الفصل الخامس

نظريـة النسبيـة العامـة

obeikandl.com

obeikandl.com

إن طريق إكمال نظرية النسبية العامة كان طويلاً وشاقًا، رغم أن الأفكار الرئيسية التى أدت إلى قيامها كانت واضحة لأينشتين، ولقد عبر "أينشتين" بالفعل عام 1906 – بعد عام واحد من صياغة نظرية النسبية الخاصة – عن الأفكار الرئيسية للنظرية الجديدة متجاوزًا ما قال به "ماخ". ولكن بناء النظرية وضعه أمام صعوبات رياضية لا مفر منها، فلقد اعتقد "أينشتين" فى إحدى مراحل بحثه أنه قد برهن على إمكان صياغة نظرية عامة للنسبية، ونجح سنة 1915 فى إكمال نظريته هذه مدمجًا فكرة "ماخ" عن نسبية الحركة مع نظرية النسبية الخاصة فى نظرية جديدة تمامًا عن الجاذبية، متوصلاً بهذا إلى صياغة نهائية عظيمة لإحدى مراحل الفيزياء الكلاسيكية، ولم يسمع الجمهور بصدى هذه النظريات إلا فى عام 1919 حينما لاحظت البعثة الإنجليزية [1]. لاستقصاء كسوف الشمس أول تأكيد فلكى لتنبؤات "أينشتين".

ومن أجل تقديم نظرية "أينشتين" فى الجاذبية علينا أن نتعرف أولاً على ما أدخله "أينشتين" من تعديل على فكرة "ماخ" التى تقرر أن نسبية القوة لا تصح إلا فى سياق حركة الدوران، وكان على "أينشتين" أن يجعل لهذه الفكرة آفاقًا تجعلها تستوعب كل أنواع الحركة. ونجح فى مهمته من خلال ما يسمى بمبدأ التكافؤ.

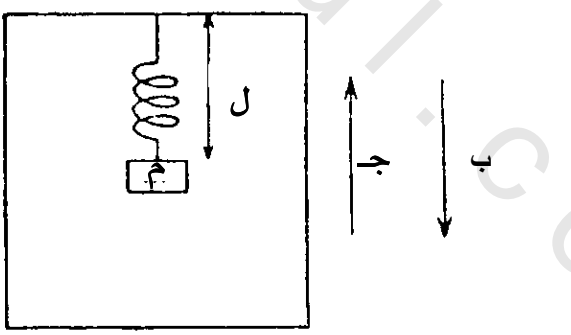
---

(1) كان "أينشتين" قد تنبأ بأن مجالات الجذب تؤدى إلى إنحناء أشعة الضوء، ولكن لم يتم التحقق عمليًا من صحة هذا التنبؤ إلا بعد أن قام عالِم الفلك الإنجليزى "أدنجتون" بتنظيم رحلتين إلى غينيا والبرازيل فى عام 1919 لاختبار النظرية أثناء الكسوف الكلى للشمس فى 29 مايو 1919، ولقد استطاعت البعثتان أن تلتقطا مجموعة من الصور توضح مواقع النجوم، ورصدتا ضوء النجوم وهو ينحرف فعلاً، ومع أن مقدار انحراف أشعة الشمس الذى تم رصده فى غينيا كان أقل مما قدرته نظرية أينشتين، فإن مقدار الانحراف الذى رصدته بعثة البرازيل كان أكثر قليلاً. (المترجم)

ويمكن توضيح هذا المبدأ باستخدام ما يسمى "صندوق التجارب" الذى اخترعه "أينشتين" لتوضيح أفكاره. إنه صندوق مغلق فى حجم غرفة يتواجد بداخله عالِم الفيزياء (شكل 8)، ومن السقف يتدلى سلك لولبى ينتهى بثقل من الحديد (م)، وقد تم حساب بعد الثقل عن السقف، وهو البعد الذى يتوقف عليه توتر السلك.

وحيث إن الصندوق بلا نوافذ، فمن أين لعالِم الفيزياء أن يلاحظ حركة الصندوق حين يتحرك ؟ وافرض أن الصندوق يُجْذَب بحبل فى اتجاه صاعد يحدده السهم (ب)، فهل يلاحظ هذا العالِم الفيزيائى ؟ إنه يشعر بالتغير فى داخل الصندوق، فقد يبقى الثقل (م) ساكناً على أساس مبدأ القصور الذاتى، ولكن السلك اللولبى يتمدد قليلاً مما يزيد توتره، وبهذا تفضى الحركة ذات العجلة بهذا اللولبى إلى الاستطالة [1].

ويفترض "أينشتين" الآن أن العالِم يشعر باستطالة السلك، فهل يمكنه الاستدلال على حركة الصندوق ؟ بالطبع نعم يمكنه ذلك، لأن حركة الصندوق هى التى أحدثت هذه النتيجة، ولكن هل هذه النتيجة لا تتمخض إلا عن هذا السبب ؟ إن الأمر يدعو إلى التفكير فى وجود سبب آخر غير حركة الصندوق.



