون الأساسى للحركة، وهو قانون القصور الذاتى law of inertia والمعروف "بالقانون الأول" من قوانين نيوتن فى الحركة. وينص القانون – كما صاغه نيوتن فيما بعد – على: "أن كل جسم يستمر فى الحالة التى هو عليها من سكون أو حركة منتظمة فى خط مستقيم، ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تضطره إلى

تغيير تلك الحالة" [٨٢].

وعلى الرغم من أن هذه القوانين تبدو وكأنها مجرد أجزاء من الحقيقة الشاملة، فهى تعطى الدلالة على تقدم غير عادى بالقياس إلى الفترة السابقة التى لم يهتم فيها أحد بتجميع المعطيات الحسية، والتى ساد خلالها الاعتقاد بأن كل من يريد أن يتعلم عليه أن يكتشف المجهول بواسطة الفكر التأملى المحض. إن الإنجاز العظيم الذى أحرزه جاليليو هو أنه قام بتوجيه دفة البحث نحو الطبيعة[٨٣]. لقد أعطى للعلم الحديث منهجه الكمى التجريبى، فالتجارب التى قام بها لإثبات قانون سقوط الأجسام حددت أنموذج المنهج الذى يجمع بين التجربة وبين الصياغة الرياضية لنتائج هذه التجربة. وبفضل جاليليو اتجه جيل من العلماء إلى استخدام التجارب فى الأغراض العلمية. ومع ذلك، فإن هذا التحول العام إلى استخدام المنهج التجريبى لا يمكن أن يُعد نتيجة لجهد شخصى واحد، ويفضل "ريشنباخ" أن يفسره على أنه نتيجة لتغير فى الظروف الاجتماعية حرر أذهان العلماء من الاهتمام بالعلم اليونانى فى صورة النزعة المدرسية (الاسكلائية)، وأدى بطريقة طبيعة إلى قيام علم تجريبى[٨٤].

تصدى جاليليو بشجاعة لتعاليم أرسطو، التى كانت سائدة فى عصره، والتى كان يدعمها نفوذ الكنيسة الكاثوليكية، تلك التعاليم التى كانت تقول بأن الحركة ممكنة فقط مع وجود قوة، وأنها تتوقف حتماً بدونها. أوضح جاليليو عن طريق قانون القصور الذاتى أن سبب توقف الأجسام المتحركة هو بالعكس وجود قوة الاحتكاك، ولو لم تكن هذه القوة موجودة لتحركت الأجسام حركة أبدية[٨٥]. كان الاعتقاد السائد فى عصر جاليليو هو أن حركة الأجسام الأرضية تنزع نحو التباطؤ فى سرعتها حتى تتوقف عن الحركة تمامًا، فالكرة التى تتحرك على ملعب – مهما كان هذا الملعب أملسًا – تركن إلى السكون بعد فترة من الزمن[٨٦]. أما أجرام السماء فتواصل حركتها فى مدارتها دون أن تفقد سرعتها لأنها لا تسير فى خطوط مستقيمة. ولكن وفقًا لقانون القصور الذاتى. فإن ما يعوق حركة الأجسام الأرضية أو حركة النجوم فى مداراتها المنحنية لا يمكن تفسيره بشىء كامن فى طبيعة الأجسام، بل بتأثير البيئة المحيطة بهذه الأجسام[٨٧].

وتتمثل أهمية الآراء التى قال بها جاليليو فى أنها:

١– حطمت بشكل قاطع التمييز الأرسطى بين الأرض والسماء بالكشف عن زيف

الفكرة القائلة بكمال الأجسام السماوية، وأحلت اتساق الطبيعة محل التسلسل القديم بين كائنات تعلو بعضها فوق بعض.

٢- أثبتت نظرية كوبرنيقوس، وخرجت بها من حيز الرياضيات إلى حيز الوجود الطبيعى.

٣- أخضعت كل الأجسام لنوع واحد من القوانين.

٤- فسرت حركة الأجسام عن طريق القوانين الديناميكية، لا عن طريق علل غير مادية.

وكان من الطبيعى أن تثير مثل هذه الآراء عاصفة من المعارضة الشديدة شنها أولئك العلماء المعاصرون لجاليليو الذين كانوا يقدسون أفكار أرسطو، ولقد كشف جاليليو عن موقف هؤلاء العلماء فى الخطاب الذى كتبه إلى كبلر(٨٨)، والذى قال فيه:

« أشكرك كثيراً لاهتمامك الفورى بأبحاثى، وبذا تكون أول شخص وغالبًا الشخص الوحيد الذى يقتنع بمناقشاتى اقتناعًا تامًا، ولا يتوقع المرء غير هذا من رجل فى مثل حرصك وصراحتك، ولكن ما الذى يمكن أن تقوله لفلاسفة جامعاتنا الذين رفضوا إلقاء نظرة على أى من القمر أو المنظار المقرِّب رغم الحاحى فى دعوتهم إلى ذلك؟ أنهم يغمضون أعينهم عن نور الحقيقة!! إن أولئك المتزمتين يعتبرون الفلسفة نصوصًا كالأوديسة Odyssey أو الإنيادة Aeneid ويعتقدون أن الحقيقة سوف تتكشف ـ كما يؤكدون هم أنفسهم ـ من خلال مقارنة النصوص بعضها ببعض، لا عن طريق دراسة العالَم أو الطبيعة. ومن المضحك أن تسمع بعضهم يدحض وجود الأقمار الجديدة بحجج منطقية محضة، كما لو كانت هذه الأجرام مجرد طلاسم سحرية ».

ويروى جاليليو أيضًا كيف رفض عالم آخر النظر إلى المنظار المقرِّب بحجة "أن ذلك سيؤدى إلى زعزعة ثقته فى معتقداته".

يوضح النص السابق ما حدث حين وضع جاليليو المنظار المقرِّب Telescope وطلب إلى زملائه أن ينظروا خلاله إلى الأقمار الأربعة التى اكتشفها

والتى تدور حول كوكب المشترى Jupiter، فرفضوا إلقاء نظرة، وبنوا رفضهم على أساس أنهم بحثوا فى كتب أرسطو فلم يجدوا فيها ذكرًا لمثل هذه التوابع المزعومة للمشترى، فمن ظن أنه رأى توابع للمشترى كان واهمًا مخدوعًا. وتدل هذه الواقعة على أن الإنسان قد يتأثر بما عرفه عن الأقدمين، حتى يتنكر لما تراه عيناه. وهذا النوع من الأخطاء أطلق عليه فرنسيس بيكون F. Bacon, (١٥٦١ – ١٦٢٦) اسم "أوهام المسرح".

obeikan.com

٩

نيوتن: تطبيق الرياضة على الطبيعة

لم يتوقف النشاط العلمى عند حدود دراسة الظواهر الطبيعة وتسجيل أسباب هذه الظواهر، بل امتد إلى مجال أرحب هو البحث عن القوانين العامة التى تنطبق على أكبر عدد ممكن من الظواهر والتنبؤ بحدوثها فى المستقبل. وتحقق ذلك بفضل الاستعانة بالعلوم الرياضية وصياغة القوانين الطبيعية بطريقة رمزية، ولقد تم ذلك بصورة واضحة من خلال النظرية الميكانيكية التى وضعها اسحق نيوتن. كما استمد العلم الحديث قوته من اختراع "**المنهج الفرضى الاستنباطى**" deductive method–hypothetico، وهو المنهج الذى يضع تفسيرًا فى صورة فرض رياضى يمكن استنباط الوقائع الملاحظة منه. والذى يسمى أيضًا "بالاستقراء التفسيرى" explanatory induction ويقوم على أساس الجمع بين المنهج الرياضى، واستخدام التجارب، واتخاذ الاثنين معًا كمعيار للصواب. إن تأكيد قدرة المنهج الرياضى على تحليل العالَم الفيزيائى كان ينطوى على أكثر من تأكيد لهذه القدرة، إذ كان يعنى مضاعفتها بحيث تؤدى إلى نجاح أضخم بكثير من كل ما تحقق من قبل[٨٩].

وعلى أساس المنهج الفرضى الاستنباطى قام قانون تجاذب الكتل عند نيوتن. هذا القانون، الذى يشيع إطلاق اسم **قانون الجاذبية** gravitation عليه، يتخذ صورة معادلة رياضية بسيطة إلى حد ما، ويقول هذا القانون بأن "**كل جسم يجذب كل جسم آخر بقوة تتناسب مع كتلته تناسبًا طرديًا، وتناسبًا عكسيًا مع مربع المسافة بينه وبين الجسم الآخر**"[٩٠]. وهو من الوجهة المنطقية يؤلف فرضًا لا يمكن تحقيقه مباشرة[٩١]. فمن المؤكد أن هذا القانون هو قضية كلية، ولكن ليس فى وسع المرء أن يثبت بطريقة يمكن تصورها وجود قوى الجاذبية[٩٢] من خلال الحالات الواقعة أمام ناظريه. فليس فى مقدورنا إدراك قوة الجاذبية إدراكًا حسيًا بين الأجسام التى نلاحظها، ولن يكون ذلك فى مقدورنا أبدًا. إننا ندرك عن طريق الحواس حركة الأشياء كسقوط الأحجار أو الأجسام ولكننا لا ندرك قوة الجاذبية. والقانون يتعامل فحسب مع قوى لا مع حركات واقعية[٩٣]. إن البرهان

التجريبى على القانون المسمى بقانون الجاذبية يتم بطريقة غير مباشرة، ما دام من الممكن؛ كما أوضح نيوتن؛ أن نستخلص منه جميع نتائج الملاحظات التى 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 فى إرتباطها بمواقع القمر(٩٤).

إن المبادئ الأساسية لنظرية نيوتن الديناميكية قد صيغت فيما يسمى بقوانين نيوتن فى الحركة، وهى:

١- إن كل جسم يستمر فى الحالة التى هو عليها من سكون أو حركة منتظمة فى خط مستقيم، ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تضطره إلى تغيير تلك الحالة.

٢- إن التغير فى الحركة يتناسب تناسبًا طرديًا مع القوة الواقعة على جسم ما، ويتخذ اتجاه التغير نفس الاتجاه الذى أحدثته هذه القوة.

٣- يوجد دائمًا لكل فعل رد فعل مساوٍ له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه(٩٥).

