obeikandl.com

ما هي نظرية النسبية؟

© دار خـــــــان
جميع الحقوق محفوظة
الطبعة الأولى ٢٠١٥
رقم الإيداع ٣٦٣١ / ٢٠١٥
ISBN: 978 - 977 - 6299 - 90 - 30
دار خـــــــان
ص.ب: ١٣٢ رمسيس- القاهرة - مصر
هاتف: ٠١٠٠٥٥٣٩٤٧٢
E-mail: Darkhan.egypt@gmail.com
Dar Khan
P.O.BOX 132 RAMSES - CAIRO - EGYPT
TEL.: 01005539472

دار خـــان
Dar Khan

ما هي نظرية النسبية؟

تأليف: ل.لانداو
يو.رومر

رسوم، إعداد الكتاب،
وتصميم الغلاف:
بسمة بهاء

جميع الحقوق محفوظة للناشر، ويحظر نشر أو اقتباس أي جزء من هذا العمل أو كله إلا بإذن كتابي، ومن يخالف ذلك يتعرض للمساءلة القانونية.

obeikandl.com

ل.لانداو

يو.رومر

ما هي نظرية النسبية؟

obeikandl.com

obeikandl.com

نبذة

يعتبر هذا الكتاب محاولة موفقة، لعرض مبادئ نظرية النسبية الخاصة التي وضعها ألبرت أينشتاين.

ولقد أوضح مؤلفا الكتاب، أن المفاهيم التي تعتبر راسخة، كالزمن والفراغ والكتلة، هي في الواقع متغيرة الخواص. فالزمن، مثلاً في صاروخ كوني، يمضى أبطأ من مضيه على الأرض- ففي الوقت الذي تمر فيه على الأرض مئات السنين، لا يمر على الصاروخ سوى بضع سنوات فقط.

ويمتاز هذا الكتاب بخلوه من المعادلات المعقدة وببساطة العرض وبعده عن التجريد، مما يجعله في متناول فهم القارئ العادي غير المتخصص.

مؤلفا هذا الكتاب هما عضو أكاديمية العلوم الدكتور لانداو وأستاذ الفيزياء الدكتور يورى رومر. وللدكتور لانداو العديد من الأبحاث في شتى فروع الفيزياء النظرية مما أهله للحصول على جائزتي نوبل ولينين في العلوم كما حصل على جائزة الدولة في الفيزياء. ولقد اشتهر الدكتور رومر بأبحاثه في مجالي الفيزياء الاشعاعية والأشعة الكونية.

obeikandl.com

الفصل الأول

النسـبية التي تعودنا عليها

هل لكل عبارة معنى؟

مـن الواضـح أنـه ليـس كذلـك، فحتـى إذا أخذنـا كلـمات ذات معنـى وربطناهـا ببعضهـا مـع مراعـاة قواعـد النحـو مراعـاة تامـة، فإننـا قـد لا نحصـل إلا عـلى هـراء، فمـن الصعـب مثـلاً إضفـاء أي معنـى عـلى العبـارة التاليـة: "هـذه الميـاه مثلثـة".

ولكـن للأسـف، ليـس كل هـراء عـلى هـذه الدرجـة مـن الوضـوح، وكثـيراً مـا تبـدو العبـارة للوهلـة الأولى معقولـة جـدا، ولكـن مـع التحليـل الدقيـق، يتضـح أنهـا سـخيفة للغايـة.

