الفصل الرابع

النظرة العلمية إلى العالَم

(فلسفة المكان والزمان)

obeikan.com

obeikan.com

٢

تمهيد

اتضح على ضوء النظريات العلمية السائدة اليوم أن العالم ليس واحدا، بل هناك – فى واقع الأمر – ثلاثة عوالم: عالم الالكترونات، وعالم المجرات، ويتوسطهما عالم الأشياء ذات المقاييس البشرية. ولا يشغل هذا العالم المتوسط إلا جزءا ضئيلا من المدى الشامل بين الالكترون والمجرة. ولقد أوضحت الدراسات العلمية التى أُجريت بالاستعانة بالآلات الدقيقة أن ظواهر عالم الإلكترونات ليست نسخة مكررة مصغرة من ظواهر العالم ذى المقاييس البشرية، وأن هذه الظواهر بدورها ليست نسخة مكررة مصغرة من ظواهر عالم المجرات. إننا حين نغادر العالم ذا المقاييس البشرية، ونتيجة نحو عالم المجرات الكبيرة كبرا لا نهائيا، أو نحو عالم الالكترونات الصغيرة صغرا لا نهائيا، فإن قوانين الطبيعة تبدو لأول وهلة وقد تغيرت، ليس فقط فى التفاصيل ولكن فى الجوهر الكلى[i].

ولقد حاول الفلاسفة فى كل العصور تحليل بنية المعرفة، غير أن المعرفة قد تغيرت تغيرا عميقا من حيث مضمونها. فالفيزياء الحديثة تحتاج إلى نظرية جديدة فى المعرفة. فعلى سبيل المثال، كان الفلاسفة – منذ القدم وحتى وقت ليس ببعيد – ينظرون إلى الزمان والمكان لوصفهما صورتين للتصور البصرى، وأن أصلهما يرجع إلى الملاحظ البشرى الذى يفرضهما على الأشياء الفيزيائية من أعلى. فها هو "كانط" يقول بأن المكان صورة خالصة، وقول "كانط" بأن المكان صورة خالصة معناه أن هذه الصورة لا صلة لها بالمادة، لأن هناك أشكالا وراء القول بأن المكان المفرد ملازم للمادة، وهو الإشكال الذى أثاره وينون من قبل حين تساءل: فى أى شىء يكون المكان؟ ولقد حاول أرسطو أن يضع حلا لهذا الإشكال بقوله: إن المكان هو الحاوى للأشياء، أو هو وعاء تملؤه الأشياء. ولكن "كانط" يعتقد أن المكان هو مبدأ يحدد الأعيان ويحدد العلاقات بينها[ii].

إن المكان كما يؤكد "كانط" ليس شيئا موضوعيا أو واقعيا، وليس جوهرا أو

عرضا أو إضافة، ولكنه شيء ذاتى ومثالى،وهو نابع من طبيعة الروح وبمقتضى قانون ثابت، وهو فى ذلك يشبه الرسم الذى يربط بين كل ما يأتينا من الخارج عن طريق الحواس، والقول بأن المكان ليس جوهرا معناه أنه ليس امتدادا بالمعنى الديكارتى، وليس عرضا يزول إذا ما اختفت الأشياء، ومعناه أنه ليس مكانا محسوسا كما يقول الإنجليز أصحاب النزعة التجريبية والحسية. كما أن "كانط" يرفض رأى "ليبنتس" الذى يقول بأن المكان هو مجرد العلاقات التى تربط بين الأشياء. إنما المكان بوصفه عيانًا مجردا نابعًا من الذات، أى هو – كما يقول "كانط" – فى نقد العقل الخالص، متعالى[iii]. كما يؤكد "كانط" على أن علم الهندسة هو العلم الذى يحدد خواص المكان قبليا، وبالتأليف، وهذا لا يكون ممكنا إلا إذا كان المكان أصلا عيانا قبليا سابقا على كل إدراك حسى للموضوع[iv].

أما اليوم فإنه يتم النظر إلى المكان والزمان باعتبارهما خاصيتين بنائيتين للعالم الفيزيائى. وأن القوانين التى تحكم هذه البناءات تماثل قوانين الجاذبية، فهى تقتضى فى صورتها الرياضية استخدام علاقات هندسية تختلف اختلافا أساسيا عن تلك العلاقات التى تسرى على موضوعات الحياة اليومية[v]. فالمكان والزمان الذان يتصورهما العالِم الفيزيائى، يختلفان عن المكان والزمان اللذين ندركهما بحواسنا. وكل ما نعرفه هو أن العالَم يخضع لهذه العلاقات المجردة التى يتمثلها العلم. وما يدفعنا إلى الثقة فى هذه المعرفة، هو أن العلاقات ليست علاقات خيالية، ولكنها علاقات رياضية دقيقة. فالرياضة هى لغة العلم الطبيعى، أى أنها تعبر بصورة مجردة عن الحقائق التى لا تستطيع اللغة الدارجة أن تعبر عنها[vi].

والواقع أن العلوم الفيزيائية قد أثارت فى القرن العشرين، سؤالين على جانب كبير من الأهمية، وهما يتعلقان بالدور الذى يضطلع به مفهوما الزمان والمكان فى مجال العلم، يقول السؤال الأول: هل يتعين علينا، عند إقامة نظرية فيزيائية، أن نتعامل مع الزمان والمكان باعتبارهما مفهومين مطلقين؟ ويقول السؤال الثانى: هل لابد لنا، عند إقامة نظرية فيزيائية، أن نستخدم مفهومى الزمان والمكان أصلا؟

لقد أدت التطورات الرياضية والفيزيائية التى تمت فى القرنين التاسع عشر والعشرين إلى الإجابة عن السؤال الأول بالنفى[vii]، إذ ساهمت التطورات التى حدثت داخل العلوم الرياضية فى انهيار المعرفة التركيبية القبلية، فبعد وفاة "كانط" بعشرين

عاما اكتشف "بولياى" Bolyai و"لوباتشفسكى" Labachefski هندسة الإقليدية. وقد أدرك "جاوس" Gauss أهمية هذا الكشف، إذ توصل على نحو مستقل، إلى نتائج هندسية مماثلة، كما أدرك أن وجود أكثر من نسق هندسى واحد إنما يقتضى ظهور نظرية جديدة إلى شكل المكان. فما دامت هناك هندسة واحدة فقط، هى الهندسة الأقليدية، فليست هناك مشكلة متعلقة بهندسة المكان الفيزيائى. فقد كان من الطبيعى أن تُعد هندسة أقليدس منطقية على الواقع الفيزيائى، لعدم وجود هندسة أخرى. وسيبدو العالِم الرياضى فى هذه الحالة، وكأن بيده مفتاح الموقف، فهو وحده الذى يستطيع أن يحدد طبيعة المكان الفيزيائى وسيبدو العقل وكأنه المشرِّع للواقع الفيزيائى، غير أن الموقف تغير تماما باكتشاف كثرة من الهندسات، فلم يعد فى وسع العالِم الرياضى تحديد النسق الهندسى الذى ينطبق على المكان الفيزيائى[viii]، فعندما يصبح للرياضى الخيار بين هندسات كثيرة، تثار مشكلة: أى هذه الهندسات هى هندسة العالِم الفيزيائى؟ وما هى المبررات التى تدعونا إلى اختيار هندسة دون أخرى؟ أى ما هى المبررات التى تحدد اختيارنا للهندسة المنطقية على المكان الفيزيائى؟ هل هى مبررات يفرضها علينا العقل المجرد؟ أم هى مبررات يفرضها علينا الواقع التجريبى ؟ أم أن مسألة اختيار الهندسة التى تلائم المكان الفيزيائى هى مسألة اصطلاحية؟

وسوف نعرض فى هذا الفصل إجابة ريشنباخ عن مثل هذه السئلة، موضحين كيف أنه استفاد – فى هذا الصدد – من نظرية النسبية لأينشتين: وما أدت إليه من انقلاب فى المفاهيم العلمية والفلسفية على السواء. فريشنباخ يرى أن نظريات إينشتين وميكانيكا الكوانتم قد أدت إلى زعزعة الأسس الفلسفية لمعرفتنا، وانتقلت بنا إلى معرفة من نوع أرقى قد تبدو مبهمة عند الوهلة الأولى، ولكن وكما تم التسليم فى نهاية الأمر بتصور كوبر نيقوس للعالم، وأصبح التسليم بهذا التصور سمة عامة لكل إنسان مثقف، فإنه سيحدث نفس الشىء لنظرية النسبية. فبعد انقشاء مائة عام من الآن سوف يتم التسليم بها كنظرية واضحة بذاتها، وسيكون من الصعب تبرير ما لاقته من معارضة شديدة فى أول أمرها[ix].

٢

نسق بديهيات الهندسة الإقليدية

لقد شيد أقليدس نسقا هندسيا يتصف بالدقة والإحكام، ويقوم هذا النسق على مجموعة محددة من البديهيات، ويتصف هذا العدد القليل من البديهيات الذى يشكل أساس هذا النسق بالوضوح الذاتى. ولقد تحقق البناء الكامل للهندسة الأقليدية عن طريق التأليف البارع بين البديهيات وحدها، ودون إضافة أية قضايا أخرى إليها، وبفضل التوسع فى الاعتماد على الاستدلالات المنطقية يتم إثبات النظريات على نحو تعد معه هذه النظريات ذات يقين يعادل يقين البديهيات. وهكذا كانت الهندسة أنموذجا للعمل الذى يمكن إقامة الديلي عليه، "وأصبحت الغاية الأسمى للفلاسفة فى كل العصور هى إثبات نتائجهم بواسطة المنهج الهندسى"[x]، فاسبينوزا Spinoza (١٦٣٢-١٦٧٧)، على سبيل المثال لا الحصر، استخدم فى كتابه "الأخلاق" Ethica المنهج الهندسى للدلالة على أنه لا يقدم فى هذا الكتاب إلا ما يراه متفقا مع البداهة واليقين أو الاستدلال والبرهان العقلى، ونحن نتابع فى هذا الكتاب سلسلة من التعريفات والقضايا المدعمة بالأدلة العقلية، تماما كما نتابع كتابا فى الهندسة يقدم لنا مجموعة من النظريات التى يستند بعضها إلى بعض، بحيث لا نستطيع أن نفهم النظرية التالية إلا إذا فهمنا النظرية السابقة[xi].