ويرى وليم نيل W.Kneale, أن هذه القضايا الثلاث ليست قوانين بالمعنى المألوف، ولكنها بالأحرى مصادرات أو مسلمات Postulates تحدد تعريف فكرة القوة وارتباطها بالحركة(٩٦). إن كل قضية من هذه القضايا لا يمكن اختبارها اختبارًا مباشرًا، ولكن النظرية ككل يمكن التحقق من نتائجها(٩٧).

obeikan.com

١٠

نيوتن ومنهج العلم الحديث

أدرك نيوتن أن نجاح نظريته يتوقف على التأييد المستمد من تحقيق نتائجها. وكان عليه، من أجل استخلاص هذه النتائج، أن يبتدع منهجًا رياضيًا جديدًا، هو حساب التفاضل (اكتشف ليبنتس Leibniz حساب التفاضل مستقلا عن نيوتن)، غير أنه لم يكتف بهذا النصر الاستنباطى، وإنما أراد الوصول إلى دليل كمى مبنى على الملاحظة، واختبر نتائجه عن طريق القيام بملاحظات للقمر، وأدرك بنظرته العبقرية أن قوة الجاذبية التى تصورها جاليليو فى نظريته عن سقوط الأجسام، لها دلالة تتجاوز نطاق الكرة الأرضية، وأن قوة التجاذب هذه تمثل خاصية لكل كتلة، بل وتحدد مسار الكواكب خلال فضاء الكون. تلك النظرة الثاقبة إلى طبيعة الأشياء كانت مصحوبة بالحذر الرائع لنيوتن فى تحليلاته العلمية. بادئًا بالفرض الصحيح القائل إن قوة التجاذب تتناسب طرديًا مع المسافة، فقد قدر جاذبية الأرض بالنسبة للقمر، على حين كان جاليليو قد قدرها بالنسبة إلى جسم على سطح الأرض، وبالتالى حَسَبَ نيوتن الفترة الزمنية التى يحتاجها القمر للدوران حول الأرض. إذ إن جاذبية الأرض هى علة cause حركة القمر. كل ذلك كان تطويرًا رائعًا للفكرة الأصلية[٩٨]. غير أن أمله خاب عندما وجد أن نتائج الملاحظة لا تتفق مع حساباته، فما كان من نيوتن إلا أن أودع المخطوط الذى دون فيه نظريته فى أحد أدراجه، بدلاً من أن يجعل للنظرية، مهما كان تناسقها، الأفضلية على الوقائع، وكان ذلك عام ١٦٦٦. وبعد حوالى عشرين عامًا، قامت بعثة فرنسية بقياسات جديدة لمحيط الكرة الأرضية، أدرك منها نيوتن أن الأرقام التى كان قد بنى عليها اختباره لم تكن صحيحة، وأن الأرقام الأدق تتفق مع حسابه النظرى. ولم ينشر نيوتن قانونه إلا بعد هذا الاختبار[٩٩].

حينذاك تلقت ميكانيكا نيوتن التأييد، وبدت لمعاصريه وكأنها عصا سحرية، فلقد حولت نظريته الحقائق الأساسية للقرون السابقة إلى نظام متسق يحتوى على

نظرية كوبرنيقوس عن حركة الكواكب المركزية حول الشمس، وقوانين كبلر عن مدارات الكواكب، وقوانين جاليليو الخاصة بسقوط الأجسام. حينئذ ظهرت القوانين التى تؤيد صحة تصور كوبرنيقوس عن الكون، فتم لها بذلك استقرار مكانتها العلمية. فقبل هذا كان التصور الكوبرنيقى يبرر نفسه بإزاء التصور البطليموسى بمجرد الدعوى بأنه يمثل صورة العالَم بطريقة أبسط[١٠٠]. أما الآن فلقد أصبح ذلك التصور الكوبرنيقى – بفضل علم الميكانيكا النيوتنى – هو التصور الأوحد الذى يمكن قبوله. وصار ممكناً أيضاً توضيح القيمة الحقيقية لهذا التصور الكوبرنيقى الذى يفسر الظواهر الطبيعية على أنها نظام كونى تحكمه القوانين العلمية[١٠١].

والحق إن ما قام به نيوتن يمثل أروع نماذج المنهج العلمى الحديث. فمعطيات الملاحظة هى نقطة بدء المنهج العلمى، غير أنها لا تستنفد هذا المنهج، وإنما يكملها التفسير الرياضى، الذى يتجاوز بكثير نطاق إقرار ما لوحظ بالفعل، ثم تطبق على التفسير نتائج رياضية تُظْهِر صراحة نتائج معينة توجد فيه بصورة ضمنية، وتُخْتَبَر هذه النتائج الضمنية بملاحظات. هذه الملاحظات هى التى نترك لها مهمة الإجابة "بنعم" أو "لا"، ويظل المنهج إلى هذا الحد تجريبياً[١٠٢]. غير أن ما تؤكد الملاحظات صحته يزيد كثيرًا عن ما تقوله مباشرةً. فهى تثبت تفسيرًا رياضيًا مجردًا، أى نظرية يمكن استنباط الوقائع الملاحظة منها بطريقة رياضية. لقد كان لدى نيوتن من الشجاعة ما جعله يغامر بتفسير مجرد، ولكن كان لديه أيضاً من الفطنة ما جعله يمتنع عن تصديقه قبل أن يؤيده اختبار قائم على الملاحظة[١٠٣].

وتتابعت الاختبارات القائمة على الملاحظة المؤيدة لنظرية نيوتن. فعن طريق تجربة بارعة ابتدعها كافندش Cavendish أمكن اختبار قوة الجاذبية الصادرة عن كرة من الرصاص لا يزيد قطرها عن قدم. ثم أمكن فيما بعد حساب انحرافات الكواكب عن مداراتها، وهى الانحرافات التى تسببها قوى الجاذبية المتبادلة، كما أمكن تحقيق هذه الحسابات بأساليب أكثر دقة فى الملاحظة[١٠٤]. وأخيرًا تنبأ الرياضى الفرنسى "لوفرييه" Leverrier (وكذلك الفلكى الانجليزى آدامز Adams على نحو مستقل عنه) بوجود كوكب كان مجهولاً حتى ذلك الحين، هو الكوكب **نبتون** Neptune وذلك على أساس حسابات اتضح منها أن الانحرافات الملاحظة فى بعض الكواكب لابد أن تكون راجعة إلى هذا الكوكب الجديد. وعندما وجه الفلكى الألمانى "جاله"

Galle منظاره إلى تلك المنطقة من السماء، التى كان لوفرييه قد حسبها، رأى بقعة ضئيلة يتغير موقعها تغيرًا بسيطًا من ليلة إلى أخرى، وهكذا أُكْتُشِفَ الكوكب نبتون (١٨٤٦)[١٠٥].

ويمكن القول إن الفيزياء الكلاسيكية ظلت حتى آواخر القرن التاسع عشر تلقى نجاحًا كاملاً فى تفسير الظواهر الطبيعية المتفقة مع المقاييس الإنسانية، وحققت أيضاً نجاحًا تامًا حتى على المستوى الأكبر فى الفلك[١٠٦]. فقوانين نيوتن تنبئنا بدقة بمستقبل النظام الشمسى شرط أن نعرف بالضبط مواقع الكواكب بالنسبة للشمس فى لحظة معينة[١٠٧]. ووفقًا لتلك القوانين فإن التغيرات التى تحدث فى العالَم عند أية لحظة تعتمد فقط على حالة العالَم عند تلك اللحظة، والحالة تُحَدّد بمواضع وسرعات الأجسام. فتغيرات المواضع تحددها السرعات، وتغيرات السرعات تحددها القوى، والقوى بدورها محددة بالمواضع. فإذا أمكننا معرفة حالة العالَم عند أية لحظة، استطعنا أن نتنبأ بالسلوك والمعدل الذى سوف تتغير به هذه الحالة. وإذا عرفنا هذا يمكننا التنبؤ بالحالة فى اللحظة التالية، ثم نعتمد على ذلك كمرحلة انتقالية فنتنبأ بالحالة فى لحظة بعدها وهكذا بغير حدود[١٠٨].

والواقع أن المنهج الرياضى هو الذى أكسب فيزياء نيوتن قدرتها على التنبؤ. وعلى كل من يتحدث عن العلم التجريبى أن يذكر أن الملاحظة والتجربة لم يتمكنا من بناء العلم الحديث إلا لأنهما اقترنتا بالاستنباط الرياضى. فالفيزياء عند نيوتن تختلف اختلافًا كبيرًا عن صورة العلم الاستقرائى التى رسمها فرنسيس بيكون قبل جيلين من عهد نيوتن، إذ إن أى عالِم لم يكن ليستطيع، لو اقتصر على جمع الوقائع الملاحظة، كما يتمثل فى قوائم بيكون، أن يكتشف قانون الجاذبية. فالاستنباط الرياضى مقترنًا بالملاحظة هو الأداة التى تعلل نجاح العلم الحديث[١٠٩].