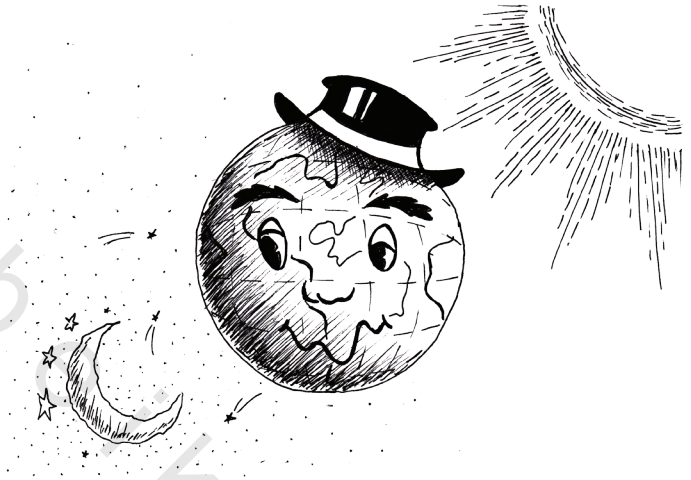
اليمين واليسار

على أي جانب من الطريق- الأيمن أم الأيسر- يقع البيت؟ الإجابة المباشرة على هذا السؤال مستحيلة.

لو مشينا من الجسر إلى الغابة، فإن البيت سيقع على الجانب الأيسر، ولو مشينا بالعكس من الغابة إلى الجسر، فإنه سيقع على الجانب الأيمن. فمن الواضح أنه لا يمكن التحدث عن الجانب الأيمن أو الأيسر للطريق دون أن نأخذ في الاعتبار الاتجاه الذي نعين بالنسبة إليه اليمين واليسار.

وعندما نتحدث عن الشاطئ الأيمن للنهر، يكون لحديثنا معنى، وذلك لأن مجرى الماء يحدد اتجاه النهر. وكذلك، فالقول بأن السيارات تتحرك على اليمين، ممكن فقط لأن اتجاه حركة السيارة يميز أحد اتجاهي الطريق.

وهكذا، فإن مفهومي "يمينا" و "يسارا"، مفهومان نسبيان، يأخذان معنى فقط، بعد تحديد الاتجاه الذي يعينان بالنسبة إليه.



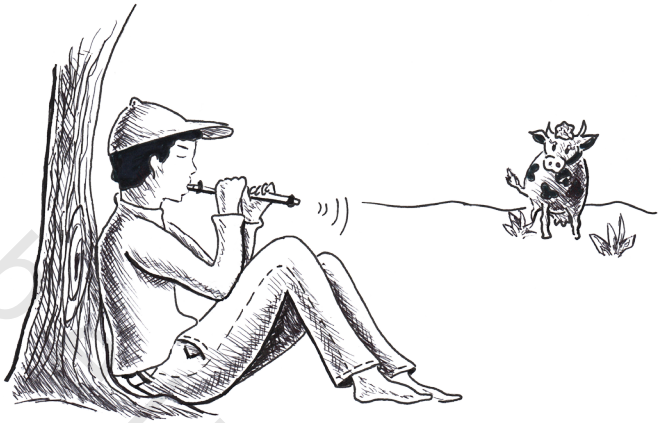
الآن، نهار أم ليل؟

أن الإجابة تعتمد على المكان الذي يطرح فيه السؤال، فعندما يكون في موسكو نهار يكون في مدينة فلاديفستوك ليل، ولا يوجد هنا أي تعارض، فإن النهار والليل مفهومان نسبيان، ولا يمكن الإجابة على السؤال المطروح دون أن نوضح بالنسبة لأية نقطة على سطح الكرة الأرضية يجرى الحديث.

أيهما أكبر من الآخر؟

أن الراعي في الصورة اليسري أكبر من البقرة، أما في الصورة الموجودة أسفل الصفحة فالبقرة أكبر من الراعي، وهنا أيضاً لا يوجد أي تعارض، كل ما هناك أن هاتين الصورتين، التقطهما مشاهدان من نقطتين مختلفتين، إذ وقف الأول أقرب إلى الراعي ووقف الثاني أقرب إلى البقرة. فليس المهم عند الرسم الأبعاد الحقيقية للأشياء ولكن المهم هو زوايا أبصارها[1]*. والأبعاد الزاوية للأشياء كما هو واضح، هي أبعاد نسبية.

١ * زاوية إبصار شيء ما هي الزاوية التي يصنعها الشعاعان الضوئيان الواصلان من العين الراصدة إلى النقطتين الطرفيتين للشيء موضع الرصد.