شكل رقم (8)
صندوق التجارب « لأينشتين »

(1) أما فى حالة الحركة المنتظمة فسوف لا يتغير وضع الصندوق، وبالتالى لا يتمدد اللولب، والأمر الجدير بالذكر فى هذا الصدد أن حركة الصندوق حركة ذات عجلة. (المؤلف)

وعلى هذا الأساس فإننا إذا جمعنا تحت الصندوق مجموعة نجمية، فلسوف يؤثر مجال جاذبيتها على الثقل تأثيرًا يمثله السهم (جـ) مما يؤدى إلى جذب الصندوق إلى أسفل. ومرة أخرى يلاحظ العالِم الفيزيائى زيادة فى توتر السلك اللولبى مصحوبًا بزيادة فى طوله، وهذه النتيجة الأخيرة تؤدى إلى الاستدلال على وجود مجال جاذبية تحت الصندوق وحركة الصندوق إلى أعلى.

والسؤال الذى يطرح نفسه الآن، هو: أليست هناك ثمَّة طريقة للتمييز بين هذين الاحتمالين ؟ ألا توجد تجارب أخرى تمكننا من التمييز بين وجود مجال الجاذبية والحركة المتطورة ؟ بالقطع لا يوجد تمييز بينهما ما دام الفيزيائى داخل الصندوق يجرى تجاربه. ولكن إذا زود الصندوق بنافذة، ألا يستطيع من خلالها الفيزيائى ملاحظة ما يدور حوله فى الخارج ؟

إن فى وسع العالِم الفيزيائى أن يلاحظ بسهولة وبالعين المجردة ما إذا كانت هناك مجموعات نجمية تحت الصندوق أم لا. وعلى كلٍّ يجب أن نتذكر هنا أنه طبقًا للفروض السابقة فإن هناك مجالات جاذبية أخرى ممكنة غير تلك التى يحدثها وجود المجموعات النجمية. وبالتأكيد فإن حركة الكتلة أيضًا تُحْدِث مجالاً للجاذبية هو ما نسميه مجال الجاذبية الديناميكى. وعلى فرض عدم وجود تلك المجموعات تحت الصندوق، وأن الفيزيائى يلاحظ رغم هذا حركة الصندوق حركة ذات عجلة بالمقارنة بالعالَم الخارجى، فهل عليه أن يقرر أن الصندوق يتحرك والأرض ساكنة ؟ لقد اتضح لنا أن مجرد الملاحظة بالعين المجردة لا يمكن أن تؤدى إلى شىء إيجابى فى هذا الصدد، لأن العين تخبرنا بتغير نسبى فى المسافات، ولهذا فإن التجارب الميكانيكية داخل الصندوق ليست حاسمة، إذا ما أخذ الفيزيائى فى الاعتبار مجالات الجاذبية الديناميكية فحسب. وتلخيصًا لما سبق، فإن الفيزيائى فى مواجهة استطالة السلك يقف أمام استنتاجين :

1- إن الصندوق يتحرك إلى أعلى بعجلة فى اتجاه (ب) وقد يبقى الثقل (م) بلا حركة على أساس مبدأ القصور الذاتى، بينما يتوتر السلك اللولبى.

2- إن الصندوق ساكن بينما تتحرك الكتل المحيطة حركة ذات عجلة إلى أسفل محدثةً مجال جاذبية ديناميكى (جـ)، وفى الوقت ذاته ينجذب الثقل إلى أسفل بفعل ثقله مما يؤدى إلى توتر السلك اللولبى.

كلا الفرضين مُبَرَّر ولا يمكن استبعاد أحدهما، وبالنظرة الأكثر عمقًا نجد أنه رغم صحة الفرضين فإن هناك فرقًا فى الفرض الأول يُبْقِى الثقل (م) بلا حركة متأثرًا بالقصور الذاتى، أما فى النتيجة الثانية فإنه ينجذب إلى أسفل بفعل ثقله، نحن أمام خاصيتين مختلفتين : القصور الذاتى والثقل، إحداهما بإزاء الأخرى، وكلاهما تؤدى إلى نفس الأثر. ألا وهو زيادة توتر السلك اللولبى، والسؤال الآن : على أى أساس قد تم ذلك ؟

الإجابة تقتضينا إعادة فحص خصائص الأجسام بتفصيل أكبر، لأن غير المتخصص لا يعرف بالضبط ما المقصود بفكرة القصور الذاتى وفكرة الثقل فعلينا أن نميز بينهما، أى بين الكتلة والثقل.