ولقد كان أوضح تعبير عن تطبيق المنهج الرياضى هو مفهوم السببية كما تطور نتيجةً للفيزياء الكلاسيكية، أى لفيزياء نيوتن، مما أدى إلى تفسير العالَم الطبيعى وفقاً لنظام من العلية الذاتية التى تستبعد تأثير أية قوى من خارج العالَم[١١٠]. واتضح أن أى نظام ديناميكى مستقل كنظام الشمس والكواكب تكون كمية حركته فى كل الاتجاهات ثابتة. وعلى ذلك فإن الكون الذى تحرك فى لحظة ما

سوف يظل محتفظًا بحركته إلى الأبد ما لم تحدث معجزة تؤدى إلى توقف هذه الحركة[١١١]. ولما كان من الممكن التعبير عن القوانين الفيزيائية فى صورة معادلات رياضية، فقد بدا كأن من الممكن تحويل الضرورة الفيزيائية إلى ضرورة رياضية. فلنتأمل مثلاً القانون القائل إن حركات المد تتبع موقع القمر، بحيث يتجه جزء من المحيط صوب القمر، ويتجه الجزء الآخر فى الاتجاه المضاد. على حين أن الأرض تدور تحت هذا الجزء وتجعله ينزلق فوق سطحه. هذه واقعة ملاحظة. وعن طريق تفسير نيوتن يتضح أن هذه الواقعة نتيجة لقانون رياضى، هو قانون الجاذبية، وبذلك ينتقل يقين القانون الرياضى إلى الظواهر الفيزيائية. فقوانين الطبيعة لها تركيب القوانين الرياضية وضرورتها وشمولها؛ تلك هى النتيجة التى يؤدى إليها علم فيزيائى يتنبأ بوجود كوكب بقدر من الدقة يكفى المرء معه أن يوجه منظاره نحوه لكى يراه[١١٢].

obeikan.com

١١

الحتمية فى الفيزياء الكلاسيكية

وهكذا بدا القانون الرياضى أداة للتنبؤ، لا أداة للتنظيم فحسب، واكتسب عالِم الفيزياء بفضله القدرة على التنبؤ بالمستقبل. وبدا التعميم البسيط الذى يتم فى الاستدلال الاستقرائى التعدادى أداة هزيلة إذا ما قورن بقدرة المنهج الفرضى الاستنباطى. فكيف يمكن تفسير هذه القدرة؟ لقد بدا الجواب واضحًا: فلابد أن يكون هناك نظام دقيق بين جميع الحوادث الفيزيائية، تعكسه العلاقات الرياضية، وهو نظام يعبر عنه لفظ السببية[١١٣]. ولو لم نكن نعرف هذا النظام فى كل الأحوال، ولو بدا أنه سيكون من المستحيل فى أى وقت معرفته معرفة كاملة، لكان هذا الإخفاق راجعًا إلى نقص الإنسان[١١٤]. ولقد عبر الرياضى الفرنسى لابلاس Laplace (١٧٤٩–١٨٢٧) عن ذلك فى تشبيهه المشهور الذى قال فيه:

> « إنه لو استطاع عقل ما أن يعلم فى لحظة معينة جميع القوى التى تحرك الطبيعة، وموقع كل كائن من الكائنات التى تتكون منها، ولو كان ذلك العقل من السعة بحيث يستطيع إخضاع هذه المعطيات للتحليل، لاستطاع أن يعبر بصيغة واحدة عن حركة أكبر أجسام الكون وعن حركات أخف الذرات وزنًا، ولكان علمه بكل شىء علمًا أكيدًا، ولأصبح المستقبل والماضى ماثلين أمام ناظريه كالحاضر تماما ».

هذه الحتمية الفيزيائية هى أعم نتيجة لفيزياء نيوتن[١١٥]. كما سبق أن ذكرنا فى موضع سابق.

والحتمية كما عرّفها كلود برنار Bernard (١٨١٣–١٨٧٨) هى أن نسلم تسليمًا بديهيًا بأن "شروط كل ظاهرة، سواء أكان ذلك فى الأجسام الحية أم فى الأجسام الجامدة، محددة تحديدًا مطلقًا". ومعنى هذا بعبارة أخرى أنه متى عُرِفَ شرط ظاهرة ما وتم تهيؤه، وجب أن تحدث الظاهرة دائمًا[١١٦].

ويرى كلود برنار ضرورة أن يؤمن العالِم إيمانًا راسخًا بالفكرة القائلة بأن

الظواهر تحكمها قوانين ثابتة. وإذا بدأ العالِم من هذا المبدأ القائل بأن ثمَّة قوانين ثابتة لا تتغير فقد اقتنع بأن الظواهر لا يمكن أن تتعارض أبدًا إذا هى لوحظت فى الظروف نفسها. ولسوف يعرف أن ما قد يبدو فيها من تغير منشأه تدخل ظروف أخرى، تحجب هذه الظواهر أو تعدلها. لأنه – وكما يقول كلود برنار – لا معلول بدون علة. وتصبح الحتمية المطلقة فى نظر برنار أساس العلم الحقيقى[١١٧]. وبالتالى فإن إنكار الحتمية هو إنكار للعلم نفسه.

كما يؤكد برنار على أن كلمة "استثناء" فى مجال العلم هى تعبير عن الجهل بشروط إحداث الظاهرة، فيقول: "إن ما نسميه الآن استثناءً ليس إلا ظاهرة نجهل بعض ظروفها. وإذا نحن عرفنا ظروف الظواهر التى نتحدث عنها وحددناها لم يعد ثمَّة استثناء"[١١٨]. هذه الحتمية المطلقة تجعل العالَم الطبيعى أشبه بساعة ملآنة تمر آلياً بمراحلها المختلفة[١١٩].

obeikan.com

١٢

أزمة الفيزياء الكلاسيكية

منذ أن نشر نيوتن كتابه "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" عام ١٦٨٧، مرت نظريته بتطورات تالية امتدت أكثر من قرنين من الزمان، وكانت كلها تنطوى على تأكيد متجدد لهذه النظرية[١٢٠]. مما أوحى بأن الفيزياء الكلاسيكية قد وصلت إلى مرحلة نهائية ليس لها ما بعدها، فقد بدا أن التركيب النهائى للضوء والمادة، وهما أعظم مظهرين للواقع الفيزيائى، أصبح معروفًا. فالضوء مركب من موجات والمادة من ذرات. وكان كل من يجرؤ على الشك فى هذين الأساسيين اللذين يقوم عليهما العلم الفيزيائى يُعَدّ دخيلاً على العلم أو شخصًا غريب الأطوار، ولم يكن أى عالِم يقبل أن يتجشم عناء مناقشته[١٢١].

وقرب نهاية القرن التاسع عشر ظهرت أزمة الفيزياء الكلاسيكية، وذلك عندما اصطدمت هذه الفيزياء بظواهر وعلاقات فى التجربة لا تتفق وصدقها النظرى، إذ أبت بعض الحقائق الدخول ضمن الأطر المرسومة لها فى ميكانيكا نيوتن. واتضح – تدريجيًا – أن هذه الأزمة تعنى سقوط فكرة التفسير الحتمى (التحديد المسبق) للعالَم، والمعروفة علميًا باسم الحتمية الميكانيكية[١٢٢] Mechanical Determinism والتى مؤداها أن كل مستقبل العالَم متضمن فى هيئته عند خلقه، وأن ما نسميه تطورًا ما هو إلا كشف عما هو موجود بالفعل[١٢٣].

كانت الفيزياء الكلاسيكية تفى بالغرض تماماً عندما كانت حدود الفيزياء لا تتعدى الميكانيكا فحسب[١٢٤]. غير أنه نتيجة للتقدم العلمى فى مجال الكهربائية والمغناطيسية، ظهرت أمام العلماء ظواهر جديدة بحاجة إلى تعليل، وكانت أقرب الافتراضات إليها ما يتصل بالتفسير الميكانيكى للكون، فقد افترض العلماء وجود وسط أطلقوا عليه اسم "الأثير" Ether تنتقل خلاله الموجات الكهرومغناطيسية[١٢٥]، وكان لهذا الأثير خصائص عجيبة تمامًا من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية

نفسها[١٢٦]، فهو مادة تملأ الكون وتتميز بكونها مرنة وصلبة[١٢٧]، وقد أجريت تجارب لمعرفة خصائص الأثير وحركته. وكان لتقدم الفيزياء الذرية ودراسة الظواهر الإشعاعية أن ظهرت صعوبات عديدة عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن إيجاد تعليل علمي لها. وأخذت التناقضات والصعوبات تظهر في الدراسات الفيزيائية على المستويين النظرى والتجريبى، وكان أهم التناقضات والمشكلات ما هو ناتج عن مبادئ وفروض تحتاج إلى تحقيق تجريبى[١٢٨]:

١- افترضت فيزياء نيوتن وجود مكان مطلق لتفسير حركة الأجسام استنادًا إلى هندسة إقليدية تنظر إلى المكان بوصفه ثلاثى الأبعاد. وتفترض وجود زمان مطلق مستقل عن الأجسام ينساب على نمط واحد لا علاقة له بالأشياء الخارجية.

٢- افترضت الفيزياء الكلاسيكية وجود وسط أثيرى ينقل الموجات الكهرومغناطيسية ويملأ ثنايا الكون. وقد أعدّ العالِمان ميكلسون Michelson (١٨٥٢-١٩٣١) ومورلى Morley (١٨٣٨-١٩٢٣) تجربة لقياس سرعة حركة الأرض فى الأثير.

٣- افترضت الفيزياء الكلاسيكية نظريتين لتفسير الظواهر الضوئية:

الأولى لنيوتن التى تفترض أن الضوء يسير فى خطوط مستقيمة ويتألف من جسيمات corpuscles تخضع لقوانين ميكانيكية.

والثانية لهويجنز Huygens (١٦٢٩-١٦٩٥) التى تفترض أن الضوء يتألف من موجات، وتُعْرَف بالنظرية الموجية للضوء. ولم تستطع نظرية نيوتن أو نظرية هويجنز تعليل الظواهر الكهروضوئية.

وعلى ذلك، اتضح أن القوانين الهامة للفيزياء الكلاسيكية لا تنطبق إلا على الظواهر التى تحدث فى بيئتنا العادية، أما بالنسبة للأبعاد الفلكية وما دون المجهرية، فقد كان لابد من الاستعاضة عن هذه القوانين الكلاسيكية بقوانين للفيزياء الحديثة. ويجدر بنا أن نشير هنا بوضوح إلى أن أزمة الفيزياء الكلاسيكية ليست إلا عجز منهجها وقوانينها عن استيعاب ظواهر طبيعية جديدة فى عالَم التجربة الخارجية، وأن قوانينها ما تزال صحيحة فى حدود ظواهر معينة. وهذا معناه أن الفيزياء الحديثة ليست استبعادًا لكل قوانين الفيزياء الكلاسيكية أو إهدارًا لقيم صدقها، وإنما يعنى - وبالدرجة الأولى - أن قوانين الفيزياء الحديثة امتدت إلى مجالات تفشل قوانين

الفيزياء الكلاسيكية فى خوض غمارها. إذن فالفيزياء الكلاسيكية لا تتضمن خطأ فى بنائها العلمى، وإنما الخطأ كل الخطأ يكمن فى محاولة تحديد التجربة الخارجية بحدود قوانين الفيزياء الكلاسيكية، وفى محاولة اتخاذ هذه الفيزياء أساسًا لنظرة شاملة للعالَم، ولتشييد فلسفة كونية عامة[١٢٩]. ذلك لأن هذه الفيزياء وقفت عند حدود ظواهر وعلاقات معينة ولم تتعدها.

obeikan.com

١٣

النظرية النسبية: الخاصة والعامة

اقتصرت الفيزياء الكلاسيكية – كما أوضحنا – على جانب معين من الظواهر، وعلى شكل معين من العلاقات، ولقد تحدد صدقها العلمى بحدود هذه الظواهر والعلاقات المعينة، وساهم ذلك فى اتساع المجال لظهور نظريتين جديدتين هما: نظرية النسبية ونظرية الكم (الكوانتم)، وتُعَد نظريتا النسبية والكم الأساس الفكرى لتطور علم الفيزياء الحديث[١٣٠]، ولنبدأ بنظرية النسبية.