ويكـون الحديـث عـن الأبعـاد الزاويـة للأشـياء عديـم المعنـى، مـا لم نوضـح مـن أيـة نقطـة في الفـراغ تجـرى المشـاهدة. مثـلاً، أن القـول بـأن زاويـة أبصـار الـبرج ٤٥°، يعنـى بالضبـط أننـا لم نقـل شـيئا، ولكـن عـلى العكـس، القـول بـأن زاويـة أبصـار الـبرج مـن نقطـة تبعـد عنـه ١٥ مـترا، هـي ٤٥° هـو قـول لـه معنـى، وينتـج مـن هـذا القـول مثـلا أن ارتفـاع الـبرج يسـاوي ١٥ مـتراً.

النسبي يبدو مطلقاً

لو أزيحت نقطة الرصد إزاحة طفيفة، فإن الأبعاد الزاوية تتغير أيضاً تغيراً طفيفاً، لذلك فإن القياس الزاوي يستخدم عادة في علم الفلك، فتوضح على الخريطة الفلكية، المسافات الزاوية بين النجوم، أي زوايا أبصار المسافات التي تفصل بين النجوم المختلفة إذا رصدت من سطح الأرض.

والمعروف أننا مهما تحركنا على سطح الأرض، ورصدنا النجوم من أية نقطة على الكرة الأرضية، فإننا سنرى دائماً، أن المسافات التي تفصل النجوم عن بعضها، تبقى ثابتة، وهذا يفسر بأن النجوم تبعد عنا بمسافات شاسعة يصعب تخيلها، بحيث يكون انتقالنا على سطح الأرض بالمقارنة معها، غير محسوس، ويمكن إهماله. لذلك يمكننا اعتبار المسافات الزاوية في هذه الحالة، بمثابة قياسات مطلقة.

ولكن مع دوران الأرض حول الشمس، يصبح التغير في هذه القياسات ملحوظاً رغم ضآلته. أما إذا نقلنا نقطة الرصد إلى أي من النجوم، مثلاً، إلى نجمة "الشعرى اليمانية"، فإن كل هذه القياسات

الزاويـة تتغـير بشـكل يمكـن معـه أن يصبـح النجـمان البعيـدان أحدهـما عـن الآخـر في سـمائنا، قريبـين، وبالعكـس.

وبدا المطلق نسبيا

كثـيراً مـا نقـول: أعـلى، أسـفل. هـل هـذان المفهومـان مطلقـان أم نسـبيان؟

لقـد أجـاب النـاس عـلى هـذا السـؤال في العصـور المختلفـة، إجابـات مختلفـة. عندمـا لم يعرفـوا بعـد أي شيء عـن كرويـة الأرض، وتخيلوهـا مسـتوية كالرقاقـة، اعتـبروا الاتجـاه الـرأسي مفهومـا مطلقـا. وهنـا افترضـوا أن الاتجـاه الـرأسي لا يتغـير، في جميـع نقـاط سـطح الأرض، وأنـه مـن الطبيعـي جـداً الحديـث عـن الـ (أعـلى) المطلـق والـ (أعـلى) المطلـق والـ (أسـفل) المطلـق.

ولكـن الاتجـاه الـرأسي تغـير في نظـر النـاس، عندمـا اكتشـفت كرويـة الأرض. في الواقـع، عنـد الشـكل الكـروي لـلأرض يعتمـد الاتجـاه الـرأسي اعتـماداً أساسـيا عـلى موضـع نقطـة سـطح الأرض التـي يمـر بهـا.

ففي نقاط سطح الأرض المختلفة، تختلف الاتجاهات الرأسية. وما دام مفهوم الأعلى والأسفل يفقد معناه، ما لم نوضح أية نقطة من نقاط سطح الأرض ينتسب، فإن هذا المفهوم قد تحول من مطلق إلى نسبي. ولا يوجد في الكون اتجاه رأسي موحد، لذلك يمكن بالنسبة إلى أي اتجاه في الفراغ تعيين نقطة على سطح الأرض، يكون عندها هذا الاتجاه رأسياً.