وظلت الهندسة حوالى ألفى عام، على نفس الصورة الأصلية التى صاغها بها أقليدس[xii]. وكانت بديهيات هذه الهندسة طبيعية وواضحة إلى حد بدت معه حقيقتها أمرا لا يتطرق إليه شك[xiii]. فالمكان الطبيعى وما يوجد به أشياء شواهد على صدق نظريات أقليدس. فعلى الرغم من أن أقليدس لم يستمد بديهياته من الخبرة، فإن هذه البديهيات وكل ما يترتب عليها من نظريات كانت متطابقة مع الواقع.

ولقد تحدث المناطقة المعاصرون عن تصور أقليدس الخاص بطبيعة النسق الاستنباطى بقصد تمييزه عن تصور المحدثين له، فوصفوه بأنه "نسق يقينى استنباطى" Systeme categorico_deductif والمقصود بهذه التسمية إبراز كلمة "يقين" التى

تشير إلى الفكرة المميزة لتصور القدماء، وهى أن البديهيات التى يستند إليها النسق "يقينية"، أى مطابقة للواقع الخارجى، وتبعا لذلك تكون أيضا القضايا المشتقة منها بالبرهان (النظريات) يقينية كذلك، ولذا حكم فيلسوف مثل "كانط" (١٧٢٤-١٨٠٤) بأن الهندسة الأقليدية وهى الوحيدة الممكنة للإنسان لأن قضاياها ضرورية[xiv]، لأنها تعبر عن خواص المكان الحقيقة الوحيد، فالمكان وفقا لهندسة أقليدس له ثلاثة أبعاد، والمكان عموما – طبقا لما يقول به "كانط" – لا يمكن أن يكون له أكثر من ذلك. وعلى هذا لا يمكن أن تقوم – من وجهة نظر "كانط" – هندسة أخرى غير الهندسة الأقليدية، فهى الهندسة بالذات، لأن ضرورتها مفروضة علينا بطبيعة تركيبنا الذهنى، فالعيان الخالص للمكان هو أساس علم الهندسة[xv]. ولذا رأى "كانط" أن هندسة أقليدس ضرورية ومطابقة للواقع.

وكان التطور المعاصر للنسق الاستنباطى لا يرى هذه المطابقة ولا هذه الضرورية، إذ يعتبر البديهيات مجرد فروض أو أوضاع نتواضع عليها ولا صلة لها بالواقع الخارجى أو المكان الفيزيائى، كما أنها ليست ضرورية ضرورة عقلية، وكل ما تمتاز به هو أنها يجب أن تكون غير متناقضة فيما بينها[xvi]، بحيث يمكنها أن تنتج طائفة من القضايا المشتقة أو النظريات التى لا تتناقض فيما بينها. وهذا التصور لا يسمح بالطبع بالتمييز بين مجموعة بديهيات وأخرى، فكلما مجرد فروض أو أوضاع نتفق عليها. ومن ثم جاء اسمه، فالمناطقة المحدثون يصفون هذا التصور الجديد بأنه "نسق فرضى استنباطى"، إن هذا التصور الجديد للنسق الاستنباطى هو الذى مكّن الرياضيين المحدثين من أن يضعوا أيديهم على أوجه النقص الشديد فى نسق أقليدس الهندسى، فقد تبين لهم أن نظريات أقليدس لا يمكن أن تنتج من مقدماته الأولية وحدها، لأن تلك المقدمات ناقصة نقصا ذريعا[xvii].

ومع بداية القرن التاسع عشر قام علماء الرياضة بما يسمى حركة "النقد الداخلى"، وهى حركة فكرية عند رياضّى أوائل القرن الماضى جعلتهم ينصرفون عن التفكير فى الاستزادة من الاكتشافات الرياضية، والتوجه نحو فحص ونقد نظرياتهم الرياضية القائمة بقصد التثبت منها ومن سلامة براهينها[xviii]. ولقد ظهرت على السطح مشكلة فرضت نفسها وهى تبرير صدق تلك البديهيات التى يبدأ بها النسق الرياضى. إن تبرير صدق البديهيات يمثل، فى الواقع، المشكلة الأساسية لكل علم[xix].

٣

بديهية التوازى والهندسة اللاإقليدية

إن نسق البديهيات الخاص بالهندسة الأقليدية ظل يُعَالج داخل إطار العلوم الرياضية. فاهتم علماء الرياضة – فى القرن التاسع عشر – ببديهيات الهندسة الاقليدية، ولكن اهتمامهم لم يكن ينصب على المناقشات الفلسفية للبديهيات، بقدر ما كان ينصب على تحليل العلاقات التى تسرى بينها[xx]، إذ بحثوا عما إذا كان من الممكن رد بعض بديهيات أقليدس إلى قضايا أبسط وأكثر وضوحا منها، وما إذا كان من الضرورى النظر إلى بعض هذه البديهيات بوصفها نتائج لبديهيات أبسط منها، أى ما إذا كان من الممكن النظر إليها بزصفها نظريات[xxi]. ولذا حاول علماء الرياضة رد البديهيات إلى حد أدنى، عن طريق إيضاح أن بعضها يمكن استخلاصه من البعض الأخر.

وكانت هناك بديهية واحدة، هى بديهية التوازى، لم يقبلها الرياضيون، وحاولوا استبعادها. وتنص هذه البديهية على "أن من الممكن، من نقطة معينة، رسم موازى واحد، وواحد فقط، لمستقيم معين، أى أن هناك خطا مستقيما واحدا، وواحدا فقط، لا يتقاطع آخر الأمر مع خط معين، وإن ظل معه على نفس المسطح"[xxii]. ويقول ريشنباخ: "ولسنا ندرى لماذا لم ترق هذه البديهية للرياضيين، ولكن الذى نعلمه أن محاولات متعددة، ترجع فى بدايتها إلى العصور القديمة، قد بذلت لتحويل هذه البديهية إلى نظرية، أى لاستخلاصها من بديهيات أخرى، وقد اعتقد الرياضيون مرارا انهم اهتدوا إلى طريقة لاستخلاص القضية المتعلقة بالتوازى 0من بديهيات أخرى. ومع ذلك فقد كان يتضح فيما بعد، دون وعى منهم، مسلمة معينة لم تكن متضمنة فى البديهيات الأخرى، ولكن كانت لها فعالية متساوية لبديهية التوازى. وإذن فقد كانت نتيجة هذا التطور هى أن هناك مسلمة مكافئة لهذه البديهية غير أن الرياضى لم يكن له الحق فى قبول هذه المسلمات أكثر مما له فى قبول بديهية أقليدس"[xxiii].

إن كل الجهود التى بذلت لإثبات أن قضية التوازى لا ينبغى النظر إليها بوصفها بديهية قد باءت بالفشل، غير أنه اتضح أخيرا، وعلى نحو قاطع، أن من المستحيل البرهنة على مبدأ التوازى على أساس البديهيات الأخرى للهندسة الاقليدية[xxiv]. ولقد اتضح ذلك عن طريق اكتشاف أنه يمكن الاستغناء تماما عن بديهية التوازى، وبدلا من محاولة السير فى اتجاه إثبات صدق هذه البديهية، تم السير فى الاتجاه العكسى[xxv]، أى إثبات أنه يمكن التوصل إلى نظرية هندسية متسقة ذاتيا إذا استعضنا عن بديهية التوازى ببديهية أخرى، يقول: "إن هناك أكثر من مواز واحد لمستقيم معين من نقطة معينة". ومن الواضح أن هذه البديهية تتناقض مع بديهية التوازى الأقليدية، وإذا كانت الديهية الأخيرة مستمدة من البديهيات الأخرى للهندسة الاقليدية، فإن المجموعة الجديدة من البديهيات ستكون بالتالى متناقضة مع الهندسة الأقليدية[xxvi].

والنتيجة الهامة التى نخلص إليها مما تقدم فيما يختص بأسس الهندسة، هى أن بديهية التوازى مستقلة منطقيا عن بقية بديهيات أقليدس. وفكرة الاستقلال هذه هامة للغاية لأنها تسمح لنا أن نستبدل ببديهية التوازى غيرها، بحيث إذا ضّم بديل أو أكثر إلى البديهيات الأخرى تكّونت هندسات مختلفة متتابعة القضايا أو النظريات. وهذا تغير جوهرى فى أسس الهندسة غير مسبوق، وملئ باحتمالات أخرى للتغير. ذلك لأنه نشأ بالطبع سؤال جديد، وهو: هل يمكن إحداث تغيرات أخرى فى أسس الهندسة بحيث ينشأ مزيد من الهندسات المنتظمة القضايا؟ مثلا: هل يمكن وضع بديل أو أكثر لبديهية أو بديهيات أخرى؟ أو هل يمكن قبول بديهيات جديدة فتنشأ هندسات جديدة؟ ذلك هو السؤال الذى سيطر على كل الأبحاث التالية فى الهندسة والذى لقى إجابة إيجابية أيضا[xxvii]. وهكذا ظهرت الهندسات اللاأقليدية.

ففى العشرينات من القرن الماضى تم الكشف عن إمكان الاستغناء عن بديهية التوازى، وإثبات أنه يمكن من نقطة معينة رسم عدة متوازيات لمستقيم معين. ولقد تم ذلك فى وقت واحد تقريبا على يد رياضى مجرى هو "جون بولياى" Bolyai (١٨٠٢-١٨٦٠)، وعلى يد عالم الرياضة الروسى "لوباتشفسكى" Lobachevski (١٧٩٠-١٨٥٦) ويقال أن الرياضى الألمانى "جاوس" Gauss (١٧٧٧-١٨٥٥) قد توصل إلى هذه الفكرة فى وقت سابق على هذا التاريخ إلى

حد ما، ولكنه أحجم عن نشرها[xxviii] غير أن الرياضى الروسى "لوباتشفسكى" كان أول من نشر أبحاثه فى تلك الهندسة التى اكتشفها "جاوس" من قبل.