لو أمسكنا بقطعة حديد لشعرنا بضغط ينشأ عن ثقلها، الذى يُكونه عاملان: كتلة الجسم نفسه أولاً، وكتلة الأرض ثانيًا. إنه أثر مزدوج يمكن شرحه فيما يلى : فى حالة الإمساك بقطعة أكبر من الحديد، سيزداد ضغطها على اليد، وأحد عناصر الزيادة ينشأ عن كتلة الجسم، لكن زيادة الضغط قد يُحدثها أمر غير هذا، فلنرحل إلى بعض المواضع التى تزداد فيها الأرض مما يؤدى إلى زيادة جاذبيتها للجسم، وبالتالى زيادة ضغطه على اليد. إنها أماكن موجودة فعلاً. فعلى سبيل المثال قد تكون منجمًا عميقًا أو موضعًا بالقرب من قطب الأرض الذى هو أقرب إلى مركزها من المواضع الاستوائية أو المتوسطة، آخذين فى الاعتبار الشكل المفلطح للأرض. ومما لا جدال فيه أن الاختلافات الخاصة بالجاذبية قد لا تُدْرِك باليد، بينما تسجلها مقاييس حساسة، ليست على غرار الموازين المعتادة. إن الموازين المشار إليها لا تكون من النوع المتوازن، لأن الأوزان الموضوعة فى جانب لا يمكن أن تزيد فى الوزن كثيرًا مثل قطعة الحديد – مما يؤدى إلى أن توضح

الموازين نفس الوزن من قبل – فيمكن استخدام ميزان زنبركى، مثل الميزان المستخدم فى المنازل، فى تلك الأماكن القطبية فيزداد الضغط على الزنبرك، وعلى ذلك فإن وزن الجسم يختلف عن كتلته، نتيجة لتأثير جاذبية الأرض على هذه الكتلة، وينعدم وزن الجسم وتبقى كتلته كما هى دون تغير عندما يكون على سطح أجرام سماوية أخرى تبتعد عن الأرض بعدًا هائلاً. إن أوزان الأجسام على ظهر كوكب مثل المشترى تزداد عما هى عليه فى الأرض بدرجة تفوق مقدرتنا العضلية، فعلى سبيل المثال فإن المجهود الذى نبذله لحمل طفل على سطح الأرض يعادل ذلك المجهود الذى نحمل به شخصًا بالغًا على سطح القمر، وهكذا تُعرَّف الكتلة بأنها خاصية للجسم تحدد وزنه فى مجال محدد، يعتمد على هذا المجال وزن الجسم نفسه.

وإذا ما فُهمت الكتلة على هذا النحو، فإنها تميز الجسم بالقياس إلى مجال جاذبية ما فحسب، وبالتالى بأسلوب غير مطلق. ولنسميها حينئذ " ثقل كتلة " الجسم. وبالإضافة إلى ذلك فإن هناك أثرًا آخر للكتلة مختلفًا كل الاختلاف يؤدى بنا إلى تصور "الكتلة القاصرة".

علينا أن نتخيل قوة كبيرة بإمكانها تحريك قطار بضاعة ضخم. إن هذه القوة لا تعمل ضد اتجاه الجاذبية لأن القطار يتحرك أفقيًا. أما القصور الذاتى للثقل فهو الذى يعارض اتجاه حركته، وبالتالى فإن القوة الموظفة مستقلة تمامًا عن الجاذبية. ولتحريك هذا القطار على كوكب المشترى لا نحتاج لقوة أكبر مما نحتاجها على الأرض، والعكس صحيح، فالأمر على القمر ليس بالأمر السهل، إن الكتلة القاصرة هى تلك الخاصية التى تحددها المقاومة لكل تغير فى الحركة.

إن القول بأن كتلة الجسم القاصرة تساوى كتلة وزنه، هو واقعة تجريبية، وهذا ما نوضحه فيما يلى :

لنفرض أن هناك لوحًا من الخشب وقطعة من الحديد موضوعين على ميزان

كبير، وكلاهما متساوى فى الوزن، وبالتأكيد يكون لوح الخشب أكبر كثيرًا، ورفع كلاهما إلى قاطرة سكة حديد الواحد تلو الآخر. ثم نتحقق ما إذا كانت الصعوبة متساوية لجعلهما يتحركان على طول القضبان الأفقية. وبغض النظر عن الاتجاه، قد يبدر لنا أن لوح الخشب الأكبر حجمًا له مقاومة قصور أكبر من تلك الخاصة بكتلة الحديد، لأن وزنهما وضغطهما على القضبان لا يدخل فى الاعتبار، إلا أن التجربة تعلمنا بأنه لا فرق على الإطلاق بين الجسمين. فالأجسام المتساوية الوزن لها نفس القصور الذاتى، فكتلة الوزن تساوى الكتلة الكامنة.