"العقل السليم" يحاول الاحتجاج

كل هذا يبدو لنا الآن واضحاً ولا يثير أي شك ولو أن التاريخ يشهد على أن البشرية لم تفهم نسبية الـ (أعلى) والـ (أسفل) بهذه السهولة. فالناس يميلون لاعتبار المفاهيم مطلقة، ما لم تكن نسبيتها واضحة من الخبرة اليومية (كما في حالة "يمينا" و "ويسارا"). ولنتذكر الاعتراض المضحك على كروية الأرض، الذي كان سائداً في العصور الوسطى: كيف إذن سيمشي الناس ورؤوسهم إلى أسفل؟

يكمن خطأ هذه الحجة في أنها لا تعترف بنسبية الاتجاه الرأسي، المنبثقة عن كروية الأرض.

أما إذا لم نعترف بمبدأ نسبية الاتجاه الرأسي واعتبرنا الاتجاه الرأسي في موسكو مثلاً، مطلقاً[٢*]، فإن سكان نيوزيلندة بلا شك يمشون ورؤوسهم إلى أسفل. ولكن إذا كان الأمر كذلك فيجب ألا ننسى أن سكان موسكو بالنسبة للنيوزيلنديين، يمشون أيضاً، ورؤوسهم إلى أسفل، ولا يوجد هنا أي تعارض ما دام الاتجاه الرأسي في الحقيقة، مفهوماً نسبياً وليس مطلقاً.

ونلاحظ أننا نبدأ في الإحساس عملياً بنسبية الاتجاه الرأسي فقط عندما نأخذ جزءين من سطح الأرض، بعيدين أحدهما عن الآخر بعدا كافياً، كموسكو ونيوزيلندة مثلاً، أما إذا أخذنا جزءين قريبين، كمنزلين في موسكو مثلاً، فإننا عملياً يمكن أن نعتبر أن الاتجاهين الرأسيين متوازيان، أي نعتبر الاتجاه الرأسي مطلقاً.

٢ * أي اعتبرنا أن الاتجاه الرأسي في أي مكان يوازي الاتجاه الرأسي في موسكو.

وفقـط عندمـا يجـري الحديـث عـن أجـزاء يمكـن مقارنـة مسـاحتها مـع المسـاحة الكليـة لسـطح الأرض فـإن محاولـة اسـتخدام المفهـوم المطلـق للاتجـاه الـرأسي، تـؤدي إلى هـراء وتناقضـات.

أن الأمثلـة التـي بحثناهـا توضـح أن كثـيراً مـن المفاهيـم التـي نسـتخدمها، هـي مفاهيـم نسـبية، أي يصبـح لهـا معنـى فقـط، عندمـا نوضـح الـشروط التـي تجـري بموجبهـا المراقبـة.

obeikandl.com

الفصل الثاني

الفراغ مفهوم نسبي

نفس المكان أم لا؟

غالبا ما نقول أن حادثتين ما، وقعتا في نفس المكان، واعتدنا أن نقصد بهذا القول معنى مطلقاً، ولكنه في الواقع لا يعني شيئاً، بالضبط كما لو قلنا: "الآن الساعة الخامسة" دون أن نوضح المكان على وجه التحديد، في موسكو أم في شيكاغو.

ولكي نفهم ذلك نفترض أن مسافرتين بالقطار السريع موسكو- فلاديفوستوك، اتفقتا على أن تلتقيا كل يوم في نفس المكان من إحدى عربات القطار، وتكتب كل واحدة منهما خطابا إلى زوجها. على أغلب الظن لن يوافق الزوجان على أن زوجتيهما تلتقيان في نفس المكان. على العكس أن عندهما كل الحق في التأكيد بأن أماكن الالتقاء هذه يبعد أحدها عن الآخر مئات الكيلومترات. فهما قد تسلما خطابين من مدينة ياروسلافل وخطابين من بيرم وآخرين من سفردلوفسك وغيرهما من تيومين وكذلك من مدينتي أومسك وخاباروفسك.