ولكن هذه الأبحاث لم تثر اهتماما كافيا بخطر النتائج التى توصل إليها هؤلاء، وإنما تم ذلك حين نشر الرياضى الألمانى "ريمان" Riemann (١٨٢٦–١٨٦٦) رسالة بعنوان: "حول الفروض التى تقوم على أساسها الهندسة" ظهرت سنة ١٨٥٤، فلفت النظر إلى إمكان وجود هندسات لا أقليدية. ومنذ ذلك التاريخ نمت الأبحاث والدراسات المتعلقة بهذه الهندسات الجديدة[xxix]. وقد بدت هندسة "ريمان" فى بادئ الأمر غير مقبولة ولا معنى لها، لما احتوته من قضايا تقول: "إن مجموع زوايا المثلث تزيد عن ١٨٠ درجة "أو" إن العلاقة بين محيط الدائرة وقطرها لا تعبر عنها العلاقة التقريبية ط = ٣.١٤". ومع ذلك فقد أدى ازدياد دقة الفحص إلى إثبات أن الهندسة اللاأقليدية صحيحة تماما، وأن من حقنا استخدامها كنسق رياضى[xxx].

obeikan.com

٤

طبيعة المكان بين التصورين الأقليدى واللاأقليدى

لقد اتضح أن الهندسة اللاأقليدية تناقض الهندسة الاقليدية، ومع ذلك، فكل هندسة لا اقليدية لا تنطوى على تناقض داخلى، وإنما هى نظام متسق بنفس المعنى الذى تكون به هندسة اقليدس متسقة. فمجال صحة الهندسة الأقليدية يعادل فى عمقه تماما مجال صحة الهندسة الاقليدية. ومن ثّم يكون السؤال عما إذا كانت إحداهما أصدق من الأخرى، سؤالا أشئ وضعه. ولذا لا يرى الرياضى الفرنسى بوانكاريه (هنرى) H. Poincare, (١٨٥٤-١٩١٢) أى معنى لمثل هذا السؤال، بل هو – فى رأيه – لا يختلف عن التساؤل عما إذا كان نظام القياس العشرى صحيحا والمقاييس القديمة باطلة، عما إذا كانت إحداثيات ديكارت صحيحة والإحداثيات القطبية باطلة. إن أية هندسة لا يمكن أن تكون أصدق من الأخرى، وكل ما يمكنها هو أن تكون أكثر بساطة[xxxi].

ولقد أدت فكرة "البساطة" Simplicity هذه إلى نوع من الخلط. وحاول ريشنباخ إعادة الأمور إلى نصابها فيما يتعلق بهذه الفكرة، فقال: "إذا كان نسق ما يمكن وصفه بأنه بسيط فإن هذا لا يجعله "أصدق" من غيره[xxxii]، صحيح أن النظام العشرى أبسط من نظام الياردة أو القدم أو البوصة، ومع هذا فإن التصميم الذى يضعه المهندس المعمارى مستخدما الياردات أو الأقدام هو وصف صادق للمنزل بنفس درجة صدق التصميم الذى يستخدم النظام العشرى. ويُطلق ريشنباخ على البساطة التى من هذا النوع اسم "البساطة الوصفية" descriptive simplicity، وهى لا تمثل معيارا للصدق. إذ إن البساطة لا تشكل معيارا للصدق إلا فى ظل اعتبارات استقرائية، فعلى سبيل المثال، يمكن النظر إلى أبسط منحنى بين المعطيات المستمدة بالملاحظة والشكل الهندسى المرسوم باعتباره "أصدق" منحنى، أى أنه أكثر احتمالا من المنحيات الأخرى المرتبطة به، لذلك، فإن البساطة الاستقرائية inductive

simplicity تشير إلى أوصاف غير متكافئة، وليست لها أية أهمية فى نظرية النسبية التى لا تهتم إلا بمقارنة الأوصاف المتكافئة وتتسم نظرية أينشتين بالبساطة الوصفية، ومع هذا فإن كون الهندسة اللاأقليدية تقدم – فى الغالب – للمكان الفيزيائى وصفا أبسط من الوصف الذى تقدمه له الهندسة الأقليدية، لا يجعل الهندسة اللاأقليدية "أصدق"[xxxiii].

أما مبدأ البساطة فى مجال علم الفيزياء فله طبيعة مزدوجة، فهو يشترط، أولا ضرورة أن تصاغ المفاهيم بطريقة بسيطة بحيث تتماشى مع الوقائع. ومن هذه الناحية لا يوضح لنا مبدأ البساطة أى شىء فيما يختص بالعلاقة بين النظرية والواقع، وأن يشتمل، ثانيا على مبدأ عملة فحسب. ومكن الممكن دائما أن يتحول الوصف الأبسط إلى وصف أكثر تعقيدا. وبالتالى يمكن التوصل إلى كافة الأوصاف. ومن ثَم، فإن البساطة الوصفية لا تنطوى على أية مشكلات أبستمولوجية. ويوجد مبدأ آخر للبساطة يرتبط بالاستدلالات الاستقرائية، فعلى سبيل المثال إن أبسك منحنى هو الذى يناسب مجموعة النقط التى تمثل القياسات. أما البساطة الاستقرائية فإنها تتمثل فى مبدأ الاحتمال، الذى يتضمن تأكيدا هاما يتعلق بالعالَم الفيزيائى. أى التأكيد الإحصائى بأنه فى معظم حالات النقط التى تمثل القياسات المتعلقة بالمستقبل سوف تقع هذه النقط على نفس المنحنى الأكثر بساطة. إن هذا الحكم إما صادق أو كاذب[xxxiv]. والواقع أن معظم النظريات يمكن أن تقارن الواحدة بالأخرى من خلال وجهة النظر الخاصة بالبساطة الاستقرائية. ويمكن النظر (بدرجة احتمال معينة) إلى إحدى هذه النظريات باعتبارها صادقة واعتبار النظريات الأخرى كاذبة[xxxv].

إن تحليل البساطة الاستقرائية إنما ينتمى إلى نظرية الاحتمال. ولقد أدى الخلط بين هذين المبدأين للبساطة (الوصفية والاستقرائية) إلى العديد من المشكلات الوهمية، مثل السؤال عن السبب فى أن النظرية الأبسط هى النظرية الأصدق، أما ما إذا كان من الضرورى وصف هندسة أقليدس بأنها صادقة بسبب بساطتها[xxxvi]. ففى مجال الزمان والمكان تنتمى كل صفات البساطة الوصفية ولا صلة لها بصدق النظرية، إذ أن صدق النظرية يتوقف فحسب على صدق البديهيات. إن البساطة الاستقرائية لا تلعب دورا – كما يقول ريشنباخ – إلا فى مجال النظرية النسبية للتجاذب[xxxvii].

وخلاصة هذا أن مسألة "الصدق" الذى يمكن أن ننسبه إلى قضايا هندسية ما

أصبحت تعنى فقط عدم تناقض تلك القضايا فيما بينها، ولا تعنى إطلاقا المعنى القديم للصدق، وهو مطابقة القضايا للواقع أو المكان الخارجى. إن هذا التصور الجديد للصدق الرياضى هو طعنة نجلاء لنظرية "كانط" فى العيان المكانى التى سيطرت طويلا على الفكر الرياضى. والتى رأت فى هندسة أقليدس الهندسة "الوحيدة الضرورية" بسبب تعبيرها عن خواص المكان أو مطابقتها له[xxxviii]. فلقد كان "كانط" يرى – كما سبق أن ذكرنا – أنه لا يمكن أن تقوم هندسة أخرى غير الهندسة الأقليدية، فهى الهندسة بالذات، لأن ضرورتها مفروضة علينا بطبيعة تركيبنا الذهنى، فالعيان الخالص للمكان هو أساس علم الهندسة، ولكن إذا كان هذا العيان يفسر لنا الهندسة الأقليدية، فإنه لا يمكن أن يفسر لنا الهندسة اللاأقليدية[xxxix]. إن المكان الأقليدى ليس شكى مفروضا "قبليا" على ذهننا ما دمنا نستطيع تخيل المكان اللاأقليدى[xl].

كان الاعتقاد فى أن الهندسة الأقليدية تعكس صفات كوننا الواقعى، هو الاعتقاد السائد قبل ظهور نظريات أينشتين فى النسبية، ولكن عندما بدأت نظرية النسبية العامة تُطبق، تبين أن من الممكن التعبير عنها عن طريق هندسة أخرى لا أقليدية (هى هندسة ريمان)[xli]، فلقد اتفقت نظرية النسبية العامة مع هندسة ريمان فى القول بأن المكان رباعى الأبعاد، وأدخلت نظرية النسبية الخاصة فكرة "الزمن" إلى علم الهندسة، أما فكرة "الجاذبية" فقد شغلت مكانة خاصة فى نظرية النسبية العامة، كما كشفت هذه النظرية عن أن الصفات الهندسة للعالَم فى موضع ما ولحظة معينة تتحدد بمجال الجاذبية فى هذا الموضع، وعلى ذلك فإن الصفات الهندسة للعالم تتحدد بتوزيع الكتل المتجاذبة. وقد اقتصر تأثير خصائص الزمن على هندسة الأجسام المتحركة، أما بالنسبة لمجال الأجسام الساكنة فظلت هندسة أقليدس محتفظة بصدقها فى هذا المجال. من هنا فإن تحديد المكان الواقعى أى المكان الفيزيائى لعالمنا، من بين الأمكنة المحتملة، هو مهمة تضطلع بها الفيزياء، وتتحقق هذه المهمى بوسائل تجريبية[xlii].