هذه النتيجة تفسر أيضًا حقيقة أن الأجسام تسقط بسرعة متساوية فى الفراغ الخالى من مقاومة الهواء. والسبب فى هذا أن الجسم الأثقل يحمل كتلة ساكنة أكبر رغم ما له من سرعة سقوط أثقل، ولهذا فإنه لا يسقط أسرع من غيره.

وبهذه الاستنتاجات نعود إلى حيث بدأنا، عالِم الفيزياء فى صندوقه، لديه تفسيران متكافئان لما توصل إليه من نتائج، هنا تتقارب تأملات "أينشتين" مع نقد "ماخ" لمشكلة الحركة الدائرية، وهنا أيضًا إزدواجية التفسير، إن تأثير القوى الملحوظة راجع كليةً إما إلى مقاومة القصور الذاتى أو إلى سيال من مجال الجاذبية الديناميكى، مع أن الأثر الملاحظ كان فى حالة "ماخ" هو قوة الطرد المركزية والضغط المضاد لسور الأرجوحة، أما فى حالة "أينشتين" فى تجربة الصندوق هو قوة شد السلك اللولبى وزيادة طوله (ل)، لكننا ندرك الآن ميزة عرض "أينشتين"، فهو يُمَكنِنا من اكتشاف سبب إزدواجية التفسير. إن السبب فى ترتيب الأثر الملاحظ نفسه على كلا التفسيرين ناشئ عن الحقيقة القائلة بأن الكتلة الكامنة تساوى كتلة الوزن.

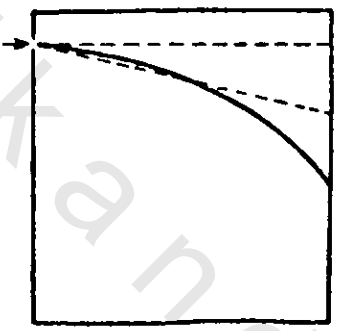
ورغم تساويهما فإن "أينشتين" كان أول من فطن إلى أهمية هذه الحقيقة، فأدرك أنها السبب فى اختلاف الحركة ذات العجلة والجاذبية، والسبب فى عدم قدرة عالِم الفيزياء فى الصندوق على تحديد ما إذا كان متحركًا لأعلى بحركة ذات عجلة أو أن مجال جاذبية يوجد تحته. كلا المفهومين متساويان عند "أينشتين"، ومن

اللغو عنده أن نبحث عن تمييز بينهما، ولقد طبع "أينشتين" هذه المشكلة بطابعه المميز.

وإذا أخذنا فى الاعتبار هذا التكافؤ فإن المفهوم يكون أكثر ثراء منه فى حالة البرهان التجريبى على تساوى الكتلة الكامنة وكتلة الوزن، إن هذا افتراض عام لكل ظاهرة طبيعية. فالتكافؤ لا يصح فقط فى حالة الظواهر الميكانيكية، بل أيضًا فى الظواهر الكهربية والبصرية وغيرها، وفى كل هذه الحالات ليس هناك فرق يذكر إذا ما تحدثنا عن حركة ذات عجلة للصندوق أو عن مجال جاذبية. إن افتراضا بعيد المدى متضمن فى هذا، وهو أن كل الظواهر الكهربية والبصرية والظواهر الأخرى يجب أن تنطوى تحت لواء النظرية العامة للجاذبية، وأن دور الجاذبية واحد سواء فى حالة النظرية الكهربائية أو البصرية أو الميكانيكا.

وأقول إن هذا هو الطابع الأينشتينى المميز. فالعمق الفيزيائى لأفكار "أينشتين" يمكن بالفعل أن يُفْهَم عندما ندرك فقط كيف أن هذه الطريقة فى التفسير موظفة فى فروضه الأساسية. كما هو الحال فى نظريته عن النسبية الخاصة. ومن المعروف أن محاولات كثيرة هامة فشلت فى البرهان على وجود الأثير مما أدى بأينشتين إلى استنتاج أن كل محاولة ستبوء بالفشل مهما كانت وسيلتها. ومبدأ التكافؤ ينبئ عن نفس الموقف، فالظواهر الميكانيكية لا تبدى فرقًا بين حركة ذات عجلة ومجال الجاذبية، ويضيف "أينشتين" أن هذه النظرية تنطبق على كل الظواهر، ومن وجهة نظر منطقية فلا استنتاج أكثر من هذا، لأن هذا الافتراض بعيد المدى لا يمكن منطقيًا البرهان عليه بواسطة الحقائق المتاحة، وفضلاً عن هذا فلدينا إجراء مشابه فى الفيزياء وهو صياغة الفرض، وبالرغم من أن افتراضات أكثر شمولاً ليس من الممكن تبريرها منطقيًا فإنه على الأقل يمكن تبريرها على مستوى التخيل، وهنا يعن لنا وجود شىء يشبه الغريزة التى تتنبأ بنوايا الطبيعة الخبيئة، فمن أوتى هذه الملكة أمكنه الكشف عن الكنز الفريد، وبالتالى أمكنه استكشاف أبعاد علمية عميقة، هذه الملكة أوتى منها "أينشتين" الحظ الوفير، فرغم