طرح أينستين Einstein (١٨٧٩–١٩٥٥) بعد دراسته للتناقضات التى وقعت فيها الفيزياء الكلاسيكية فرضين أساسيين، هما[١٣١]:

الفرض الأول: الوسط الأثيرى فرض غير ضرورى، إذ ليس ثمَّة مبرر لوجوده.

الفرض الثانى: ينتشر الضوء بسرعة ثابتة فى الفضاء ولا تتأثر سرعته بحركة مصدره.

يتعلق الفرض الأول بالنتيجة السلبية التى وصلت إليها تجربة ميكلسون ومورلى فى قياس حركة الأرض استنادًا إلى الفرض القائل بوجود الأثير. وتتلخص الفكرة فى أن حركة الأرض تثير تيارًا أثيريًا، فإذا ما أطلقنا حزمة ضوئية فى اتجاه حركة الأرض وحزمة ضوئية أخرى فى عكس اتجاه حركتها، فإنه لابد من الحصول على فرق فى سرعة انتشار الضوء فى الحالتين، لأن سرعة الضوء مع التيار الأثيرى تكون أسرع من سرعة الضوء فى الاتجاه المعاكس. وقد صُمِمَت التجربة بدقة لتحقيق هذا الفرض باستخدام المرايا ومصدر ضوئى، وكانت النتيجة محيّرة إذ لم يسجل الجهاز أى فرق بين سرعتى الضوء فى الاتجاهين[١٣٢]. وواجه العلماء لتقرير النتيجة احتمالين، هما:

أولاً: إما أن يستبعد الفرض القائل بوجود الأثير والذى يستند إليه العلماء فى تفسير الظواهر الكهرومغناطيسية وغيرها.

ثانياً: أو أن يفترض العلماء سكون الأرض، وهو الأمر الذى يتعارض مع أبسط الحقائق الفلكية.

استبعد أينشتين الاحتمال الثانى معلنًا عدم ضرورة الأخذ بالفرض القائل بوجود الأثير. واستنتج بعض الحقائق الهامة من تجربة ميكلسون ومورلى، وهى أن سرعة الضوء ثابتة بالنسبة لحركة الأرض، وأنها لابد أن تكون ثابتة بالنسبة لحركات الكواكب أو أى جسم متحرك فى الكون. وهكذا وصل إلى فرضه الثانى وهو أن سرعة الضوء لا تتأثر بحركة مصدره(١٣٣). كما أن أينشتين اعتقد فى صحة المبدأ القائل بأنه: لا توجد سرعة أكبر من سرعة الضوء فى الطبيعة(١٣٤). وهكذا أصبح الضوء هو المرجع الثابت لقياس حركة الأجسام، وبالتالى فإن الكثير من المفاهيم الكلاسيكية؛ مثل مفهوم التزامن Simultaneity وغيره؛ تتغير إذا اتخذنا من الضوء أساسًا للقياس.

وضع أينشتين نظريته فى النسبية التى أحدثت ثورة فى مجال أفكارنا عن الزمان والمكان. إن فكرتى الزمان والمكان هما من الأفكار الأساسية التى تميز نظرية النسبية عن غيرها من النظريات الفيزيائية الأخرى، وكفلتا لها مكانًا بارزًا داخل نطاق الفلسفة الطبيعية الحديثة(١٣٥). لقد كان نيوتن يعتقد أنه يوجد – بالإضافة إلى وجود المادة – مكان مطلق وزمان مطلق(١٣٦)، وأن الزمان والمكان ليسا سوى وسيلتين لتحديد الحوادث، وأنهما مستقلتان تمامًا عن بعضهما، وبالتالى فهما يكونان حقيقة موضوعية واحدة بالنسبة للناس جميعًا(١٣٧). وعلى ذلك يمكن تحديد حوادث الطبيعة – وفقًا لفيزياء نيوتن – تحديدًا موضوعيًا، أى أن قياس كمية وكيفية هذه الحوادث سيظل ثابتًا مهما اختلفت طريقة القياس، وأن المكان ثلاثى الأبعاد(١٣٨) – كما سبق أن ذكرنا – ثم جاء أينشتين وأبطل هذا القول بافتراضه وحدة الزمان والمكان، وحطم بنظريته، فى النسبية، الزمان الواحد الذى يشمل الكون كله، والمكان الواحد الذى لا يطرأ عليه تغير أو زوال، فالنسبية تستبدل بالزمان والمكان المطلقين شيئًا واحدًا يمزج بينهما تسميه "الزمان – مكان"(١٣٩) Space - time.

لقد أصبح من الخطأ أن نتحدث عن الكون كله فنقول إنه يكون فى حالة معينة عند لحظة زمنية معينة، وفى حالة أخرى عند لحظة زمنية أخرى، كأنما اللحظة الزمنية

الواحدة تشمل الكون بأسره، أو كأنما الكون كله يتآنى معًا فى لحظة بعينها. لقد أوضحت نظرية النسبية فساد هذا القول، كما بيَّنت استحالة الحديث – إلا بصورة غامضة – عن المكان الكائن بين جسمين فى زمن معين[١٤٠]، لأننا إذا أخذنا الترتيب الزمنى لما يطرأ على الجسم الأول من أحداث، وكان لدينا بهذا ترتيب زمنى خاص بهذا الجسم وحده، وإذا أخذنا الترتيب الزمنى لما يطرأ على الجسم الثانى وحده من أحداث، كان لدينا بهذا أيضاً ترتيب زمنى خاص بالجسم الثانى وحده، وليس فى مقدورنا بعد ذلك أن نعرف العلاقة بين حدث وقع فى الجسم الأول وحدث وقع فى الجسم الثانى، من حيث زمن وقوعهما بنسبة أحدهما إلى الآخر، أهو قبله أم بعده أم أن الحدثين متآنيان؟ وهذا هو ما يجعل قانون الجاذبية النيوتنى غامضًا غموضًا استوجب مراجعته من جديد[١٤١]. إذ إن الزمان – وفقًا لنظرية النسبية – هو تسلسل حوادث استنادًا إلى مرجع، وأن تسلسل الحوادث ليس واحدًا عند جميع المراقبين، فهو يختلف باختلاف حركة المراقب أو المشاهد، وهذا معناه أن فكرة وجود زمن مطلق ينساب فى الكون كله تترتب بموجبه الحوادث فى المكان، هو فرض ميتافيزيقى لا أساس له من الصحة[١٤٢]. وكذلك نقول عن فكرة "المكان" وغموض معناها، فهل نُعِّد "القاهرة" مكانًا؟ إذا أجبنا بالإيجاب، كان الاعتراض هو أن الأرض تدور حول الشمس، وبهذا يتغير مكان القاهرة كلما تحركت الأرض فى مدارها، فهل نُعِّد الشمس مكانًا؟ لكنها تتحرك بالنسبة إلى النجوم، وهكذا نرى أن منتهى ما نستطيعه هو أن نتحدث عن مكان ما فى لحظة زمنية معينة[١٤٣]. ولهذا التغير أهميته العظمى، لأنه يغير فكرتنا عن العالَم الطبيعى من أساسها[١٤٤].

أوضح أينشتين فى نظريته عن النسبية الخاصة التى ظهرت عام ١٩٠٥ أنه توجد بين أية حادثة event وأخرى علاقة معينة، يمكن أن نسميها "فجوة" interval، وأن هذه الفجوة من الممكن أن تُقَسَّم بطرق عديدة إلى مسافات مكانية أو فترات زمنية، وأن هذه المسافات والفترات قابلة للقياس، وأن كل طريقة من طرق القياس هذه تُعَد صحيحة، ولا توجد واحدة – من هذه الطرق – أكثر صدقًا من الأخرى، ولذا فإن اختيار طريقة القياس يتم بحكم الاتفاق لا بحكم الحقيقة الموضوعية المطلقة. تمامًا كالاختيار بين النظام المترى ونظام البوصة والقدم[١٤٥]. وعلى ذلك فإن الفجوة التى تقع بين الحادثتين المتجاورتين هى شيء موضوعى، أى أن تقديرها الكمى أمر

مستطاع لأكثر من مشاهد واحد، فالجسم الواحد الذى ينتقل من إحدى حوادثه إلى حادثة تالية من حوادثه، يقطع بين الحادثتين فجوة زمنية يمكن قياسها بآلة قياس الزمن لو أن هذه الآلة أتيح لها أن تصاحب الجسم فى انتقاله من الحادثة السابقة إلى الحادثة اللاحقة، أما إذا كان الموقف بين الحادثتين مما يستحيل معه على آلة قياس الزمن أن تنتقل من إحداها إلى الأخرى، كان معنى ذلك أنهما حادثتان متآنيتان لا يفصلهما زمن بل تفصلهما مسافة من مكان[١٤٦].

وإذا أردنا أن نحدد موضع حادثة ما من العالَم، احتجنا فى هذا التحديد إلى أربعة أرقام، رقم منها يدل على الزمن، وأما الأرقام الثلاثة الأخرى فهى دالة على الأبعاد الثلاثة المكانية كما كانت تُحْسَب قديمًا[١٤٧]. وفى محاولة – من جانب ريشنباخ[١٤٨] – لتوضيح فكرة المتصل "الزمان – مكان" رباعى الأبعاد، يقول:

« إنه من الغريب أن هذه الفكرة التى تبدو بسيطة لعلماء الرياضة تثير دهشة الآخرين، وتسبب لهم ارتباكًا بالغًا. إن كثيرين ممن يقرأون كتبًا عن نظرية النسبية يعتقدون أن المكان سيتحول وفقًا لهذه النظرية من بناء ثلاثى الأبعاد إلى بناء رباعى الأبعاد. وسيحاول مثل هذا القارئ أن يتصور - عبثًا - البعد الرابع للمكان. وقد يحاول أن يبرهن على ذلك بالطريقة التالية: يتخيل ثلاث عصى من الخشب التقت معًا عند نقطة واحدة بزاوية قائمة، كطول وعرض وارتفاع الغرفة، إن هذه هى أبعاد ثلاثة للمكان، فهل هناك غرفة ذات بعد رابع؟ كيف يمكن مرور العصا الرابعة عبر النقطة بحيث تشكل هى أيضاً زاوية قائمة عند التقائها ببقية العصى؟ »

ويعلق ريشنباخ[١٤٩] على ذلك قائلاً:

"إننى أيضاً ليس فى وسعى تخيل ذلك!".