وهكذا فإن حادثتين- كتابة الخطابات في اليوم الأول واليوم الثاني من أيام الرحلة- وقعتا في مكان واحد من وجهة نظر المسافرتين (في نفس المكان من نفس عربة القطار) أما من وجهة نظر زوجيهما فإن مكان وقوع إحداهما يبعد عن مكان وقوع الأخرى بمئات الكيلومترات.

أيهما على صواب؟ المسافرتان أم زوجاهما؟ ليس لدينا ما يبرر تفضيل إحدى وجهتي النظر على الأخرى. لذا يتضح أن لعبارة "في نفس المكان" معنى نسبياً فقط.

وكذلك فإن القول بأن نجمين ينطبقان في السماء يكتسب معنى فقط، عندما نوضح أن الرصد يجري من نقطة على سطح الأرض. إذن فالقول بأن حادثتين قد انطبقتا في الفراغ[٣]*، ممكن فقط عندما نوضح بالنسبة لأي جسم نعين موقع هاتين الحادثتين.

وهكذا فمفهوم الموضع في الفراغ، مفهوم نسبي أيضاً، وعندما نتكلم عن موضع جسم في الفراغ فإننا دائماً نعني موضعه بالنسبة لأجسام أخرى. أما إذا طلبت الإجابة على السؤال: أين يوجد هذا الجسم أو ذاك؟- دون الإشارة إلى أجسام أخرى، فإننا يجب أن نعترف بأن مثل هذا السؤال بلا معنى.

كيف يتحرك الجسم في الواقع؟

ينتج مما سبق أن مفهوم "انتقال جسم في الفراغ" هو مفهوم نسبي أيضاً، لأننا إذا قلنا أن جسماً انتقل، فإن هذا يعني فقط أنه غير موضعه بالنسبة إلى أجسام أخرى.

وإذا راقبنا حركة جسم من مختبرات[٤]** تتحرك بعضها بالنسبة لبعض فإن حركة هذا الجسم ستبدو بأشكال مختلفة تماماً.

ولنأخذ مثلاً الحجر المرمي من طائرة وهي تطير. بالنسبة للطائرة سيسقط الحجر في خط مستقيم أما بالنسبة لمشاهد على سطح الأرض فإن الحجر سيرسم منحنى يعرف بالقطع المكافئ.

ولكن كيف يتحرك الحجر في الحقيقة؟

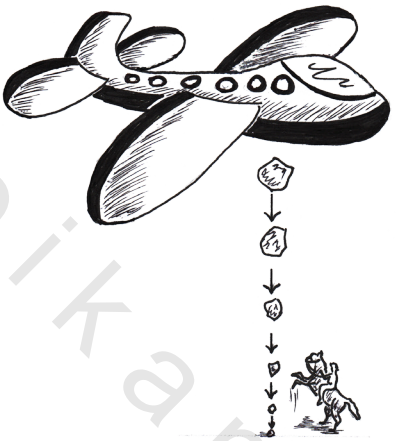
إن لهذا السؤال معنى ضحلاً، كضحالة السؤال عن زاوية إبصار القمر في الحقيقة، هل هي زاوية إبصاره عندما نرصده من الشمس أم من الأرض؟

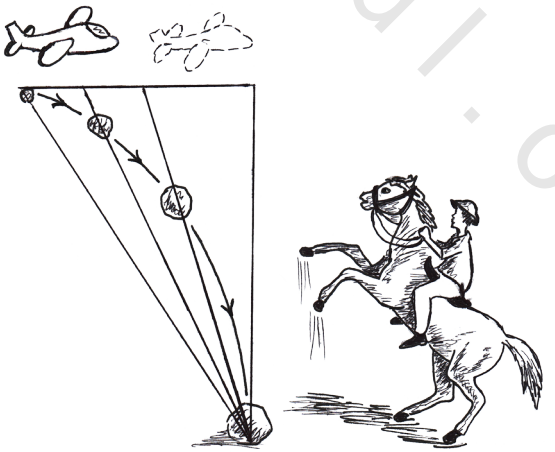
فالشكل الهندسي للمنحنى الذي يتحرك عليه الجسم،

٣ * حدثتا في نفس المكان.