أن فروضه لا يمكن التثبت منها بطريقة منطقية خالصة، فهى تقدم رؤى جديدة فى موضوعها، وكما أن المعرفة بموطن الذهب تؤهلنا للكشف عنه، فإن إمكان إجراء التجارب فى مجال الفيزياء يؤهلنا للتحقق من الفروض الجديدة، أى أن هناك تجارب يمكن إجراؤها لفحص فرض "أينشتين" القائل بأن الظواهر الكهربية والبصرية تتأثر بالجاذبية، إن مثل هذه التجارب قد أجْريت فعلاً وأكدت بطريقة حاسمة صحة فرض "أينشتين".



شكل رقم (9)
انحناء أشعة الضوء فى صندوق أينشتين

ومما يساعد على توضيح هذا الاتجاه من الفكر أن نطبقه على مثال محدد، هو بالتحديد ارتباط الضوء بالجاذبية، فلنرجع إلى الصندوق الذى يُجرى عالِم الفيزياء تجاربه داخله دون أن يكون قادرًا على التمييز بين العجلة والجاذبية.

ولنفترض أن الصندوق ساكن (شكل 9) وفى حائط جانبى منه يوجد ثقب من خلاله يسطع شعاع من الضوء، وهذا الشعاع يسير مستقيمًا وأفقيًا مع غبار الهواء (مشار إليه بالخط المتقطع فى الشكل). وإذا تحرك الصندوق الآن حركة منتظمة. فالخط يتغير حيث الضوء يدخل من خلال الثقب ويصل تمامًا إلى نقطة مقابلة على الحائط، فكما تحرك الصندوق إلى أعلى تتحرك نقطة الإضاءة إلى

أسفل بعيدًا عن السقف، ويبدو منظر الشعاع منحنيًا رغم أنه يسير فى اتجاه مستقيم. ثم افرض أن الصندوق يتحرك بعجلة إلى أعلى، فكلما هبط الشعاع إلى أسفل بسرعة كلما صعد الصندوق أسرع. ويأخذ الشعاع الشكل المنحنى (أنظر الخط المتصل)، وفى غبار الهواء يبدو كما لو كان عمود ماء ينساب فى أنبوبة على شكل قوس، هذه التجربة متعذرة علميًا لسبب بسيط وهو أن سرعة انتشار الضوء تحول دون حركة الصندوق فى الفترة نفسها التى تتضاءل إلى حد الخيال، فلا يلاحظ تحول عملى فى شكل الشعاع، إن تجربتنا محض تجربة "ذهنية" المقصود بها توضيح المبدأ.

ولنعد الآن إلى مبدأ "أينشتين" عن التكافؤ الذى يحدد فيه أن الأمر سيان سواء اعبترناه حركة ذات عجلة أم مجال جاذبية. والنتيجة أن منحنى أشعة الضوء يحدث فى حالة الحركة ذات العجلة، فهو أيضًا يحدث فى حالة مجال الجاذبية، وهنا ينتج استنتاج مذهل، إنه نتيجة لنظرية "أينشتين" عن الجاذبية لكنه بعيد فى مدى أهميته وبمقتضاه لا ينتشر الضوء فى الفضاء فى شكل مستقيم، فى حال وجود مجال جاذبية، بل على العكس إنه يتبع مسارًا منحنيًا يشبه الصواريخ أو القذائف الطائرة، والدلائل الفلكية على هذا كثيرة منذ ابتدعها "أينشتين" لأول مرة لتبرير افتراضاته النظرية، ثم تأكد بطريقة نهائية أنها ملاحظات لا تحتاج فقط دقة كبيرة، بل يتعذر إجراؤها إلا فى حالة الكسوف الكلى للشمس الذى يقتضى ترتيبات محكمة يجريها عالِم الفلك الذى يرغب فى التحقق من نتائج "أينشتين".

لقد استنتج "أينشتين" من مبدئه عن التكافؤ شيئًا آخر يتعلق بآداء الساعات فى مجال الجاذبية، إنه بحساب انحرافات معينة للساعات بالقياس إلى حركة الصندوق ذات العجلة، وبتحويل النتائج إلى مجالات جاذبية استنتج بناء على اعتبارات مشابهة لما لخصناه أن الساعات التى تخضع لتأثير مجال جاذبية قوى ستصبح أبطأ، وهذا الأثر تبرهن عليه الساعات العادية، وحتى أرقى أجهزة حساب الزمن تعجز عن حساب هذه التأخيرات الطفيفة، لكن هناك ساعات أخرى توفق فى قياسها

كل عمل بشرى، إنها الذرات التى تتكون منها أى مادة. ولنصف الآن طريقة "أينشتين" فى البرهان على نظريته.