ويقول[١٥٠] مستدركًا:

« ولكن نظرية النسبية لم تزعم بشيء كهذا، وإنما هى تؤكد فقط على ضرورة إضافة « الزمان » - كتوقيت - إلى المكان. وهذا شيء مختلف تماماً عن التخيل السابق ».

ويوضح ريشنباخ[١٥١] هذا التصور الجديد على النحو التالى:

« هب أن هناك مصباحًا معلقًا فى الغرفة، كيف نستطيع تحديد مكانه؟ نحن نحتاج لثلاثة أرقام لتعيين موضع المصباح: نقيس بعد المصباح عن أرضية الغرفة، ونقيس بعده عن الحائط الخلفى، ثم نقيس بعده عن الحائط الجانبى. هذه أرقام ثلاثة تحدد موضع المصباح فى المكان. والأرقام الثلاثة تسمى إحداثيات Co-ordinates إن الغرفة ذات أبعاد ثلاثة، لأننا نحتاج لثلاثة أرقام تعبيرًا عن هذا الوصف. أما إذا كانت رغبتنا متجهة لا لتحديد موضع فى مكان، بل لتعيين حادثة من الحوادث، فهذا يتطلب حسابًا آخر، أى يتطلب بيان الزمن. هب أننا أطفأنا الأنوار لمدة ثانية واحدة، وأحدثنا ومضة ضوء، هذه الومضة هى حادثة event، ويمكننا تحديد هذه الومضة تحديدًا دقيقًا إذا عرفنا الأرقام الثلاثة التى تعين موضع المصباح مضافًا إليها الرقم الرابع الذى يحدد زمن ومضة الضوء. وبتوافر الأرقام الأربعة ينشأ ما يسمى بمتصل **الزمان ـ مكان** رباعى الأبعاد ».

ويعلق ريشنباخ[١٥٢] على ذلك قائلاً:

« هذه كل ما هنالك، ولسوء الحظ فإن هذه الحالة البسيطة غالبًا ما يتم تصويرها فى لغة ملغزة للغاية ».

يقول أينشتين: إن غير المتخصصين فى الرياضيات يكتنفهم الغموض عندما يسمعون عن الأبعاد الأربعة ويعتقدون أن فى ذلك ضربًا من الخيال. وعلى الرغم من ذلك فإن القول بأن العالَم الذى نعيش فيه هو عبارة عن عالَم متصل له أربعة أبعاد هو قول واضح وصريح. وهذا معناه أن أينشتين يرى فى المتصل الرباعى حقيقة موضوعية، وأن الرياضيات تستطيع بوسائلها تحديد هذا المتصل بدقة[١٥٣]. إن نظرية النسبية توضح أن مقياس المكان يعتمد على مقياس الزمن، فلا يوجد مكان منفصل ومستقل عن الزمان، ولا يوجد زمان منفصل ومستقل عن المكان، ومن المؤكد أن هذا شيء جديد وعميق إلى أقصى غايات الجدَّة والعمق[١٥٤]، إذ أدى – كما سبق أن ذكرنا – إلى تغيير فكرتنا عن العالَم الطبيعى من أساسها.

تناول أينشتين متصل "الزمان – مكان" من جديد فى النظرية النسبية العامة التى نُشِرَت عام ١٩١٥، وذلك على أساس أن الكون تصفه هندسة لا إقليدية هى هندسة المنحنيات لا المستقيمات[١٥٥]. فلقد أضافت نظرية النسبية العامة إلى جانب مراجعة مفهوم الزمان، مراجعة خواص المكان الهندسى[١٥٦]. إذ كانت هذه النظرية فى الأساس نظرية هندسية فى الجاذبية[١٥٧]، لقد أوضحت نظرية النسبية العامة أن هناك علاقة بين الهندسة، وتوزيع المادة فى المكان[١٥٨] – وعلى أية حال فهذه المسألة عولجت بمزيد من التفصيل فى الفصل التالى من هذا البحث – ويجب أن يُفْهَم، وفقًا لنظرية النسبية العامة، أن الكون محدد ولا نهاية له فهو على شكل مسطح الكرة[١٥٩]، ولكنه يختلف عن سطح الكرة من حيث إنه ثلاثى البعاد فى حين أن سطح الكرة ثنائى الأبعاد، كما أنه لا وجود لشىء خارجه فى حين أن سطح الكرة يوجد ما هو خارجه. وعلينا أن نقر بأنه من العسير إن لم يكن من المستحيل على كل من له خيال إقليدى راسخ أن يستوعب حقيقة تركيب الكون كما تقول به نظرية النسبية العامة[١٦٠]. والجدير بالذكر أن نظرية النسبية العامة لا ترتكز على قاعدة تجريبية راسخة مثل نظرية النسبية الخاصة – بالرغم من عدم وجود أية تجربة تعارضها – أما قوة إقناعها فلا ترجع إلى تفسيرها للكثير من نتائج التجارب، التى لا يمكن تقييمها فى الوقت الراهن، وإنما ترجع إلى كونها طريقة جديدة فى التفكير، كانت فيما مضى محجوبة عن الأنظار[١٦١].

وأخيراً توصل أينشتين إلى نتيجة هامة هى قانون تكافؤ الجاذبية والقصور الذاتى الذى يتلخص فى أنه لا سبيل إلى التمييز بين الحركة الناتجة عن القصور الذاتى والحركة الناتجة عن قوة الجاذبية.

إضافة إلى ما تقدم ذكره، توصل أينشتين فى نظريته النسبية الخاصة والعامة إلى نتائج علمية هامة، وهذه النتائج هى[١٦٢]:

١– إن سرعة الضوء هى السرعة القصوى فى الطبيعة.

٢– إن بين الطاقة والكتلة علاقة هى أن الطاقة تساوى الكتلة × مربع سرعة الضوء. فالطاقة ليست إلا مادة ذات سرعة عالية جدًا، والكتلة ليست إلا طاقة متمركزة ذات سرعة بطيئة. فالمادة طاقة والطاقة مادة، وإحداهما حالة وقتية للأخرى.

٣- إن الساعة لقياس الزمن والمسطرة لقياس الأطوال تتغير بتغير السرعة. فالساعة تؤخر كلما زادت السرعة، والمسطرة تتكمش ويقل طولها باتجاه حركتها.

٤- إن كتلة الجسم تزداد بازدياد السرعة، وذلك على أساس أن الكتلة هى الخاصية المقاومة للحركة وليست الثقل.

مرة أخرى ننهى عرضنا لنظرية النسبية بالكلمات التى سبق أن ذكرناها فى مستهل هذا الفصل، وهى أن نظرية النسبية لأينشتين انتقلت بنا إلى معرفة من نوع أرقى، قد تكون مبهمة عند الوهلة الأولى. ولكن، وكما تم التسليم – فى نهاية الأمر – بتصور كوبرنيقوس القائل بدوران الأرض حول الشمس، وأصبح التسليم بهذا التصور صفة مميزة لكل إنسان مثقف؛ فإنه سيحدث الشىء نفسه لنظرية النسبية. فبعد انقضاء مائة عام من الآن سوف يتم التسليم بها كبديهية، وسيكون من الصعب تبرير ما لاقته من معارضة شديدة فى أول أمرها.

obeikan.com

١٤

اللاتحديد فى الفيزياء الحديثة

ذكرنا أن نظرية النسبية وميكانيكا الكم تمثلان الأساس الفكرى لتطور علم الفيزياء الحديث، وإذا كنا قد فرغنا من عرض نظرية النسبية، فقد آن لنا أن نتحدث بإيجاز عن تطور ميكانيكا الكم وما ترتب عليه من نتائج فلسفية.

تهتم ميكانيكا الكم – على عكس نظرية النسبية – بأصغر الأشياء التى يمكن إدراكها، أى بالذرة وبنيتها[١٦٣]. ويحدد المؤرخون العلميون ميلاد ميكانيكا الكم بيوم ١٧ من ديسمبر عام ١٩٠٠. ففى هذا اليوم أعلن العالِم الألمانى ماكس بلانك M.Planck, (١٨٥٨–١٩٤٧) فى جلسة الجمعية الفيزيائية التابعة لأكاديمية العلوم فى برلين عن محاولته تخطى واحدة من أبرز الصعاب فى نظرية الإشعاع الحرارى[١٦٤]. لقد كانت هذه المحاولة أوضح الأمثلة تعبيرًا عن التغير الجذرى الذى طرأ على فهمنا للواقع الفيزيائى فى القرن العشرين. فلكى يفسر بلانك القوانين التى تم الاهتداء إليها تجريبيًا بالنسبة إلى صدور الإشعاع عن الجسام الساخنة، استحدث الفكرة القائلة إن كل إشعاع – وضمنه الضوء – يخضع لتحكم أعداد صحيحة، أى أنه يسير تبعًا لأعداد صحيحة لوحدة أولية للطاقة[١٦٥]، أطلق عليها اسم "الكم (الكوانتم) Quantum"[*]،

(*) يناقش ف. ريدنيك فى كتابه "ما هى ميكانيكا الكم؟" تسمية هذه النظرية – التى بدأت على يد ماكس بلانك – بهذا الاسم، فيقول: "إن هذه التسمية (ميكانيكا الكم) لا تعكس جيدًا محتوى الأشياء التى تتناولها ميكانيكا الكم بالبحث. ولكن لابد من الاعتراف بأن عدم الدقة فى وضع المصطلحات صفة تميز أكثر من فرع فى علم الفيزياء. وهناك أسباب كثيرة لذلك ذات طابع تاريخى فى الأساس. وعلى سبيل المثال، تكفينا الإشارة إلى الاختلاف الكبير فى تسمية (القوى). فغالبيتها لا تملك أية علاقة أبدًا بالقوة بمعناها الخاص. وهناك مثال قوة الحصان (وهى ليست قوة بل قدرة!)، وهناك (القوة الحية) وهى طاقة كينماتيكية، وهناك قوة التيار، وقوة الضوء أى شدته... ويتخلص علم الفيزياء من هذا الغموض فى المصطلحات تدريجيًا. ومع ذلك فإن هذه العملية تجرى بصورة بطيئة جدًا. =

= وقد حدث الشيء نفسه لدى إطلاق تسمية (ميكانيكا الكم) فأولاً، لِمَ هى ميكانيكا؟ فليس فى النظرية الجديدة أى شيء ميكانيكى، بل ... من المستحيل وجود ذلك. والتبرير الوحيد للأمر

وحيثما تتبعث الطاقة أو تستوعب، ينقل كوانتم واحد أو اثنان أو مائة كوانتم. ولكن لا يكون هناك أبدًا جزء أو كسر من الكوانتم. فالكوانتم هو ذرة طاقة، ولكن مع ملاحظة أن حجم هذه الذرة، أى كمية وحدة الطاقة تتوقف على طول موجة الإشعاع الذى يُنْقَل به الكوانتم، فكلما كان طول الموجة أقصر، كانت الكوانتم أكبر.