٤ ** يراد بالمختبر هنا محل المراقبة.

لـه صفـة نسـبية كالصـور الفوتوغرافيـة لمبنـى مـا، إذا صورنـاه مـن الأمـام ومـن الخلـف، سـنحصل عـلى صـور مختلفـة، كذلـك إذا شـاهدنا حركـة الجسـم مـن مختـبرات مختلفـة فإننـا سـنحصل عـلى المنحنيـات المختلفـة لحركتـه.





obeikandl.com

هل كل وجهات النظر متكافئة؟

لو حصرنا اهتمامنا عند متابعة حركة جسم في الفراغ، في دراسة مساره (منحنى حركته) لتحدد اختيارنا لمكان الرصد انطلاقاً من إمكانية الحصول على أسهل وأنسب صورة.

والمصور الماهر عندما يختار زاوية للتصوير يحرص على جمال الصورة وعلى تناسقها.

ولكن عند دراسة حركة الأجسام في الفراغ فإن اهتمامنا يتعدى ذلك. أننا لا نريد فقط معرفة المسار ولكن أيضاً التنبؤ بالمسار الذي سيتحرك عليه الجسم. وبكلمات أخرى، فإننا نريد أن نعرف القوانين المنظمة للحركة، والقوانين التي تجبر الجسم على أن يتحرك بهذا الشكل بالذات وليس بشكل آخر.

لنتناول مسألة نسبية الحركة من وجهة النظر هذه وسيتضح أن المواضع المختلفة في الفراغ ليست كلها متكافئة.

إذا ذهبنا إلى المصور لالتقاط صورة فوتوغرافية للبطاقة الشخصية، فمن الطبيعي أن نرغب في أن يصورنا من الأمام وليس من القفا. بهذه الرغبة بالذات ستتحدد نقطة في الفراغ يجب على المصور أن يلتقط منها، وأننا سنرفض أي موضع آخر غير هذه النقطة على أساس أنه لا يحقق الغرض بالشرط المطلوب.

السكون موجود!

تؤثر على حركة الأجسام مؤثرات خارجية تسمى بالقوى، ودراسة تأثير هذه القوى تساعدنا على بحث مسألة الحركة بشكل آخر.

لنفترض أن لدينا جسماً لا تؤثر عليه أية قوة. سيتحرك الجسم حركة غريبة نوعاً ما، حسب المكان الذي سنراقبه منه، ولو أنه من الصعب ألا نعترف بأن أكثر أمكنة المراقبة ملاءمة هو المكان الذي يبدو منه الجسم ساكنا.

بهذا يمكننا أن نعطي الآن للسكون تعريفاً جديداً لا يعتمد على حركة الجسم المعطى بالنسبة لأجسام أخرى. وهكذا فالجسم الذي لا تؤثر عليه أية قوة خارجية يوجد في حالة السكون.

المختبر الساكن

كيف نحصل على حالة السكون؟ متى نستطيع التأكد من أنه لا تؤثر على جسم ما أية قوة؟

الأمر واضح، فيجب أن نبعد الجسم عن بقية الأجسام، التي يمكن أن تؤثر عليه.

ومن مثل هذه الأجسام الساكنة، يمكننا ولو نظرياً تكوين مختبر كامل ومن ثم الحديث عن خواص الحركة التي نراقبها من هذا المختبر الذي نسميه مختبراً ساكنا.

وإذا اختلفت خواص الحركة المراقبة من مختبر آخر عن خواصها المراقبة من المختبر الساكن، فلنا كل الحق، أن نؤكد أن المختبر الأول يتحرك.