لقد أصبح من المعروف فى العهود الأخيرة أن الذرة ليست جسمًا متجانسًا بل تتكون من مادتين مختلفتين : النواه Nucleus موجبة الشحنة والإلكترونات Electrones سالبة الشحنة، والنواة الصغيرة رغم ثقلها توجد فى المنتصف، والإلكترونات تدور حولها فى مدارات بيضاوية، تسمح لنا باعتبار الذرة أشبه بساعة، كل دورة من دورات الذرة تلائم دورة يد وتكون وحدة زمان مقيس، إنه يمكن حساب دوران الإلكترونات بدقة فائقة، لأنها تدل على نفسها بعدد ذبذبات الضوء المقذوف بواسطة الإلكترون الدائر، إن فى مقدور أى إنسان أن يلاحظ أن لهب الغاز يتلون إذا ما أصاب الأملاح، فمن المعتاد أن ملح الطعام يجعل اللهب أصفر، لأنه يحتوى على الصوديوم أما البوتاسيوم فيجعله بنفسجيًا وهكذا، إن سبب التلوين هو أن ذرات العناصر ينشطها اللهب فتبعث ضوءًا ذبذباته تعتمد على عدد الدورات الإلكترونية التى تتبدى فى لون الضوء، واختبار الضوء للون يقاس بخطوط الطيف التى تلاحظ وتصور بجهاز غاية فى الدقة وهو المطياف الذى يحلل كل ضوء إلى مركباته الأولى، حيث يحلل الضوء الأبيض إلى "الطيف" الذى يتكون من ألوان قوس قزح متدرجًا من الأحمر إلى البرتقالى فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالبنفسجى، ولكن أضواء الذرات المشعة تتبدى فى خيوط دقيق ولكنها عريضة منفصلة إحداها عن الأخرى ومتميزة بلون محدد.

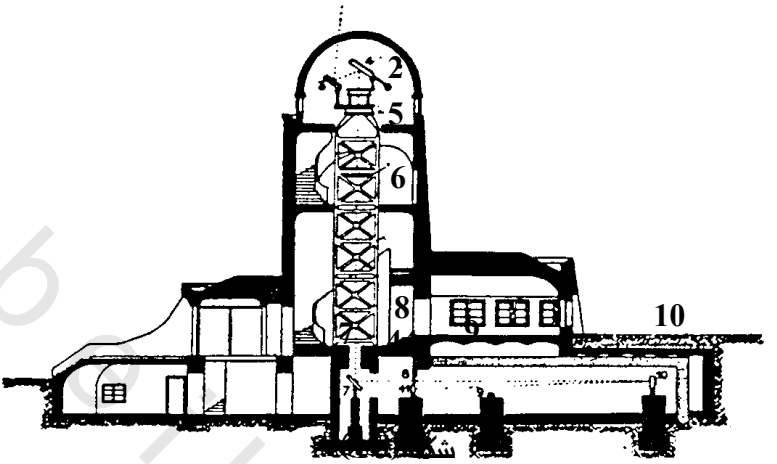
ويذكر "أينشتين" إن مثل هذه الساعة الذرية تُظهر التأخير فى مجال الجاذبية، وأقوى مجال للجاذبية يوجد على الشمس نظرًا لأن كتلتها أكبر بكثير من كتلة الأرض، ولما كان الغلاف الجوى للشمس يحتوى على غازات وهَّاجة فإن الظروف هناك تشبه نظيرتها فى حالة لهب الغاز وتكون الذرات متأججة، وباستخدام طيفى فمن الممكن أن نتعرف على الألوان التى تبعثها العناصر الذرية للشمس بواسطة خطوط الطيف، وأن نقيس مقدار ترددتها، أما إذا تأخرت الذرات

شيء ما فى حركتها بواسطة مجال جاذبية الشمس فإن خطوط الطيف الصادرة منها يجب أن تشغل مواضع مختلفة بمقدار طفيف عن الخطوط التى يظهرها الضوء ذو المصادر الأرضية. أنها تنحاز إلى اتجاه أقل عدد من الذبذبات ألا وهو النهاية الحمراء للطيف، وهكذا يتحدث المرء عن الطبقة الحمراء لخطوط الطيف الملاحظة فى ضوء الشمس.