واستطاع ماكس بلانك أن يحصل على الثابت الطبيعى الذى اقترن باسمه، وأدرك أهميته الفيزيائية وما ينتج عنه من تقهقر لمبدأ الاستمرارية المعروف فى الفيزياء الكلاسيكية، ونجح فى وضع معادلة رياضية تتفق مع النتائج التجريبية لظاهرة الإشعاع الحرارى، وتتميز هذه المعادلة بالبساطة حيث تبيِّن علاقة الطاقة بتردد موجة الإشعاع. وهى أن الطاقة = ثابت بلانك × تردد موجة الإشعاع، مع العلم أن ثابت بلانك يساوى مقدارًا ضئيلاً يبلغ نحو ٦.٥٥ × ١٠-٢٧.

وفى سنة ١٩٠٥ قام أينشتين باستخدام نتائج نظرية الكم بتطبيقها على الضوء، وقد أظهرت أبحاثه والقوانين التى توصل إليها أن الضوء والحرارة والأشعة السينية تنتشر فى الفضاء بنفس الطريقة التى تنبعث بها الطاقة المشعة فى تجربة ماكس بلانك. وتوسع أينشتين فى النظرية عندما استطاع تفسير الظاهرة الكهروضوئية والتى تتلخص فى أن الأشعة الضوئية لها تأثير على لوح من معدن الزنك وذلك بإطلاق عدد من

هو أن لفظة (الميكانيكا) تُسْتَخدم هنا بمعناها العام. فعندما نقول، مثلاً، (التركيب الميكانيكى لهذه الساعة جيد)... فإننا نقصد بذلك التركيب أو مبدأ العمل. ومن المفضل أخذ مفهوم ميكانيكا الكم انطلاقًا من التحديد الواسع لعلم الفيزياء نفسه.

وثانيًا، لماذا – ميكانيكا الكم؟ إن لفظة الكم، وهى باللغة اللاتينية (كوانتم – Quantum) تعنى (وجبة) أو (كمية). والعلم الجديد... هو فى الواقع يؤكد فى أحد أسسه على صفات (الكمية) فى العالَم لمحيط بنا. صحيح أننا نفضل الحديث لا عن (كمية) هذه الصفات بل عن (تقطعها) discreteness، ومن الناحية الأخرى... فإن هذا التقطع ليس ظاهرة عامة مطلقاً، ولا يحدث دائمًا أو فى أى مكان. وبالإضافة إلى ذلك فإنها تمثل جانبًا واحدًا من المسألة. فمما لا يقل غرابة عن ذلك ازدواج صفات المادة. ويظهر هذا الازدواج فى الاتحاد الخالد لصفات الجسيمات وصفات الموجات فى مادة واحدة.

وقد جرى تصحيح تسمية هذا العلم إلى ميكانيكا الموجات. ولكن فى هذه التسمية أيضًا ينعكس (نصف) محتوى هذا العلم أيضاً، فليس فيها أى ذكر للكمات. وهكذا فإن جميع تسميات هذه النظرية الجديدة لا تفى بالغرض" ص ص ١٨–١. ورغم هذا الاختلاف حول تسميات هذه النظرية، فإن ما يهمنا هو المحتوى العلمى الجديد الذى تقول به ونتائجه الفلسفية، وهذا ما سنعرض له.

الإلكترونات منه، وأن سرعة الإلكترونات تختلف باختلاف طول موجة الضوء الساقط على اللوح المعدنى، فأعتبر أينشتين أن الضوء يتألف من حزم منفصلة من الطاقة هى "الفوتونات" photons، وأن سرعة الإلكترونات تتوقف على كمية الطاقة المخزونة فى الفوتون، فإذا كانت موجة الضوء ذات تردد عال مثل الأشعة فوق البنفسجية، فإنها تختزن طاقة أكبر من طاقة فوتونات الأشعة دون الحمراء مثلاً. وعلى هذا الأساس تكون كمية الإشعاع تبعًا لنظرية أينشتين فى الظاهرة الكهروضوئية هى ثابت بلانك مضروبًا فى تردد الإشعاع. فإذا كان التردد عاليًا كانت طاقة الإشعاع أكبر بغض النظر عن شدة الضوء أو ضعفه[١٦٦].

ولقد كان أهم تطبيق لنظرية الكم هو نظرية الذرة عند نيلز بور Bohr (١٨٨٥–١٩٦٢)، ففى هذه النظرية توحد أخيرًا اتجاها التطور[١٦٧]، أى اتجاه نظرية الذرة واتجاه نظرية الإشعاع. ذلك لأن دراسة الذرة كانت قد أوضحت أن الذرة ذاتها ينبغى أن تُعَد مجموعة من الجزئيات الأصغر منها، التى تتماسك مع ذلك بقوة تجعل الذرة تسلك، بالنسبة إلى جميع التفاعلات الكيميائية كوحدة ثابتة نسبيًا، أتاحت نظرية "بور" تفسيرًا على أعظم جانب من الدقة لوقائع القياس الطيفى spectroscopy أى لسلسلة الخطوط الطيفية التى تميز كل عنصر. وفى السنوات الواقعة بين ١٩١٣ و١٩٢٥ طُبِقَت نظرية بور وتأيدَّت على نطاق واسع، كما عُمِقَت بحيث تقدم تفسيرًا للتركيب الذرى لكل عنصر على حدة. ومع ذلك ظهرت فى مجالات أخرى تعقيدات غير قابلة للتفسير. ذلك لأن نفس الأسس التى يرتكز عليها مفهوم الكوانتم بدت غير متمشية مع النظرية الكلاسيكية فى توليد الموجات الكهربائية، ومع ظاهرة التداخل، والمعروفة فى مجال علم الضوء. وهكذا كانت النظرية الجديدة تهدد اتساق الفيزياء بالخطر: فقد كان بعض الظواهر يتقضى تفسيرًا جسيميًا للضوء، وبعضها الآخر يقتضى تفسيرًا تموجيًا، وبدا أنه لا توجد وسيلة للتوفيق بين النظريتين المتناقضتين[١٦٨].

كانت نقطة التحول فى تطور نظريات الضوء والمادة هى الخطوة التى خطاها العالِم الفرنسى لوى برولييى Louis De Broglie (١٨٩٢–١٩٨٧) بنجاح فقد تبين له عام ١٩٢٤ أن الخاصية الثنائية الغريبة التى تضفى على الضوء الصورة الموجية أحيانًا وتصوره كمجموعة من الجسيمات فى أحيان أخرى لم تكن خاصية للضوء فحسب بل هى خاصية للمادة أيضًا[١٦٩]، ولقد أدى هذا الاكتشاف فى النهاية إلى

وضع علم الميكاميكا الموجية أو الكمية التى يمكن أن يقال عنها أنها أكملت نظرية التركيب الخارجى للذرة. وهكذا حل محل "أما... وأما..."، فكرة "معا" ومن ثم فإن كشف دى برولىى يمثل بداية عهد التفسير المزدوج، الذى تأكد منذ ذلك الحين بوصفه نتيجة محتومة للطبيعة التركيبية للمادة(١٧٠).

وقد أخذ شرودنجر Schrodinger (١٨٨٧-١٩٦١)بآراء دى برولىى، ووضع معادلة تفاضلية أصبحت هى الأساس الرياضى للنظرية الحديثة فى الكم، وهى النظرية التى يُطْلَق عليها عادةً ميكانيكا الكوانتم. وتتفق نظريته الرياضية مع بعض النظريات الأخرى التى بدت لأول وهلة مختلفة عنها كل الاختلاف، والتى وضعها على نحو مستقل هايزنبرج Heisenberg وماكس بورن Max Born وجوردان Jordan من جانب، وديراك Dirac من جانب آخر. وقد تم الاهتداء إلى هذه الكشوف جميعًا فى عامى ١٩٢٥-١٩٢٦(١٧١). ومع تطور نظرية الكم تعرضت مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وعلم المناهج المرتبط بها لتغييرات جذرية أدت فى النهاية إلى رسم صورة جديدة لطبيعة العالَم الخارجى والقوانين التى تسلك الإلكترونات بمقتضاها. وكانت النتائج الفلسفية المترتبة على هذه التغييرات كبيرة للغاية سواء فى حقل المنطق أم نظرية المعرفة أم مناهج البحث العلمى، كما برزت مشكلات جديدة وأسئلة تتناول الطبيعة الحقيقية للكون وإمكانية الإنسان بما يملك من معدات ذاتية وأجهزة علمية فى معرفة ما يجرى حوله فى الكون بدقة(١٧٢).

وفى مواجهة صعوبة القول إن المادة تتألف من موجات وجزئيات فى آن واحد، أقترح "ماكس بورن" الفكرة القائلة إن الموجات لا تكون أى شىء مادى على الإطلاق، وإنما تمثل احتمالات. وأدى تفسيره هذا إلى حدوث تحول غير منتظر فى مشكلة الذرة: فقد افترض أن الكيانات الأولية جزئيات لا تتحكم فى سلوكها قوانين سببية، وإنما قوانين احتمالية من نوع مشابه للموجات فيما يتعلق بتركيبها الرياضى. وفى هذا التفسير لا تكون للموجات حقيقة الموضوعات المادية، بل تكون لها حقيقة المقادير الرياضية فحسب(١٧٣).