ويرى ريشنباخ أنه من الضرورى التفرقة بين الهندسة الرياضة (الهندسة البحتة) والهندسة الفيزيائية، وتتضح هذه التفرقة من خلال التمييز بين الرياضة (كعلم مجرد) والفيزياء (كعلم تجريبى)، فالرياضيات – كما يقول ريشنباخ – لا شأن لها فيما

Obeikan.com

يتعلق بإمكان تطبيق نظرياتها على الأشياء الفيزيائية، كما أن بديهياتها تتضمن فحسب نسقا من المبادئ التى تربط التصورات الرياضية بعضها ببعض. ومن ثم فإن النسقية الخالصة للرياضيات لا تؤدى، على الإطلاق، إلى الكشف عن مبادئ النظريات التجريبية. وعلى ذلك، فإن البديهيات الهندسية لا يمكنها أن تنبئنا بشىء عن المشكلة الإبستمولوجية للمكان الفيزيائى، لأن النظرية الفيزيائية هى وحدها التى يمكنها الإجابة عن السؤال المتعلق بصحة ما إذا كان المكان أقليديا[xliii]، كما أنها هى وحدها التى يمكنها، فى نفس الوقت، الكشف عن المبادئ الابستمولوجية لمكان الأشياء الفيزيائية. ولذا، فمن الخطأ أن نستنتج أن الرياضيات وعلم الفيزياء ما هما إلا نسق واحد. إذ لابد أن نميز بين السؤال المتعلق بصحة انطباق البديهيات على العالم الفيزيائى، والسؤال الخاص بإمكان صدق الأنساق البديهية المختلفة[xliv]، فهناك من وجهة النظر الرياضية، كثير من الأنساق الهندسية، وكل منها ماتسق منطقيا، وهذا كل ما يتطلبه الرياضى، فهو لا يهتم بحقيقة البديهيات، وإنما بعلاقات اللزوم بين البديهيات والمبرهنات (أو النظريات) المشتقة منها. فالقضايا التى تقول بها الهندسة تتخذ صورة "إذا كانت البديهيات صحيحة، كانت النظريات صحيحة". غير أن علاقات اللزوم هذه تحليلية، تتحقق صحتها بواسطة المنطق الاستنباطى[xlv].

وعلى ذلك فإن الهندسة الرياضية تهتم أساسا بالنتائج الاستنباطية لمجموعة البديهيات التى وضعها علماء الهندسة ليستخرجوا منها تلك النتائج، ولا تتناول هذه البديهيات موضوعا معينا، بل لا تقرر شيئا عن المكان الفيزيائى ومن ثّم فإن المبرهنات (النظريات) الهندسية البحتة هى قضايا تحليلية، وصادقة يقينا لأنها خالية من أى مضمون تجريبى. لكن الهندسة الفيزيائية تستخدم التعريفات والمصادرات فى الهندسة بحيث تعطى لها معنى فيزيائيا محددا، فالنقطة تعنى نقطة فيزيائية، والخط قد يعنى شعاعا من الضوء، ونحو ذلك. وما دامت الهندسة الفيزيائية ترتبط بالعالَم فلا يقين فيها. ولذا يؤثر عن أينشتين قوله: "حين تشير الرياضيات إلى الواقع فلا يقين فيها، وحين تكون يقينية فلا تشير إلى الواقع"[xlvi].

ويؤكد ريشنباخ على أن علم الفيزياء لا يتصف "بالضرورة الهندسية"، وكل من يقول بذلك إنما يعود – فى رأى ريشنباخ – إلى وجهة النظر قبل الكانطية، حيث كانت الضرورة مصدرها العقل. وإذا كان تحليل "كانط" للعقل قد أخفق فى الوصول

إلى مبادئ علم الفيزياء، فإن نتائج الهندسة العامة قد أخفقت بدورها فى تحقيق ذلك، لأن السبيل الوحيد المؤدى إلى مبادئ علم الفيزياء هو تحليل المعرفة التجريبية[xlvii].

وكما هو الحال بالنسبة لكل الفروض الفيزيائية، فإن الرياضة تقدم لنا مجموعة من الإمكانات التى يمكننا – بواسطة الملاحظة – أن نختار من بينها الإمكانية التى تتطابق مع الواقع، فالملاحظة – لا العقل – هى، فى رأى ريشنباخ، معيار الحقيقة التركيبية، فهى المبدأ التجريبى الذى يتضمن انطباق الرياضة على الواقع الفيزيائى.

كما يؤكد ريشنباخ على أن التطور الذى بدأ باكتشاف الهندسات اللاأقليدية قد وصل إلى ذروته بفضل تحليل "رسل" للحساب، وهو التحليل إلى مؤداه أن الحقيقة الرياضية تحليلة، وأن الرياضة لا تصف الواقع الفيزيائى[xlviii].

obeikan.com

٥

هندسة المكان الفيزيائى

يرجع الفضل إلى نظرية النسبية فى أنها استبعدت مشكلة صدق الهندسة من مجال العلوم الرياضية، وردتها إلى علم الفيزياء[xlix]. فلقد كانت نظرية نيوتن تحدد طبقا لمبادئ علم الميكانيكا، وضع كل جسم من أجسام النظام الشمسى، فى كل لحظة من الزمان وبواسطة نظرية نيزتن، استطاع العلماء أن يتنبأوا بحركات الأفلاك والكواكب. ومع ذلك، فإن هذه النظرية قد افترضت مكانا مطلقا وزمانا مطلقا، ولم يكن من الممكن إثبات وجودهما فى التجربة. كما أن نظرية نيوتن تجاهلت وجود الملاحظ البشرى الذى يرصد حركة الأفلاك. ولقد أثارت هذه النظرية بعض المشكلات العلمية، منها أن تحديد حركة وضع أى جسم من الأجسام، يقتضى بالضرورة تحديد وضع جميع الأفلاك الأخرى، وهذا أمر غير ممكن فى نظرية نيوتن[l]. لأننا عندما نقول إن شيئا ما يتحرك، فإننا نعنى أنه يتحرك بالنسبة إلى الأرض، وحين نتعرض لحركة الكواكب، فإننا ننظر إليها بوصفها متحركة بالنسبة إلى الشمس، أو بالنسبة إلى مركز كتلة النظام الشمسى. وعندما نقول إن النظام الشمسى نفسه يتحرك، فإننا نقصد أنه يتحرك بالنسبة إلى النجوم وليست هناك واقعة فيزيائية يمكن أن نطلق عليها اسم "الحركة المطلقة"، ومن ثم ينبغى أن تعنى الفيزياء بالحركات النسبية، ما دامت هذه الحركات هى النوع الوحيد الذى يحدث[li].

إن فكرة نسبية الحركة هى التى أعطت لنظرية النسبية معناها. ويوضح ريشنباخ نسبية الحركة بقوله: "تتسم فكرة نسبية الحركة – إذا ما أُحسن فهمها – بقوة إلزام عجيبة. فمن منا لم يألف هذه الظاهرة التى كثيرا ما تشيع فى تجربة عربية القطار، ففى حين يكون قطار أحدنا ساكنا، وقطار آخر على الخط المقابل بادئا حركته، يتكون لدينا انطباع بعكس ما هو واقع، إذ نتوهم أن قطارنا الساكن هو الذى يتحرك، وسرعان ما يكشف المرء هذا الوهم. وحينئذ يتساءل: ما الذى يخولّ لى الحق

فى أن أسمى ما رأيته بوضوح وهما؟ هل حركة القطار الذى أجلس فيه والتى شعرت بها بوضوح كانت وهما؟ هل حركة القطار الذى أجلس فيه والتى شعرت بها بوضوح كانت وهما وزيفا؟ ألا يمكننى الإدعاء بنفس الأحقية أن القطار الآخر مازال ساكنا بينما قطارى هو الذى يتحرك؟ وبالتأكيد، لم ألحظ فى نفس الوقت الظروف المحيطة، أعنى، المحطة وقد ظلت ساكنة، وأننى لذلك كانط بلا حركة بالقياس إلى هذا المحيط. ولكن ماذا لو أدخلت فى الاعتبار وجود هذا المحيط؟ فهل يمكننى أن أعلن أن القطار الآخر ظل ساكنا بينما قطارى أنا والمحطة وحتى العالم كله كان يتحرك فى الاتجاه العكسى؟ أليس هذا من حقى أيضا؟"[liii].

يقول ريشنباخ: إذا فُهمت هذه الفكرة فمن الصعب التخلص منها. إذ أن المحطة بحجمها الكبير بالقياس إلى حجم القطار المتحرك لا يمكن أن تنهض كتفنيد للحقيقة. إن الاختلاف فى الحجم لا أثر له على هذا الموضوع، فإذا وضع جسمان فى فراغ، وكان الجسم الكبير والصغير يتحرك كل منهما نحو الآخر، فهل مت الضرورى أن نقول إن الجسم الكبير ساكن بينما يتحرك الجسم الصغير؟ إن هذا – فى رأى ريشنباخ – محض لغو، إذ إن من الواضح أن الحركة لا تعتمد على الحجم، أى أن الحجم لا يحدد أى الأجسام يكون ساكنا. وإذا افترضنا أن الجسم "أ " ساكن، والجسم "ب" متحرك نحوه، فسيكون من الصحيح أن تتاقص المسافة بينهما يؤكد حدوث الحركة. ولنفرض أن "ب" ساكن بينما " أ " متحرك، فعندئذ سنلاحظ أيضًا تناقص المسافة بينهما، لذلك لا يمكننا أن نستنتج من الظواهر الملاحظ، كما هو موضح فى المثالين السابقين، أى الجسمين يتحرك لذلك فمن اللغو أن نتحدث عن حركة "حقيقية"، ولا يحق للمرء إلا أن يقول إن الأجسام تتحرك بعضها تجاه بعض، وأن حركتها نسبية، وبالتالى فإن هذه هى الإجابة التى يؤدى إليها مثل هذا التفكير، وهى أنه لا توجد حركة حقيقية ولا حركة مطلقة، بل حركة نسبية فحسب[liii].

إن محاولة هدم أدلة "نيوتن" المتعلقة بالحركة المطلقة أدت إلى توضيح كامل لفكرة النسبية العامة التى امتدت من علم الحركة النسبية إلى الديناميكا النسبية[liv]، ولقد أكدت نظرية النسبية العامة "أن الهندسة الأقليدية لا يمكن تطبيقها على علم الفيزياء". وعلينا أن ندرك المدى البعيد للنتائج المترتبة على هذه العبارة. وبالفعل لم تعد صفة القبلية للهندسة الأقليدية تؤخذ مأخذ الجد فى المائة سنة الأخيرة، إذ أوضح

بناء الهندسات اللاأقليدية وإمكان قيام أنساق تصورية مناقضة لبديهيات أقليدس التى أشتهرت بأنها واضحة بطريقة حدسية[lv].