فى البداية واجه الاختبار مصاعب كبرى، لأنه يتعامل مع انحرافات طفيفة للغاية، ولأن الأثر المحسوب يقع بالضبط على الخط الفاصل للشيء المقيس، أما القياسات الدقيقة فقد برهنت مؤخرًا على صحة اكتشافات "أينشتين" بطريقة مُرْضِية، ولكى يصل عالِم الفلك فرونيدليش Freundlich, E إلى برهان قاطع على هذا بنى برج أينشتين فى بوستدام Potsdam (أنظر شكل 10) وهو يحتوى كل اختراع فلكى وفيزيائى على أكمل وجه، ويحتوى على عدسة "5" فى قبته، يتوجه إليها نور الشمس من الجانب (بواسطة جهاز من المرايا "3" "4") وعلى هذا يعمل البرج كليةً كمنظار مقرِّب كبير مفرد، وفى قاعدة البرج يتجمع الضوء "7" ويوجه نحو آلات طيفية كبيرة، وداخل الجهاز عبارة عن فضاء طوله بضع أمتار ("8" – "10") منفصل تمامًا عن العالَم الخارجى، وعند "8" يدخل الضوء عبر ثقب، وعند "10" يوجد أعظم الأجهزة فائدة فى الجهاز كله وهو شبكة الانحراف التى تتكون من مرآة معدنية خفيفة الانحناء، بها عدد كبير من التشققات بالغة الدقة، وهى تشطر الضوء إلى مكوناته اللونية وتعكسه إلى "11" حيث يصور على شرائح فوتوغرافية، ويتوقع أن تبدأ حالاً الحسابات النهائية للطبقة الحمراء [1].

1

(1) لم يكن ممكنًا إكمال التجارب فى برج "أينشتين" إذ أرغم الأستاذ "فرونيدليش" على مغادرة ألمانيا حينما أتت حكومة هتلر إلى السلطة، وأطلق على برج أينشتين اسم آخر، وهو يُستخدم الآن لأغراض تعتبرها الحكومة النازية أقل ضررًا بالجيش الألمانى، وحتى وقتنا الحالى لم يتم التوصل إلى توضيح تام للطبقة الحمراء لخيوط الطيف. (مترجم النص الألمانى).



برج أينشتين فى بوتسدام

وأخيرًا نريد أن نذكر فى هذا الصدد الاختبار الفلكى الثالث الذى قال به "أينشتين" لنظريته، فقد أصبح من الواضح نتيجة للدقة الرياضية للنظرية أن حركات الكواكب تتبع قانونًا آخر أكثر تعقيدًا من القانون الذى تعلمناه من "نيوتن" وصار محل ثقة منذ عهده. لقد أظهر "أينشتين" أن نظرية "نيوتن" عن أن الشمس تجذب الكواكب بقوة تتناقض بالتناسب مع مربع المسافة صحيحة صحة تقريبية، ولضمان الدقة يجب أن يحل محلها قانونًا آخر، فبينما يرسم كل كوكب طبقًا "لنيوتن" مدارًا بيضاويًا حول الشمس، يترتب على قانون "أينشتين" الذى يؤكد رغم هذا أن المدار البيضاوى الشكل تصاحبه حركة دورانية أخرى إذ يدور المدار البيضاوى ككل حول الشمس خلال القرون، إن حركة الدوران هذه تبلغ ذروتها بالنسبة للكواكب القريبة من الشمس، ولقد لاحظ علماء الفلك منذ منتصف القرن الماضى أن عطارد Mercury أظهر انحرافات Deviations عن مداره الذى تم حركة دائرية من هذا النوع، ولقد ظهر هذا فى بقع الشمس. إن هذه الحركة المنسوبة لعطارد إلى 43 ثانية فى القوس لكل قرن، ورغم هذا لم يتمكن علماء الفلك من العثور على شرح وافى لهذه الحقيقة، بينما يقدم قانون "أينشتين" شرح هذه الحركة الدورانية للمدار.

إن تطابق النظرية والملاحظة له قوة اقناع ملحوظة فى هذا المجال وليس مستغربًا أن النظرية التى تفسر حركة الحضيض الشمسى تحدد بدقة هذا الانحراف، وعلى أية حال فلقد نشأت نظرية "أينشتين" على أسس أخرى مختلفة كلية، إنها تقوم على أساس نسبية الحركة وتساوى الجاذبية والأطراد، وكل تصميماتها تقتفى أثر هذا البرنامج، وكان من المدهش حقًا أن "أينشتين" بعد أن علم مؤخرًا بحقيقة حركة الحضيض الشمسى لعطارد أخضع نظريته، المؤسسة على مصادر مختلفة تمامًا للفحص ليعرف ما إذا كانت ستقدم إجابة عن هذا السؤال أم لا، وحينما استنتج كمية 43 ثانية من القوس من هذه النظرية، كان له كل الحق أن يعتبر هذا التطابق غير المتوقع تأكيدًا قويًا على صحة فروضه.