هل يتحرك القطار؟

بعد أن أوضحنا أن الحركة تخضع في المختبرات المتحركة لقوانين تختلف عن قوانين المختبرات الساكنة، ربما يبدو لنا أن مفهوم الحركة قد فقد صفته النسبية لأننا من الآن فصاعداً عندما نتحدث عن الحركة يجب أن نعني فقط الحركة بالنسبة للسكون ونسميها بالحركة المطلقة.

ولكن هل سنلاحظ في المختبر، عند أية إزاحة له خروجاً عن قوانين حركة الأجسام الموجودة في المختبر الساكن؟

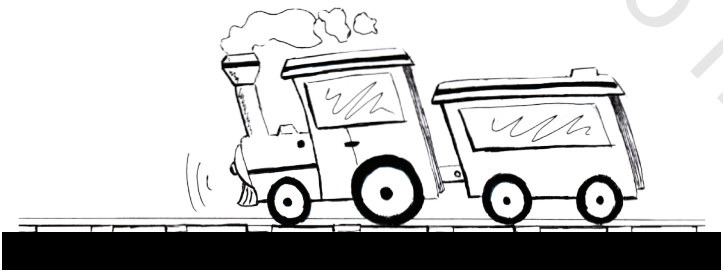
لنستقل قطاراً متحركاً بسرعة منتظمة على خط مستقيم ولنبدأ في ملاحظة حركة الأجسام في إحدى عربات القطار ونقارنها بتلك التي تحدث في قطار واقف.

إن الخبرة اليومية تشير إلى أننا في مثل هذا القطار المتحرك على خط مستقيم وبسرعة منتظمة لن نلاحظ أي حيد أو اختلاف عن الحركة في القطار الواقف. فالكل يعلم أن الكرة المقذوفة رأسياً إلى أعلى في قطار متحرك، تسقط مرة ثانية في أيدينا ونراها متحركة في خط مستقيم.

وإذا صرفنا النظر عن اهتزاز عربات القطار الذي لا يمكن تلافيه لاعتبارات تكنيكية فكل شيء في القطار المتحرك بسرعة ثابتة يحدث كما في القطار الساكن.

ولكن الأمر يختلف إذا أبطأ القطار أو أسرع في حركته. في الحالة الأولى نندفع إلى الأمام وفي الثانية إلى الخلف ونحس بوضوح باختلاف عن حالة السكون.

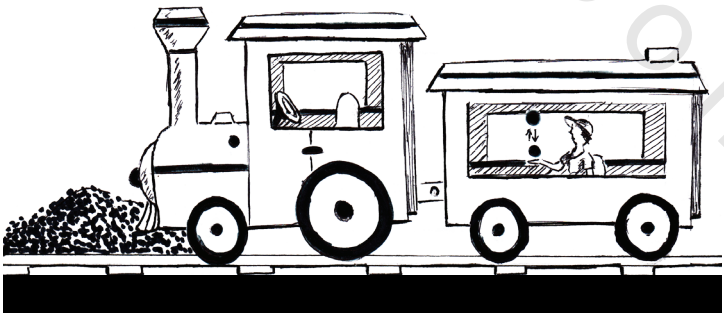
كذلك إذا غير القطار المتحرك بسرعة ثابتة اتجاه حركته فإننا سنحس بذلك. فمع الانعطاف المفاجئ إلى اليمين سيطوح بنا إلى الجهة اليسرى للعربة ومع الانعطاف إلى اليسار سيطوح بنا إلى الجهة اليمنى للعربة.



إذا عممنا هذه المشاهدات نصل إلى النتيجة التالية:- لا يمكن أن نشاهد في مختبر ما، أي اختلاف عن سلوك الأجسام الموجودة في مختبر ساكن، طالما كان هذا المختبر يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة للمختبر الساكن. ولكن بمجرد أن تتغير سرعة المختبر المتحرك في المقدار (التعجيل أو التقاصر) أو في الاتجاه (الانعطاف) فإن هذا ينعكس فوراً على سلوك الأجسام الموجودة فيه.