وقد يبدو أن المكان الواقعى – مكان أشياء وأجشام الكون – يتبع قوانين الهندسة الأقليدية. ودائما ما توضع هذه القوانين فى الاعتبار عند بناء المنازل وشق الطرق، أو عند تحديد المساحات المقاسة لرسم الخرائط الطوبوغرافية، غير أن مكنشفى الهندسة اللاأقليدية قد سألوا أنفسهم بالفعل عما إذا كانت قوانين أقليدس صادقة بالمعنى الدقيق. ففكروا فى احتمال أن تُظهر القياسات البالغة الدقة انحرافات عن هذه القوانين تناظر الهندسة اللاأقليدية. ولقد أدركوا إدراكا كاملا أن مثل هذه الانحرافات لا يمكن توقعها إلا بالنسبة للأبعاد الكبيرة للغاية[lvi].

obeikan.com

obeikan.com

ويبدو أن المكان الواقعى – مكان أشياء وأجسام الكون – يتبع قوانين الهندسة الإقليدية. ودائماً ما توضع هذه القوانين فى الاعتبار عند بناء المنازل وشق الطرق، أو عند تحديد المساحات المقاسة لرسم الخرائط الطوبوغرافية، غير أن مكتشفى الهندسة اللاإقليدية قد سألوا أنفسهم بالفعل عما إذا كانت قوانين إقليدس صادقة بالمعنى الدقيق. ففكروا فى احتمال أن تُظهر القياسات البالغة الدقة انحرافات عن هذه القوانين تناظر الهندسة اللاإقليدية. وأدركوا إدراكاً كاملاً أن مثل هذه الانحرافات لا يمكن توقعها إلا بالنسبة للأبعاد الكبيرة للغاية(٥٦).

ومن المعروف أن "جاوس" حاول اختبار الطابع الإقليدى للهندسة الأرضية بواسطة قياس مثلث ينحصر بين قمم ثلاثة جبال(٥٧). جبل بروكين Broken فى مدينة هيرز Harz، وجبل أنسالوسبورج Inselsberg فى غابة ثيورنجن Thueringian، وجبل هونهاجن Hohenhagen بالقرب من جونتجن Goettingen، ولقد كان نطاق قمم هذه الجبال محدوداً بحيث يمكن رؤية كل منها قريباً، إذا ما استخدمنا التلسكوب (المنظار المُقرِّب). وقام جاوس بقياس الزوايا الثلاثة المحصورة داخل المثلث، فوجد أن مجموعها لا ينحرف عن ١٨٠ درجة انحرافاً يمكن ملاحظته(٥٨).

أراد "جاوس" – عن طريق التجربة – معرفة هندسة المكان الفيزيائى، هل هى إقليدية أم لا إقليدية، غير أن معرفتنا التجريبية بالمكان الموجود فى بيئتنا تستند إلى قياس المسافات الصغيرة والزوايا (وحين أتحدث عن المسافات الصغيرة أعنى المسافات الصغيرة بالقياس إلى مسافات الفلك، وكل المسافات التى على الأرض صغيرة بهذا المعنى)(٥٩). ومن ثمَّ فإن تجربة جاوس أوضحت أن الهندسة الطبيعية للمكان الموجود فى بيئتنا، هى إقليدية، وذلك فى حدود الدقة التى يمكننا التوصل إليها، أو بعبارة أخرى، فإن الأجسام الصلبة والأشعة الضوئية فى بيئتنا تسلك وفقًا لقوانين إقليدس، ولو كانت تجربة "جاوس" قد أفضت إلى نتيجة مختلفة، أى لو كانت قد كشفت عن انحراف عن العلاقات الإقليدية، يمكن قياسه، لكانت الهندسة الطبيعية لبيئتنا الأرضية مختلفة(٦٠).

وإذا كانت الهندسة الطبيعية لبيئتنا الأرضية إقليدية، فإن الهندسة الطبيعية للمكان فى الأبعاد الفلكية لا إقليدية، وهذا ما أكدته نظرية النسبية العامة، إذ تصور

– هذه النظرية – الكون على نموذج إحدى الهندسات اللاإقليدية وهى هندسة "ريمان". وتقول مثلاً: إن الكون سطح منحنى أو كروى الشكل، وأن المكان منحنى لا سطح مستو، وإذا رسمنا مثلثاً ضخماً على سطح الكون فإن مجموع زواياه سيكون أكثر من ١٨٠ درجة، وأن أى خط مستقيم هو فى الواقع خط منحنى ينطوى على نفسه، وأن الخط المنحنى لا المستقيم هو أقصر الخطوط بين نقطتين، وأن الخطين المتوازيين سوف يلتقيان فى النهاية ... إلخ، وحينئذ يحاول أينشتين إقامة نظرية فى هندسة الكون الفيزيائى على نسق هندسة "ريمان"[٦١].

إن النتيجة التى توصل إليها أينشتين – من نظريته فى النسبية العامة – والقائلة إن الهندسة الطبيعية للمكان فى الأبعاد الفلكية هندسة لا إقليدية، هذه النتيجة لا تتناقض – فى رأى ريشنباخ – مع قياس "جاوس" الذى يؤدى إلى القول بأن هندسة الأبعاد الأرضيية إقليدية، إذ إن من الصفات العامة للهندسة اللاإقليدية أنها تكاد تكون مماثلة للهندسة الإقليدية بالنسبة إلى المساحات الصغيرة، والأبعاد الأرضية صغيرة بالقياس إلى الأبعاد الفلكية. فنحن لا نستطيع ملاحظة ما يحدث من انحرافات عن الهندسة الإقليدية عن طريق الملاحظة الأرضية[٦٢]، لأن الانحراف عن العلاقات الإقليدية دائماً ما يكون صغيراً وضئيلاً للغاية بحيث يستحيل تحديد هذا الانحراف بوسائل قياسنا المألوفة، وحتى القياسات، المماثلة لتلك التى قام بها "جاوس"، لا تؤدى إلى إحراز نتائج إيجابية فى هذا المجال، لأنها تتعامل دائماً مع مسافات صغيرة للغاية. إن الانحرافات لا تكشف عن نفسها إلا فى المسافات الكونية، ويكشف مسار الأجرام السماوية ومسار أشعة الضوء بين هذه المسافات الكونية عن الطبيعة اللاإقليدية للمكان[٦٣].

إن الطابع اللاإقليدى للمكان لا يمكن الكشف عنه إلا بالنسبة إلى مثلثات أكبر من ذلك المثلث الذى قاسه "جاوس"، وأن انحراف مجموع الزوايا عن ١٨٠ درجة يزداد بازدياد حجم المثلث، ولو أمكننا أن نقيس زوايا مثلث تكون أركانه هى النجوم الثوابت، أو المجرات الثلاث – وهو الأفضل – للاحظنا بالفعل أن مجموع زوايا المثلث يزيد عن ١٨٠ درجة. ولكن السفر إلى النجوم أو المجرات هو أمر مستحيل استحالة فنية، وعلى ذلك فلابد لنا من الاكتفاء بالطرق غير المباشرة فى الاستدلال، وهى الطرق التى تدل، حتى فى المرحلة الراهنة لمعرفتنا، على أن الهندسة النجمية لا إقليدية[٦٤].

٦

نسبية الهندسة

إن وجود بدائل هندسة متسقة داخلياً (كهندسة إقليدس، وهندسة ريمان مثلاً) أثار مسألة أى هذه الهندسات ينطبق على العالَم الفيزيائى الموجود بالفعل. وفى إجابته عن هذا السؤال أكد ريشنباخ على أهمية الاعتبارات الاصطلاحية وكذلك الاعتبارات التجريبية. فالطابع الاصطلاحى ينطوى على وضع تعريفات إحداثية coordinative definitions.[٦٥] إن عملية التعريف أساسية فى الدراسات العلمية لأنها تمثل طريقة منطقية فى تحديد المفاهيم التى يستخدمها الباحث، ولكن للتعريفات حدوداً لا نستطيع تجاوزها، فلا يمكن أن نُعرّف كل شىء، بل إنه ليس من الضرورى أن نُعرّف جميع المفاهيم، ففى المنطق والرياضيات مفاهيم كثيرة، وكنا نفترض بعض هذه المفاهيم على أساس أنها لا معرّفات نقوم بواسطتها بتعريف المفاهيم الأخرى. وإذا سلمنا جدلاً بتعريف جميع المفاهيم، فإننا نضطر إلى استخدام مفاهيم أخرى تحتاج هى بدورها إلى تعريفات وهكذا دون أن نصل إلى نقطة ابتداء، فلابد إذن من التسليم بعدد من المفاهيم غير المعرَّفة. وقد تزداد هذه المفاهيم أو تنقص تبعاً لحاجة الباحث واجتهاده، ولكن يحرص المناطقة على أن يكون عدد المفاهيم غير المعرَّفة أقل ما يمكن، شرط أن يكون بمقدورنا تعريف جميع المفاهيم الأخرى بواسطتها[٦٦].

وعادةً ما يعنى التعريف رد مفهوم معين إلى مفاهيم أخرى. وفى علم الفيزياء – كما فى سائر مجالات البحث الأخرى – يُستخدم التعريف على نطاق واسع. وإن كان هناك نوع آخر من التعريفات المستخدمة، التى يتم التوصل إليها استناداً إلى أن العلم الفيزيائى – الذى يتميز على نحو مغاير للعلم الرياضى – يبحث فى موضوعات واقعية. فالمعرفة الفيزيائية لا تتصف بأنها تصورات يتم تعريفها عن طريق تصورات أخرى فحسب، وإنما هى مرتبطة أيضاً بالأشياء والموضوعات الواقعية. ولا يمكن الاستعاضة عن هذا الارتباط بتفسير أو شرح لمعانى المفاهيم والتصورات التى

تتضمنها المعرفة الفيزيائية، إذ إنها تقرر ببساطة أن "هذا التصور" يرتبط "بهذا الشيء الجزئي". وبصفة عامة لا يكون هذا الارتباط جزافياً. ولما كانت المفاهيم الفيزيائية يتم ربطها بعلاقات قابلة للاختبار، فإنه يمكن التحقق من صدق أو كذب هذا الارتباط إذا ما أضيف شرط الواحدية uniqueness، ونعنى به المبدأ الذى يقول: "إذا دل مفهوم ما على شيء معين، فإنه ينبغى على الدوام أن يدل المفهوم نفسه على نفس الشيء". غير أنه ينبغى تحديد ارتباطات تمهيدية معينة قبل أن يكون ممكناً تطبيق طريقة الارتباط، وعلى ذلك فإن هذه الارتباطات الأولية هى تعريفات يطلق عليها ريشنباخ اسم "التعريفات الإحداثية". وهى تعريفات تعسفية، كسائر التعريفات، يعتمد اختيارها على نسق تصورى يتطور بتقدم العلم(٦٧). وتعريفات نظرية النسبية هى جميعها من هذا النوع، تعريفات إحداثية(٦٨).