ولقد شرحنا فيما سبق النتائج الفلكية لنظرية النسبية بتفصيل، لأننا مهتمون بتوضيح أن الحقائق الملاحظة هى العامل الحاسم فى قبول نظرية "أينشتين". وتلك هى قوة النظرية، لأنها تُظْهر كنتيجة قصوى أن التأكيد النهائى للأفكار الفيزيائية لا تقدمه إلا الطبيعة نفسها، أما إذا كان السؤال عن مجرد خلق تصور عن كيفية تعقل القوى الفاعلة الكامنة فى الطبيعة، فإن الفيزياء ستصبح علمًا بسيطًا للغاية، إن التفسيرات يتم العثور عليها بسهولة تامة حينما يُطلق العنان للخيال قليلاً، ولكنه من قبل الفن المحض أن نجد تفسيرات تنشئها حقائق جديدة وتؤكدها التجربة، وينطبق هذا قبل كل شىء على المخترعين الكثيرين الذين ما زالوا يهتمون بمشكلة الأثير ويبحثون عن أفكار للتوفيق بين الخصائص المتعارضة، إنه يمكن العثور على هذه الأفكار ولكنها تفتقد قوة الاقناع لأن مؤلفيها لا ينجحون فى الحصول على نتائج تجريبية جديدة من نظرياتهم، ومن السهل اختراع نظرية عن الأثير تفسر انحراف الضوء والطبقة الحمراء، فليس هناك خدع عليها، بعد هذه الآثار التى اكتشفها "أينشتين"، وأيًا ما كان رسوخ الاعتقاد فى وجود الأثير، فيجب أن يأخذ من "أينشتين" مثالاً ويتنبأ بآثار قادرة على الدليل التجريبى، لكن ما دام لا يوجد هذا ، ولأن ما سبق أن تنبأ به "أينشتين" قد لوحظ ، فسنتشبث "بأينشتين" وبنظريته فى الجاذبية التى هى أيضًا نظرية فى نسبية الحركة.

ولن نحاول تقديم البناء الرياضى لنظرية "أينشتين" فلا يشك أحد رياضيًا فى أنها

مسألة غاية فى التعقيد، وقد سعى "أينشتين" إلى إيجاد تصور عام للجاذبية يوفق بين كل الأوصاف المختلفة التى قُدِّمت للجاذبية، ولهذا الغرض اضطر إلى تقديم طريقة رياضية جديدة فى الفيزياء تسمى حساب الممتدات. ونذكر "نيوتن" الذى طور على نحو مشابه، طريقة رياضية – وهى حساب التفاضل – والتى أقام نظريته عليها فى الجاذبية. وعلى كل فمع أن "نيوتن" اضطر أن يخترع فى هذا الوقت طريقة الحساب بنفسه، فإن "أينشتين" كان محظوظاً فى أن يستفيد من أجل تحقيق هدفه بالأعمال الرياضية التى سبقته، وفحوى الطريقة الجديدة فى الحساب تكمن فى تصورين أساسيين : الثابت، والمتغير التابع The Co - variant، فمجال الجاذبية هو مجال متغير تابع، وإذا انتقلنا من مجال حالة إلى مجال آخر فهذه الكمية تتغير بالإضافة إلى شىء، وهذا هو معنى المتغير التابع، ورغم هذا فلا ينبغى أن نؤمن أن المعنى الموضوعى بمعرفة الطبيعة سيغفل من الحسبان لأن كل هذه الأوضاع التى تختلف مصادرها تشير إلى طرائق مختلفة للتعبير تؤهلنا لفهم الطابع الحقيقى للطبيعة، إنها شىء يشبه الطريق الذى يُستخدم للتعبير عن الفكر فى لغات مختلفة كالألمانية والإنجليزية والفرنسية ... إلخ، قد تختلف اللغة ولكن المضمون الفكرى واحد، وبالمثل فتقدم حالة الجاذبية فى العالَم يتم بلغات متعددة تعتمد على الإطار المستخدم، ولكن كل هذه الأوصاف تشير إلى نفس الحالة الواحدة والموضوعية، وهى حالة الثابت The Invariable إن خاصية رياضية النسبية يعبر عنها بأفضل طريقة بواسطة هذين التصورين : الثابت، والمتغير التابع، ويقوم التصور الأخير كشكل للوصف، والثابت فى الحالة العامة التى توصلت إليها كل الأوصاف المختلفة.

ومن المهم توضيح هذه الفكرة فغالبًا ما تُقَدَّم نظرية النسبية فى عبارة بسيطة تقول كل شىء نسبى، ولكن "أينشتين" لم يجعل كل شىء نسبيًا، إن بعض الأشياء فقط هى التى أصبحت نسبية، بخاصةٍ الأشياء الحقة بغض النظر عن الأوصاف التعسفية، وبالإشارة إلى الإضافات التعسفية التى يستخدمها الإنسان فى وصف الطبيعة، فإن نظرية "أينشتين" قدمت الحقيقة الموضوعية وأصبحت أكثر قابلية للرؤية عن ذى قبل، وهكذا تمثل نظرية النسبية أرقى مستوى فى طريق المعرفة الدقيقة بالطبيعة، والتى إليها قد تقدمت العلوم لعدة قرون بنجاح هائل.