وقد واصل هايزنبرج السير فى هذا الطريق، فبيَّن أن هناك قدرًا معينًا من اللاتحديد فيما يتعلق بالتنبؤ بمسار الجزئ، مما يجعل من المستحيل التنبؤ بهذا

المسار بدقة، وهى نتيجة صاغها فى مبدئه المعروف بمبدأ اللاحتمية principle of indeterminacy والذى صاغه هايزنبرج على النحو التالى:

« من المستحيل أن نعرف بدقة تامة فى وقت واحد كلا العاملين الهامين ـ المكان والسرعة ـ اللذين يعينان حركة أحد الجسيمات الصغيرة جدًا، فمن المستحيل تعيين كل من مكان الجسيم واتجاهه وسرعته معًا تعيينًا دقيقًا، ولو حددنا مكانه بالضبط عند أية لحظة بتجربة ما فإن حركته سوف تضطرب بهذه التجربة ذاتها إلى درجة لا يمكننا أن نجد الجسيم مطلقًا. والعكس، إذا أمكننا قياس السرعة قياسًا مضبوطًا فإن صورة الجسيم تنطمس كليًة »[١٧٤].

وبفضل كشوف بورن وهايزنبرج اتُخِذَت الخطوة الأولى التى أدت إلى الانتقال من تفسير سببى للعالَم الأصغر إلى تفسير إحصائى له، فأصبح من المعترف به أن الحادث الذرى المنفرد لا يتحدد بقانون سببى، بل يخضع لقانون احتمالى فحسب، واستعيض عن فكرة "إذا كان... إذن..." التى عرفتها الفيزياء الكلاسيكية، بفكرة "إذا كان... فإن... فى نسبة مئوية معينة"[١٧٥].

وأخيرًا جمع بور Bohr بين نتائج بورن ونتائج هايزنبرج، فوضع مبدأ التكامل Principle of complementarity وهو المبدأ القائل إن تفسير بورن لا يقدم إلينا إلاَّ وجهًا واحدًا للمشكلة، ومن الممكن أيضاً أن ننظر إلى الموجات على أنها ذات حقيقة فيزيائية، وهو رأى لا يكون فيه للجزئيات وجود، ولا سبيل إلى التمييز بين هذين التفسيرين، لأن اللاتحديد كما يقول به هايزنبرج يجعل من المستحيل القيام بأية تجربة فاصلة، أى أنه يؤدى إلى استبعاد التجارب التى تبلغ من الدقة حدًا يكفى لتحديد أى التفسيرين هو الصحيح وأيهما الباطل[١٧٦]. والجدير بالإشارة أن غياب هذا التحديد الحاسم ليس نتيجة لقصور أو نقص فى النظرية، وإنما هو خاصية من خواص عالَم الذرة[١٧٧]. فالقوانين التى كان يظن أنها تحكم كل ذرة على حدة، أصبحت اليوم نتيجة إحصاءات ومتوسطات تتدخل فيها قوانين الاحتمال[١٧٨].

وتوضيحًا لذلك نقول إن عالَم الذرة يتضمن ما يمكن ملاحظته وما لا يمكن ملاحظته. فما يمكن ملاحظته هو الصدمات بين جزيئين، أو بين جزئ وشعاع

ضوئى، إذ إن الفيزيائى قد استحدث أدوات عظيمة الدقة توضح كل صدمة منفردة. أما ما لا يمكن ملاحظته فهو ما يحدث خلال الفترة الواقعة بين صدمتين، أو فى الطريق من مصدر الإشعاع إلى الصدمة. وإذن فهذه الحوادث هى الموضوعات التى لا تُلاحظ فى عالَم "الكوانتم". ولكن لِمَ كان من المستحيل ملاحظتها؟ ولَم لم يكن فى استطاعتنا أن نستخدم نوعًا أدق من المجهر (الميكروسكوب)، ونرقب الجزئيات فى مسارها؟ إن المشكلة هى أن من الضرورى، لكى نرى جزيئاً، أن نضيئه. وإضاءة جزئ يختلف كل الاختلاف عن إضاءة بيت،[١٧٩] أو عن إضاءة كرة تنس، فمثلاً كرة التنس تحتل فى كل لحظة مكانًا معيناً فى مسارها، ولها فى هذه اللحظة سرعة محددة، فمن الممكن قياس المكان والسرعة معًا، فى كل لحظة، بأدوات مناسبة. أما بالنسبة إلى الجزئيات الصغيرة من الذرة، فإن التغير الذى يحدثه الملاحظ يجعل من المستحيل، كما بيَّن هايزنبرج، قياس القيمتين معًا فى الوقت نفسه.

إن فى استطاعتنا أن نقيس موقع الجزئ أو سرعته، ولكننا لا نستطيع قياسهما معًا، ذلك لأن الشعاع الضوئى عندما يقع على جزئ يخرج به عن طريقه، وإذن فما نلاحظه **صدمة**، وليس جزيئًا يسير فى طريقه المألوف دون أن يعترضه شىء[١٨٠]. ونستطيع أن ندرك ذلك إذا تخيلنا أننا نريد مراقبة كرة بلياردو تتدحرج فى مسارها فى قاعة مظلمة، ولكننا عندما نضىء النور، ويسقط النور على الكرة، فإنه يدفع الكرة بعيدًا عن طريقها. فأين كانت الكرة قبل أن نضىء النور؟ هذا أمر لا يمكننا أن نحدده. ولكن لحسن الحظ أن هذا المثل لا ينطبق على كرات البلياردو، فهى من الكبر بحيث أن اصطدام الشعاع الضوئى بها لا يُحْدِث فى مسارها أى تغير ملحوظ. أما فى حالة الإلكترونات وغيرها من مكونات الذرة فإن الأمر يختلف. فعندما نلاحظها، يكون علينا أن نغير مسارها، وبالتالى لا يكون فى وسعنا أن نعرف ما الذى كانت تفعله قبل الملاحظة[١٨١]، فمن المستحيل فى الفيزياء الذرية أن نهمل التغيرات التى تسببها عملية الملاحظة على الشىء الذى نفحصه[١٨٢]. تلك هى النتيجة التى يؤدى إليها مبدأ اللاتحديد عند هايزنبرج.

وهنا قد يتساءل المرء عما إذا كانت توجد طرق أخرى لتحديد المقدار غير المقيس، أعنى طرقًا نربط بها، على نحو غير مباشر، بين المقدار غير المقيس وبين المقادير الملاحظة. وهذا يكون ممكننا بالفعل إذا أمكننا أن نفترض أن المقادير غير

الملاحظة تسير تبعًا لنفس قوانين المقادير الملاحظة، غير أن تحليل ميكانيكا الكوانتم قد أدى إلى إجابة سلبية عن هذا السؤال. فالموضوعات غير الملاحظة لا تخضع لنفس القوانين التى تخضع لها الموضوعات الملاحظة من حيث إنه ينشأ بينهما فارق نوعى فيما يتعلق بالسببية. فالعلاقات التى تتحكم فى الموضوعات غير الملاحظة تخالف مصادرات السببية، وهى تؤدى إلى انحرافات فى مجال السببية[١٨٣]، وهذه النتيجة لا تشكل فشلاً فى مجال علم الفيزياء، وإنما تكشف عن خاصية موضوعية لبعض الظواهر الطبيعية[١٨٤].

إن فشل التفسير الميكانيكى للعالَم أدى إلى انهيار كل معرفة تزعم بأن معرفتنا بالعالَم الخارجى هى معرفة صادقة صدقًا ضرورياً ومطلقًا، ويمكننا أن نعبر عن ذلك بكلمات أخرى، فنقول: أدى تطور العلوم الفيزيائية إلى انهيار الأساس العلمى لكل معرفة تركيبية قبلية، وأوضح أن القوانين العلمية هى قوانين تجريبية احتمالية، وليست قوانين ضرورية يفرضها علينا العقل ذاته، وهذا ما سنفرد له الفصل التالى.

المراجع

obeikan.com

(١) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، القاهرة، ١٩٧٩، ص ٨.

(٢) المرجع السابق، ص ٥.

(٣) المرجع السبق، ص ص ٥ – ٦.

(٤) المرجع السابق، ص ٦.

(٥) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٦) المرجع السابق. ص٧.

(٧) المرجع السابق، ص٨.

(٨) المرجع السابق، ص٧.

(٩) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(10) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 122.

(١١) د. عبد الله العمر، ظاهرة العلم الحديث، دراسة تحليلية وتاريخية، الكويت، سلسلة عالم المعرفة، العدد ٦٩، ١٩٨٣، ص ٨٥.

(١٢) المرجع السابق، ص ٨٦.

(١٣) المرجع السابق، ص ٢٨٦.

(١٤) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٥) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص٧.

(١٦) د. فؤاد زكريا، التفكير العلمى، الكويت، سلسلة عالم المعرفة، العدد ٣، ١٩٧٨، ص ١٥١.

(١٧) د. عبد الله العمر، ظاهرة العلم الحديث – دراسة تحليلية وتاريخية، ص ١٧–٨.

(١٨) بوانكاريه (هنرى)، قيمة العلم، ترجمة الميلودى شغموم، بيروت، دار التنوير، الطبعة الأولى، ١٩٨٢، ص٩.

(١٩) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٤٠.

(٢٠) المرجع السابق.

(٢١) المرجع السابق، ص٧.

(٢٢) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٧.

(23) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 14.

(٢٤) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٦٠.

(٢٥) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص ٧.

(٢٦) المرجع السابق، ص ٦٠.

(٢٧) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٢٨) المرجع السابق، ص ٦١.

(٢٩) المرجع السابق، ص ٦٢.

obeikan.com

(٣٠) د. فؤاد زكريا، التفكير العلمى، ص ٨٨.

(٣١) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص ٨.

(٣٢) المرجع السابق، ص ٦١–٦٢.

(٣٣) د. توفيق الطويل، أسس الفلسفة، القاهرة، دار النهضة العربية، ١٩٧٦، ص١٧٩.

(٣٤) د. زكى نجيب محمود، المنطق الوضعى، جـ٢، القاهرة، مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٨٠، ص١٥٠.

(٣٥) د. فؤاد زكريا، التفكير العلمى، ص ١٤٥.