ولتوضيح هذه التعريفات الإحداثية وارتباطها بهندسة المكان الفيزيائى، يقوم ريشنباخ بفحص مفهوم التطابق congruence أو مفهوم تساوى الطول، وهو مفهوم أساسى لأى هندسة(٦٩). فإذا أردنا أن نقارن بين وحدتين للطول عند موضعين مختلفين، فإننا نضع قضيب القياس على الجدار، وفى هذه الحالة، فإن طوله يُقَارن بذلك الجزء من الجدار الذى يغطيه القضيب فى هذه اللحظة. وإذا ما أردنا المقارنة بين طول جزئين منفصلين من الجدار فإن علينا أن ننقل قضيب القياس لنقيس كلاً منهما على حدة. ومن المفترض أن قضيب القياس لن يتغير طوله أثناء انتقاله. غير أنه لا يمكن التحقق بطريقة تجريبية من أن طول القضيب لم يطرأ عليه تغير أثناء ذلك. إذ من حقنا أن نفترض وجود قوى كونية تؤدى إلى تمدد أو انكماش الأجسام الصلبة، ومن ضمنها قضيب القياس. ولنفترض أيضاً وجود قضيبين للقياس متساويين فى الطول، تم نقلهما بطريقتين مختلفتين إلى مكان بعيد، وهناك تم وضع أحدهما فوق الآخر فوُجِدَ أنهما متساويان فى الطول. فهل يؤدى ذلك إلى إثبات أن طولهما ظل ثابتاً ولم يطرأ عليه – فى الطريق – أى تغير؟ إن افتراض أن طول القضيبين لم يطرأ عليه أى تغير هو افتراض لا يمكن التحقق منه تجريبياً. إذ إن الواقعة الوحيدة التى يمكن ملاحظتها هى أن القضيبين يتساوى طولهما فى المكان الذى يتم فيه وضع أحدهما فوق الآخر للمقارنة بينهما(٧٠).

إن المشكلة موضع البحث هى مشكلة التطابق، فينبغى أن ندرك أنه لا سبيل

إلى اختبار التطابق والتحقق منه. فلنفرض أن كل الأشياء المادية، وضمنها أجسامنا، قد تضاعف حجمها عشر مرات أثناء نومنا فى الليل، فعندما نستيقظ فى الصباح لا نكون فى وضع يسمح لنا باختبار هذا الافتراض. فنتائج هذا التغير لا يمكن ملاحظتها، بناء على الشروط الموضوعية، ومن هنا فليس فى وسعنا الاهتداء إلى أدلة تؤيدها أو تفندها. فمن الجائز أننا جميعًا أطول عشر مرات مما كنا بالأمس(٧١).

وليس هناك – فى رأى ريشنباخ – إلا مخرج واحد من هذه الإشكالات: هو أن ننظر إلى مسألة التطابق، لا على أنها مسألة ملاحظة، بل على أنها مسألة تعريف. فينبغى ألا نقول: "إن القضيبين الموضوعين فى مكانين مختلفين **هما بالفعل** متساويان"، وإنما الواجب أن نقول: إننا **نسميهما** قضيبين متساويين. ونقل القضبان الصلبة هو الذى يحدد تعريف التطابق. هذا التفسير يؤدى إلى استبعاد المشكلات غير المعقولة التى ذُكِرَت من قبل، إذ لا يعود السؤال عما إذا كنا اليوم أطول مما كنا بالأمس عشر مرات سؤالاً ذا معنى، فنحن نسمى طولنا اليوم مساوياً لطولنا بالأمس، ولا معنى للسؤال عما إذا كان هو فى الواقع نفس الطول. ويسمى هذا النوع من التعريفات بالتعريفات الإحداثية، وهى تربط – كما سبق أن ذكرنا – بين موضوع فيزيائى، كالقضيب الصلب، وبين تصور "الطول المتساوى"، وبذلك تحدد مفهومه، وعلى ذلك فإن القضايا المتعلقة بهندسة العالَم الفيزيائى لا يكون لها معنى إلا بعد وضع تعريف إحداثى للتطابق، فإذا غيرنا التعريف الإحداثى للتطابق، نتجت هندسة جديدة. هذه الحقيقة يُطلق عليها اسم نسبية الهندسة(٧٢).

ويحذر ريشنباخ من سوء تفسير معنى "النسبية" هنا. فالنسبية لا تعنى التخلى عن الحقيقة، وإنما تعنى فقط إمكان صياغة الحقيقة بعدة طرق، إذ ينبغى تفسير لفظ "النسبية" على أنه يعنى "بالنسبة إلى نسق معين من التعريفات". فالنسبية تتضمن الكثير من النتائج لأن تنوع التعريفات يؤدى إلى كثرة الأوصاف المتكافئة. وكل هذه الأوصاف تعبر – بلغات مختلفة – عن الشىء نفسه، فهى تعبر عن المضمون الفيزيائى نفسه. ويمكن تطبيق نظرية الأوصاف المتكافئة على كل مجالات علم الفيزياء الأخرى، غير أن مجالى المكان والزمان يمثلان الحالة النموذجية لهذه النظرية(٧٣).

إن كثرة الأوصاف المتكافئة لا تستلزم كثرة من وجهات النظر المختلفة، أو كثرة من الأنساق المتناقضة المضمون، وإنما هى مجرد كثرة من اللغات المتكافئة،

وبالتالى هى كثرة من أشكال التعبير ذات المضمون الواحد، والتى لا يناقض بعضها بعضاً. ويوضح ريشنباخ ذلك بقوله: إن القضيتين "طول الغرفة ٢١ قدم" و"طول الغرفة سبع ياردات" هما وصفان متكافئان، إذ يعبران عن حقيقة واحدة. ومن ثمَّ فإن التعبير عن طول الغرفة بطريقتين لا يعنى استبعاد مفهوم الحقيقة، وإنما يعنى فقط أن الرقم الذى نصف به الطول إنما يتحدد بالنسبة إلى وحدة الطول. ويؤكد ريشنباخ على أن كل العلاقات النسبية فى نظرية أينشتين إنما هى من هذا النوع، فتحويل لورنتز the Lorentz transformation (*) يرتبط بأوصاف مختلفة لعلاقات الزمان – مكان، وهى متكافئة بنفس المعنى الذى تكافئ به القضية القائلة "إن الطول ٢١ قدم" القضية القائلة "إن الطول سبع ياردات"(٧٤).

يقول ريشنباخ:

"إن هذه النتيجة تبدو لأول وهلة وكأنها تأييد لنظرية "كانط" فى المكان. فإذا أمكن تطبيق كل هندسة على العالَم الفيزيائى، فيبدو عندئذ أن الهندسة لا تعبر عن صفة فى العالَم الفيزيائى، وما هى إلا إضافة ذاتية صادرة عن الملاحظ البشرى، الذى يضع على هذا النحو نظاماً بين موضوعات إدراكه الحسى. وقد استخدم الكانطيون الجدد هذه الحجة فى الدفاع عن فلسفتهم، كما أنها استُخدِمتَ فى موقف فلسفى يُسمى بالمذهب الاصطلاحى conventionalism، استحدثه الرياضى الفرنسى هنرى بوانكاريه، وبمقتضاه تكون الهندسة مسألة اصطلاحية، ولا يكون هناك معنى لقضية تزعم أنها تصف هندسة العالَم الفيزيائى"(٧٥).

غير أن ريشنباخ يستدرك قائلاً:

"على أن اختبار هذه الحجة بمزيد من الدقة كفيل بأن يثبت أنها غير مقبولة، فعلى الرغم من أنه من الممكن استخدام كل نسق هندسى فى وصف تركيب العالَم الفيزيائى، فإن النسق الهندسى إذا ما أخذ وحده لا يصف ذلك التركيب وصفاً كاملاً، ولن يكون الوصف كاملاً إلا إذا اشتمل على قضية عن مسلك الأجسام الصلبة والأشعة الضوئية، وعندما

(*) تحويل لورنتز هو معادلة فى نظرية النسبية تتناول العلاقة بين وصف حدث ما منسوباً إلى مرجع إحداثى وبين وصفه منسوباً إلى مرجع إحداثى آخر يتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة للمرجع الأول (مجمع اللغة العربية، معجم الفيزياء الحديثة، ج١، ص ١٧٣).

نسمى الوصفين متساويين، أى صحيحين بقدر متساو، فإننا نشير إلى الأوصاف الكاملة بهذا المعنى. ومن بين الأوصاف المتكافئة، سيكون هناك وصف واحد، وواحد فقط، لا يقال فيه عن الأجسام الصلبة والأشعة الضوئية أنها انحرفت أو شوهت بفعل القوى الكونية. وسوف أستخدم للدلالة على هذا الوصف اسم النسق السوى normal system**. والآن يمكننا أن نتساءل عن أى الهندسات تؤدى إلى النسق السوى، وهذه الهندسة يمكن تسميتها بالهندسة الطبيعية** natural geometry **ومن الواضح أن السؤال المتعلق بالهندسة الطبيعية، أى الهندسة التى لا تكون الأجسام الصلبة والأشعة الضوئية منحرفة بالنسبة لها، لا يمكن الإجابة عنه إلا بالبحث التجريبى وبهذا المعنى يكون السؤال عن هندسة المكان الفيزيائى سؤالاً تجريبياً"**(٧٦).