(٣٦) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٣٧) المرجع السابق، ص ص ١٤٥ – ٦.

(٣٨) المرجع السابق، ص١٤٩.

(٣٩) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٤٠) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص ٦٠.

(٤١) المرجع السابق، ص ٦٥.

(٤٢) المرجع السابق، ص ٧١.

(٤٣) د. نازلى إسماعيل حسين، النقد فى عصر التنوير – كانط، ص ١٣.

(٤٤) د. عبد الله العمر، ظاهرة العلم الحديث – دراسة تحليلية وتاريخية، ص٣٩.

(٤٥) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٤٦) وولف (أ .)، عرض تاريخى للفلسفة والعلم، ترجمة محمد عبد الواحد خلاف، القاهرة، لجنة التأليف والترجمة والنشر، ١٩٤٤، ص ٤٣.

(47) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 13.

(48) R. Karl, Popper Conjectures and Refutations: the Growth of Scientifi knowledge London Routledge and Kegan Paul, Ion 1969, P. 182.

(٤٩) جينز (جيمس)، الفيزياء والفلسفة، ترجمة جعفر رجب، القاهرة، دار المعارف، ١٩٨١، ص ١٣.

(٥٠) وولف، عرض تاريخى للفلسفة والعلم، ترجمة محمد عبد الواحد خلاف، ص ٤٣.

(51) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 13.

(52) Ibid., P. 13.

(٥٣) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص٧.

(54) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 15.

وأيضًا: ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص٩٣.

(55) Ibid., P. 15.

(56) Ibid., P. 15.

obeikan.com

(57) Ibid., P. 16.

(58) Ibid., P. 16.

(59) Ibid., P. 16.

وأيضًا: ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٣.

(60) Ibid., P. 17.

(٦١) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٣.

(٦٢) المرجع السابق، الموضع نفسه.

وأيضًا: بول موى، المنطق وفلسفة العلوم، ترجمة د. فؤاد زكريا، القاهرة، دار نهضة مصر، ص ٧٤.

وأيضًا: L. Hull, History & Philosophy of Science, P. 75. نقلاً عن: د. محمود فهمى زيدان، الاستقراء والمنهج العلمى، القاهرة، دار الجامعات المصرية، ١٩٧٧، ص ١٥١.

(٦٣) يرى البيير ريفوه فى كتابه: تاريخ الفلسفة، جـ٣، أن مؤرخى الفلسفة قد اصطلحوا على تسميته بـ"جاسندى" نسبةً إلى الأصل اللاتينى "جاسندوس". ولقد كان جاسندى، يمثل قبل ديكارت الفلسفة الحديثة فى فرنسا. اهتم بدراسة أبيقور، ويعتبر كتابه عن "حياة ومؤلفات أبيقور" من أهم الكتب التى صدرت عن هذا الفيلسوف، وعلى الرغم من ميول جاسندى الكاثوليكية الدينية، فإنه كان يناصر آراء أبيقور فى الطبيعة والأخلاق، كما ساند آراء كوبرنيقوس التى حاربتها الكنيسة، ومما يُذْكَر أيضًا، أنه كان صديقًا لجاليليو مدافعًا عن نظرياته. وكان جاسندى مثل بيكون، معارضًا لأرسطو، لم يقبل نظرياته المنطقية، ولم يجد فيها ما يؤيد العلم الحديث، وعلى الرغم من إطلاعه على كبلر وكوبرنيقوس فإنه وجد فى الأبيقورية، وفى نظريتها الذرية عن العالَم، وفى تفسيرها الطبيعى للكون، حقائق بديهية لا يمكن الشك فيها.

(د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص ٧٥).

(٦٤) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٣.

(٦٥) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(66) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 18.

وأيضًا: ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٦.

(٦٧) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، ص٧٢.

(٦٨) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٦٩) بول موى، المنطق وفلسفة العلوم، ص ٥٤.

(٧٠) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(٧١) أ. وولف، عرض تاريخى للفلسفة والعلم، ص ٤٧.

(٧٢) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(73) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 22.

(74) Ibid, P. 22.

(75) B. Russell, Human Knowledge, London, George Allen and Unwin Ltd., 1976, P. 29.

(76) Ibid., P. 29.

(77) Ibid., P. 29.

(78) Ibid., P. 29.

(79) Ibid., P. 29.

(80) Ibid., PP. 29_30.

(81) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 24.

(82) B. Russell, Human Knowledge, P. 29.

(83) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 24.

(٨٤) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٥.

(٨٥) لانداو ورومر، ما هى نظرية النسبية؟ موسكو، دار "مير" ١٩٧٤ ص ٢١.

(86) B. Russell, Human Knowledge, P. P. 30.

(87) Ibid., P. 30.

(88) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 24.

(٨٩) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٥.

(90) W. Kneale, Probability and Induction, London, 1949, P. 99.

(٩١) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٧.

(92) W. Kneale, Probability and Induction, P. 99.

(93) Ibid., P. 99.

(٩٤) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٧.

(95) W. Kneale, Probability and Induction, P. 100.

(96) Ibid., P. 100.

(97) Ibid., P. 100.

(98) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 25.

(٩٩) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٧.

(100) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 26.

(101) Ibid., P. 27.

Orelkan.com

(١٠٢) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٧.

(١٠٣) المرجع السابق، ص ٩٨.

(١٠٤) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٠٥) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٠٦) جينز (جيمس)، الفيزياء والفلسفة، ص ١٦٧–٨.

(١٠٧) جون كمينى، الفيلسوف والعلم، ترجمة د. أمين الشريف، القاهرة، ١٩٦٥، ص ٢٧٤.

(١٠٨) جينز، الفيزياء والفلسفة، ص ١٥١.

(١٠٩) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٨.

(110) B. Russell, Human Knowledge, P. 30.

(111) Ibid., P. 30.

(١١٢) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ٩٩.

(١١٣) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١١٤) المرجع السابق، ص ١٠٠.

(115) B. Russell, Human Knowledge, P. 29-30.

(١١٦) برنار (كلود)، مدخل إلى دراسة الطب التجريبى، ترجمة د. يوسف مراد والأستاذ حمد الله سلطان، القاهرة، المطبعة الأميرية، ١٩٤٤، ص ٧٠.

(١١٧) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١١٨) المرجع السابق، ص ٧٣.

(١١٩) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٠١.

(١٢٠) المرجع السابق، ص ٩٨.

(١٢١) المرجع السابق، ص ١٥٣.

(١٢٢) ف. ريدنيك، ما هى ميكانيكا الكم؟، موسكو، دار "مير" للطباعة والنشر، ١٩٧١، ص ١٥.

(١٢٣) جينز، الفيزياء والفلسفة، ص ١٥١.

(١٢٤) ف. ريدنيك، ما هى ميكانيكا الكم؟، ص ١٦.

(١٢٥) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة – دراسة تحليلية ونقدية للاتجاهات العلمية فى فلسفة القرن العشرين، بيروت، الطبعة الولى، ١٩٧٠، ص ١٥١–٢.

(١٢٦) ف. ريدنيك، ما هى ميكانيكا الكم؟، ص ١٧.

(١٢٧) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٥٢.

(١٢٨) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٢٩) محمود أمين العالِم، فلسفة المصادفة، القاهرة، دار المعارف، ١٩٧٠، ص ٢٥٢.

(١٣٠) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٥.

obeikan.com

(١٣١) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٦٣.

(١٣٢) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٣٣) المرجع السابق، ص ١٦٤.

(134) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 61.

(135) Ibid., P. 107.

(136) B. Russell, Human Knowledge, P. 32.

(١٣٧) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٦.

(138) B. Russell, Human Knowledge, P. 32.

(١٣٩) رسل، الفلسفة بنظرة علمية، ص ٨٨.

(١٤٠) المرجع السابق، ص ٩٠.

(١٤١) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٤٢) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٦٦.

(١٤٣) رسل، الفلسفة بنظرة علمية، ص ٨٩ـ٩٠.

(١٤٤) المرجع السابق، ص ٨٨.

(145) B. Russell, Human Knowledge, P. 33.

وأيضًا: رسل، الفلسفة بنظرة علمية، ص ٩١.

(١٤٦) رسل، الفلسفة بنظرة علمية، ص ٩١ـ٢.

(١٤٧) المرجع السابق، ص ٩٢.

(148) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 112.

(149) Ibid., P. 12.

(150) Ibid., P. 112.

(151) Ibid., P. 112_3.

(152) Ibid., P. 113.

(١٥٣) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٦٨.

(154) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 113.

(١٥٥) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٦٨.

(١٥٦) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٧.

(157) B. Russell, Human Knowledge, P. 33.

(١٥٨) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٧.

(159) B. Russell, Human Knowledge, P. 33.

obeikan.com

(160) Ibid., P. 34.

(١٦١) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٨.

(١٦٢) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٧٠.

(163) B. Russell, Human Knowledge, P. 34.

(١٦٤) ف. ريدنيك، ما هى ميكانيكا الكم؟، ص٨.

(١٦٥) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٥٤.

(١٦٦) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٧٣_١٧٤.

(١٦٧) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٥٤.

(١٦٨) المرجع السابق، ص ١٥٥.

(١٦٩) هايزنبرج، الطبيعة النووية، ترجمة د. سيد رمضان هدارة، مراجعة د. محمود مختار، القاهرة، سلسلة الألف كتاب، ص ٤١.

(١٧٠) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٥٦.

(١٧١) المرجع السابق، الموضع نفسه.

(١٧٢) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة، ص ١٧٤.

(١٧٣) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٥٧.

(١٧٤) هايزنبرج، الطبيعة النووية، ص ٣٩.

(١٧٥) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٥٧.

(١٧٦) المرجع السابق، ص ص ١٥٧_٨.

(177) B. Russell, Human Knowledge, P. 37_38.

(١٧٨) رسل، الفلسفة بنظرة علمية، ص ٢٥٩.

(١٧٩) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٦٣.

(١٨٠) المرجع السابق، ص ١٦٣_١٦٤.

(١٨١) المرجع السابق، ص ١٦٣.

(١٨٢) هايزنبرج، المشاكل الفلسفية للعلوم النووية، ص ٧٥.

(١٨٣) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٦٥.

(184) H. Reichenbach, Modern Philosophy of Science, London, 1959, P.98.

obeikan.com