إذا كان من الصحيح أن المكان الفيزيائى يمكن وصفه بواسطة كل من الهندسة الإقليدية والهندسة اللاإقليدية، فإنه من الخطأ أن نفسر نسبية الهندسة بالقول بأنها تقتضى وصف القضية المتعلقة بالبناء الهندسى للمكان الفيزيائى بأنها خالية من المعنى. إن اختيار هندسة ما لا يُعَد أمراً تعسفياً طالما لم يتم تحديد تعريف للتطابق. وبمجرد وضع هذا التعريف يصبح السؤال عن هندسة المكان الفيزيائى سؤالاً تجريبياً(٧٧)، فعلى سبيل المثال، حين نستخدم أجساماً صلبة لوضع تعريف للتطابق، فإننا نجد أن مكاننا الفيزيائى يكاد يكون إقليدياً فى الأبعاد الأرضية، وهذه حقيقة تجريبية، وإذا استخدمنا هذا التعريف نفسه للتطابق، فى مكان آخر من الكون، فإنه يؤدى إلى هندسة لا إقليدية، وسيكون البناء الهندسى لهذا الجزء من المكان الكونى، مختلفاً عن البناء الهندسى لعالمنا الأرضى الذى نعيش فيه – وإذا كان من الصحيح أن الهندسة الإقليدية، بدورها، يمكن تطبيقها على ذلك الجزء من الكون، فإنه فى هذه الحالة لن يكون ممكناً وضع تعريف التطابق بواسطة الأجسام الصلبة. إن الجمع بين القضية المتعلقة بالهندسة والقضية الخاصة بتعريف التطابق الذى نستخدمه، إنما يخضع للاختبار التجريبى، وبالتالى يعبر عن خصائص العالَم الفيزيائى، إن المفكر ذا الاتجاه الاصطلاحى يغفل عن أن القضية غير المكتملة للهندسة – التى يتم فيها تجاهل الرجوع إلى تعريف للتطابق – هى وحدها التى تكون تعسفية، أما إذا اكتملت القضية بإضافة الاستناد إلى تعريف للتطابق، فسيكون من الممكن التحقق من صدقها بطريقة تجريبية، وبالتالى يكون لها مضمون فيزيائى(٧٨).

وعلى ذلك، فبدلاً من أن نتحدث عن مذهب اصطلاحى، علينا أن نتحدث عن نسبية الهندسة، فالهندسة نسبية بالمعنى نفسه الذى تكون به المفاهيم الأخرى نسبية. فالقول بأن "الجيزة تقع جنوب القاهرة" قضية اصطلاحية. ولكن لا ينبغى أن ننسى أن هذه القضية الاصطلاحية يمكنها أن تعبر عن صدق موضوعى إذا ما أخذت، هذه القضية، فى اعتبارها نقطة الإسناد the point of reference، فالقضية القائلة "الجيزة تقع جنوب القاهرة منظوراً إليها من الإسكندرية" ليست قضية اصطلاحية، وإنما هى واقعة تجريبية(٧٩).

وهكذا فإن المفاهيم النسبية مثل "شمال" و"جنوب" و"على اليسار" و"على اليمين" إنما تصلح تماماً للاستخدام فى صياغة مشتملة على نقطة إسناد. وبهذا المعنى نفسه تكون الهندسة تصوراً نسبياً. فنحن لا نستطيع الكلام عن هندسة العالَم إلا بعد أن نكون قد قدمنا تعريفاً إحداثياً للتطابق. وعلى هذا الشرط يمكن إصدار قضية تجريبية عن هندسة العالَم الفيزيائى. وعلى ذلك فعندما نتحدث عن الهندسة الفيزيائية، يكون من المفهوم أننا وضعنا تعريفًا إحداثياً معيناً، ويقول ريشنباخ: لو كان ما أراد بوانكاريه أن يقوله هو أن اختيار وصف واحد من مجموعة الأوصاف المتكافئة مسألة اصطلاحية، لكان فى ذلك على حق. أما إذا كان قد اعتقد أن تحديد الهندسة الطبيعية، بالمعنى الذى عرفناها به، هو مسألة اصطلاحية، فإنه يكون فى ذلك مخطئاً، إذ إن من المستحيل التحقق من هذه الهندسة إلا بطريقة تجريبية(٨٠).

٧

نسبية الزمان

إن مشكلة الزمان كانت على الدوام مشكلة محّيرة للذهن البشرى، لا على مستوى حوادث العالَم الخارجى فحسب، بل على مستوى تجاربنا الذاتية التى تحدث فى الزمان. وكان يبدو وكأن سريان الزمن الذى يرتب حوادث العالَم الفيزيائى يمر عبر الوعى البشرى ويدفعه إلى التكيّف مع هذا الترتيب. فملاحظاتنا للأشياء الفيزيائية ولمشاعرنا وانفعالاتنا وللعمليات العقلية الخاصة بنا كل هذه الملاحظات إنما تمتد وتتسع من خلال الزمان، وتعجز عن الإفلات من التيار الذى يتدفق بلا انقطاع من الماضى إلى المستقبل مروراً بالحاضر[٨١]. والواقع أن الاهتمام الذى أولته فلسفة العلم لفكرة الزمان أقل بكثير من اهتمامها بفكرة المكان. فعادةً ما يتم النظر إلى الزمان بوصفه مماثلاً للمكان وإن كان أكثر منه بساطة، وذلك لأن الزمان ذو بعد واحد، فى حين أن المكان متعدد الأبعاد. ولقد اعتقد بعض الفلاسفة أن إيضاح فكرة المكان سيؤدى إلى حل مشكلة الزمان. فالفيلسوف الألمانى "كانط" قد عرض المكان والزمان بوصفهما صورتين للعيان الخالص، وعالجهما فى فصل مشترك من كتابه "نقد العقل الخالص". غير أن الإبستمولوجيا الحديثة قد أثبتت بوضوح – كما يقول ريشنباخ – أن الزمان والمكان ليسا صورتين للعيان الخالص، كما كان يعتقد "كانط"، وإنما هما صفتان للنظام الموضوعى للعالَم الفيزيائى الذى يمكن ملاحظته فى الواقع عن طريق الذات المُدرِكة[٨٢].

الزمان، إذن، يبدو أقل إشكالاً من المكان، لأنه لا ينطوى على صعوبات ناجمة عن تعدد الأبعاد. وفضلاً عن ذلك فإن الزمان لا يثير مشكلة كتلك التى أثارتها الهندسة اللاإقليدية، فما دام الزمان ذو بعد واحد فسيكون من المستحيل إثارة مشكلات تتعلق باستقامة الخطوط وانحنائها. ومن ثمَّ يفتقر الزمان – بسبب واحدية بعده – إلى تلك المشكلات التى أدى إليها التحليل الفلسفى لمشكلات المكان[٨٣].

فالزمان هو خاصية للطبيعة نعبر عنها فى نسق تصورى، وأن التتابع السببى هو ظاهرة فيزيائية تناظر (فيما يتعلق بالزمان) الأجسام الصلبة فى المكان[٨٤]. ويستخدم ريشنباخ مصطلح "السلسلة السببية" ليعبر به عن أشكال التتابع السببى، مثل انتقال إشارات التلغراف بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية، أو حتى نقل الأشياء المادية. ومن ثمَّ فإن كل الحوادث الفيزيائية إنما تشكل سلاسل سببية، ومن أهم خصائص السلسلة السببية أنها غير قابلة للانعكاس، أى أنها لا ترجع أبداً إلى نقطة بدايتها، ولا يقصد ريشنباخ بلفظ "ترجع" أنها تعود إلى المكان نفسه فحسب، وإنما تعود إلى المكان والزمان نفسهما[٨٥].

والواقع أن ترتيب الزمان يرتبط بفكرة السببية. ففى تجاربنا اليومية نأخذ مسألة أن علاقة السبب بالنتيجة لها اتجاه معين، كقضية مسلم بها، ونكون على قناعة بأن الحادث اللاحق لا يمكن أن يكون سبباً للحادث السابق. وعندما نتساءل عن كيفية التمييز بين السبب والنتيجة فإننا عادةً ما نقول إنه إذا ارتبط حادثان برابطة السببية فإن السبب هو الذى يسبق النتيجة زمنياً، أى أننا ندرك الاتجاه السببى من خلال اتجاه الزمن[٨٦]. وعلى ذلك فإن قيام علاقة السببية بإيجاد ترتيب متسلسل للحوادث الفيزيائية هو سمة من أهم سمات العالَم الذى نعيش فيه. غير أن الترتيب المتسلسل لا تمليه ضرورة منطقية، إذ إننا نستطيع تخيل عالَم لا تؤدى فيه السببية إلى ترتيب متسق للسابق واللاحق. فى مثل هذا العالَم لن يكون الماضى والمستقبل منفصلين انفصالاً قاطعاً، وإنما يمكن أن يتلاقيا فى حاضر واحد، ونستطيع أن نتقابل مع أنفسنا كما كنا منذ عدة سنوات ونتحدث معها، على أن من الوقائع التجريبية أن عالمنا ليس من هذا النوع، وإنما هو يقبل نظاما متسقا على أساس علاقة متسلسلة مبنية على ارتباط سببى يسمى الزمان، فالترتيب الزمنى يعكس الترتيب السببى فى الكون[٨٧].

وكان "ليبنتس" Leibniz (١٦٤٦–١٧١٦) هو أول من أشار إلى فكرة رد الترتيب الزمنى إلى الترتيب السببى، وتعبر هذه الفكرة عن ميله إلى القول بنسبية الزمان والمكان. غير أن التوصل إلى النظرية السببية للزمان ما كان يمكن أن يتحقق قبل أن يُكْمِل أينشتين نظريته فى النسبية. فمن خلال نقد أينشتين للتزامن تم استخلاص الدليل الحاسم والمقبول لتعريف النظام الزمنى على أساس الترتيب

السببى[٨٨]، إذ إن هناك تعريف مقابل لتعريف التعاقب الزمنى، هو تعريف التزامن (أو المهية) simultaneity. فنحن نسمى الحادثين متزامنين إذا لم يكن أحدهما سابقاً أو لاحقاً للآخر.

والتزامن – كم يقول ريشنباخ – لا يمكن معرفته، وإنما ينبغى تعريفه، وهذا التعريف سيكون تعسفيًا إلى حد ما. فإذا أطلق مدفعان نيرانهما من فوق جبلين متباعدين فى وقت واحد، فإننى سوف أسمع صدى صوت المدفعين معاً فى آن واحد إذا كنت واقفًا فى منتصف المسافة بينهما. ويمكن حينئذ أن أؤكد أيضاً أن إطلاق النار من المدفعين لم يتم فى آن واحد بل على التوالى، ويمكن إثبات ذلك بالرجوع إلى القول بأن موجات الصوت كانت سرعتها فى اتجاه أكبر منها فى الاتجاه الآخر. إنه فى وسعى أن أعتبر – وبطريقة تعسفية تماماً – أن أحد المدفعين كان أسبق فى إطلاق النار، ولن يوقعنى مثل هذا التأكيد فى تناقض، أى أننى سمعت صدى صوت المدفعين معاً فى آن واحد عند منتصف المسافة[٨٩].

إن الزمان – وفقاً لنظرية النسبية – هو تسلسل حوادث استناداً إلى مرجع، وأن تسلسل الحوادث ليس واحدًا عند جميع المراقبين، فهو يختلف باختلاف حركة المراقب أو المشاهد وهذا معناه أن فكرة وجود زمان مطلق ينساب فى الكون كله تترتب بموجبه الحوادث فى المكان هو فرض ميتافيزقى لا أساس له من الصحة. ومن ثمَّ فإن الزمان ليس كياناً مثالياً أو فكرياً له وجود أفلاطونى يُدْرَك بنوع من الحدس، وليس نوعاً ذاتياً من الترتيب يفرضه الملاحظ البشرى على العالَم، كما أعتقد "كانط". بل إن فى استطاعة الذهن البشرى – كما يقول ريشنباخ – أن يدرك نظماً مختلفة للترتيب الزمنى، يُعَد الزمان التقليدى نظاماً واحداً منها، وزمان أينشتين بما يفرضه من حدود على الانتقال السببى، نظاما آخر. أما اختيار الترتيب الزمنى الذى ينطبق على عالمنا، من بين هذه الكثرة من النظم الممكنة، فهو مسألة تجريبية. فالترتيب الزمنى يمثل صفة عامة للكون الذى نعيش فيه، والزمان حقيقى بالمعنى نفسه الذى يكون به المكان حقيقياً. ومعرفتنا للزمان ليست قبلية، وإنما هى نتيجة ملاحظة، أى أن النتيجة التى تؤدى إليها فلسفة الزمان هى أن تحديد التركيب الفعلى للزمان إنما هو عمل من أعمال الفيزياء.

وهكذا أدى التحليل العلمى إلى تفسير للزمان يختلف كل الاختلاف عن تجربة

الزمان فى الحياة اليومية. فقد اتضح أن ما نشعر بأنه تدفق للزمان، هو فى ذاته العملية السببية التى تُكَوِّن هذا العالَم. وتبين لنا أن تركيب هذه الصيرورة السببية ذو طبيعة أعقد بكثير مما يكشفه الزمان الذى ندركه بالملاحظة المباشرة. يقول ريشنباخ: "صحيح أن العلم يجرد المضمون الانفعالى لكى ينتقل إلى التحليل المنطقى. غير أن من الصحيح أيضاً أن العلم يفتح آفاقاً جديدة، تجعلنا نمارس يوماً ما انفعالات لا عهد لنا بها من قبل على الإطلاق[٩٠].

obeikan.com

obeikan.com

مراجع وهوامش الفصل الرابع

(١) جيمس جينز، الفيزياء والفلسفة: ص ص ٦٤-٥.

(1) H. Reichenbach, Philosophy and Physics, P. 12.

(٢) د. نازلى إسماعيل حسين، النقد فى عصر التنوير، ص ١٤٠.

(٣) المرجع السابق، ص ص ١٤٠-١٤١.

(٤) المرجع السابق، ص ١٤٤.

(5) H. Reichenbach, Philosophy and Physics, P. 12.

(٦) د. نازلى إسماعيل حسين، مناهج البحث العلمى، ص ٧٩.

(7) Shapere, Dudley: Space, Time and Language_An Examination of some Problems and Methods of the Philosophy of Science, in "Philosophy of Science", Vol. 2., Edited by Bernard Boumrin, New York, 1963, P. 139.

(8) H. Reichenbach, Rationalism and Empiricism, P, 338.

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

(10) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, Dover Publications, Inc. New York, 1958, P.1.

(١١) د. نازلى إسماعيل حسين، الفلسفة الحديثة – رؤية جديدة، القاهرة، مكتبة الحرية الحديثة، ١٩٧٩، ص ١٤١.

(12) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 114

(١٣) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١١٧.

(١٤) د. محمد ثابت الفندى، فلسفة الرياضة، ص ٤٩.

(١٥) د. نازلى إسماعيل حسين، النقد فى عصر التنوير، ص ١٥٧.

(١٦) د. محمد ثابت الفندى، فلسفة الرياضة، ص ٤٩.

وأيضاً: H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, PP. 3_4.

(١٧) المرجع السابق، ص ٥٠.

(١٨) المرجع السابق، ص ٦٦.

(19) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, PP. 3_4

(٢٠) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١١٨.

obeikan.com

(21) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, P. 2.

(٢٢) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١١٨.

وأيضاً: H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, P. 2-3

(٢٣) المرجع السابق، ص ١٨٨.

(24) Hempel, Carl G., Geometry and Empirical Science, in: "The Structure of Scientific Thought", edated by Edward H. Madden, Houghtom Miffilin Company, Boston, P. 74.

(25) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, P. 3.

(26) Hempel, Carl G., Geometry and Empirical Science, P. 74.

(٢٧) د. محمد ثابت الفندى، فلسفة الرياضة، ص ص ٥٨-٩.

(28) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, P. 3.

(٢٩) د. عبد الرحمن بدوى، مناهج البحث العلمى، ص ص ٣٥-٦.

(30) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 114

(٣١) بول موى، المنطق وفلسفة العلوم، ترجمة د. فؤاد زكريا، القاهرة، دار مصر، ص ص ١٤٣-٤.

(32) H. Reichenbach, The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, in "Readings in the Philosophy of Science", P. 200.

(33) Ibid., P. 200.

(34) H. Reichenbach, Axiomatization of the Theory of Relativity, Translated and edited by Maria Reichenbach, University of California Press, California, 1969, P. 12.

(35) Ibid., P. 12.

(36) Ibid., P. 12.

(37) Ibid., P. 13.

(٣٨) د. محمد ثابت الفندى، فلسفة الرياضة، ص ٦١.

(٣٩) د. نازلى إسماعيل حسين، النقد فى عصر التنوير، ص ١٥٧.

(٤٠) بوانكاريه، قيمة العلم، ص ٤٤.

(٤١) بول موى، المنطق وفلسفة العلوم، ص ١٤٥.

(42) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, PP. 10-11.

(43) H. Reichenbach, The Theory of Relativity and A Priori Knowledge, P. 76.

(44) Ibid., P. 76.

(٤٥) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٨.

obeikan.com

(٤٦) د. محمود فهمى زيدان، فى فلسفة اللغة، ص ص ٧٢ـ٣.

(47) H. Reichenbach, The Theory of Relativity and A Priori Knowledge, P. 76.

(48) H. Reichenbach, Rationalism and Empiricism, P, 339.

(49) H. Reichenbach, The Theory of Relativity and A Priori Knowledge, P. 76.

(٥٠) د. نازلى إسماعيل حسين، مناهج البحث العلمى، ص ١٤٦.

(٥١) رسل (برتراند)، ألف باء النسبية، ترجمة فؤاد كامل ومراجعة د. محمد مرسى أحمد، وزارة الثقافة والإعلام، بغداد، ١٩٨٦، ص ٨٩.

(52) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, PP. 73_4.

(53) Ibid., PP. 74_5.

(54) Ibid., P. 79.

(55) H. Reichenbach, The Theory of Relativity and A Priori Knowledge, P. 2.

(56) H. Reichenbach, From Copernicus to Einstein, P. 144.

(57) H. Reichenbach, The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, P. 203.

(58) H. Reichenbach, Op., Cit., P. 115.

(٥٩) رسل (برتراند) ألف باء النسبية، ص ٦٩.

(٦٠) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٧.

(٦١) د. محمود فهمى زيدان، فى فلسفة اللغة، ص ٧٣.

(٦٢) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٧.

(63) H. Reichenbach, from Copemieus to Einstein, P. 119.

(٦٤) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٨.

(65) Edwads, Paul, (Editor in Chief), The Encyclopedia of Philosophy, Vol. 7, P. 116.

(٦٦) د. ياسين خليل، مقدمة فى الفلسفة المعاصرة – دراسة تحليلية ونقدية للاتجاهات العلمية فى فلسفة القرن العشرين، ط١: مطالع دار الكتب، بيروت، ١٩٧٠، ص ٥٧.

(67) H. Reichenbach, the Philosophy of Space and Time, P. 14.

(68) H. Reichenbach, The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, P. 199.

(69) Edwards, Paul, (Editor in Chief), The Encyclopedia of Philosophy, Vol. 7, P. 16.

(70) H. Reichenbach, the Philosophy of Space and Time, P. 16.

(٧١) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٢.

(٧٢) المرجع السابق، الموضع نفسه.

Obeikan.com

(73) H. Reichenbach, The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, P. 200.

(74) Ibid., P. 200.

(٧٥) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٣.

(٧٦) المرجع السابق، ص ص ١٢٣-٤.

(77) H. Reichenbach, The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, P. 200.

(78) Ibid., PP. 200_201.

(79) Ibid., P. 201.

(٨٠) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٢٤.

(81) H. Reichenbach, the Direction of Time, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 1956, P. 1.

(82) H. Reichenbach, Modern Philosophy of Science, PP. 89_90.

(83) H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, P. 109.

(84) H. Reichenbach, Axiomatization of the Theory of Relativity, P. 15.

(85) H. Reichenbach, Modern Philosophy of Science, P. 91.

(86) H. Reichenbach, The Direction of Time, P. 27.

(٨٧) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٣٧.

(88) H. Reichenbach, The Direction of Time, P. 25.

(٨٩) ريشنباخ، من كوبرنيقوس إلى أينشتين، ص ١١١.

(٩٠) ريشنباخ، نشأة الفلسفة العلمية، ص ١٤١.

openkan.com