وفقد السكون نهائياً

أن الخاصية العجيبة لحركة مختبر بسرعة منتظمة على خط مستقيم، أي عدم تأثيرها على سلوك الأجسام الموجودة فيه، لتجبرنا على إعادة النظر في مفهوم السكون. يبدو أن حالة السكون وحالة الحركة المنتظمة على خط مستقيم لا تتميز إحداهما عن الأخرى إطلاقاً. والمختبر الذي يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة لمختبر ساكن، يمكن اعتباره ساكنا بالذات. هذا يعني أنه لا يوجد سكون واحد فقط، أو سكون مطلق، ولكن هناك عدداً لا يحصى من حالات السكون. ولا يوجد مختبر "ساكن" واحد فقط، ولكن هناك عدداً لا يحصى من المختبرات "الساكنة" التي



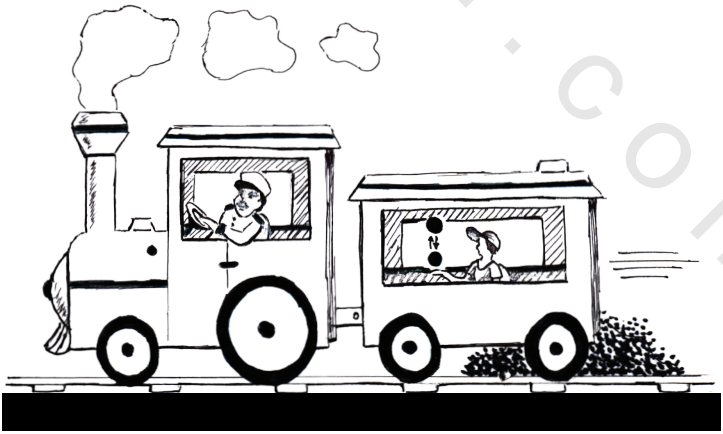
تتحـرك بعضهـا بالنسـبة لبعـض حركـة منتظمـة عـلى خـط مسـتقيم بـسرع مختلفـة.

إذا وحيـث قـد ظهـر أن السـكون ليـس مفهومـاً مطلقـاً إنمـا هـو مفهـوم نسـبي يجـب علينـا دائمـاً أن نوضـح بالنسـبة لأي مختـبر مـن هـذا العـدد اللانهـائي مـن المختـبرات المتحركـة بعضهـا بالنسـبة لبعـض نشـاهد الحركـة.

وهكـذا فلـم يحالفنـا النجـاح حتـى الآن في جعـل مفهـوم الحركـة، مفهومـاً مطلقـاً.. ويبقـى السـؤال التـالي مطروحـاً عـلى الـدوام:- بالنسـبة لأي "سـكون" نشـاهد الحركـة؟

وهكـذا فقـد توصلنـا إلى قانـون مـن أهـم قوانـين الطبيعـة، يعـرف عـادة بمبـدأ نسـبية الحركـة.

ونـص هـذا القانـون هـو: أن حركـة الأجسـام في كل المختـبرات التـي تتحـرك بعضهـا بالنسـبة لبعـض بسرعـة منتظمـة عـلى خـط مسـتقيم تخضـع لقوانـين واحـدة.



obeikandl.com

ينتج من مبدأ نسبية الحركة أن الجسم الذي لا تؤثر عليه أية قوة خارجية، يمكنه أن يوجد ليس فقط في حالة سكون، ولكن أيضاً في حالة حركة منتظمة على خط مستقيم. وتسمى هذه القاعدة في الفيزياء بقانون القصور الذاتي.

غير أن هذا القانون يبدو كما لو كان مستترا ولا يفصح عن نفسه مباشرة في الحياة اليومية. فحسب قانون القصور الذاتي يجب أن يستمر الجسم الموجود في حالة حركة منتظمة على خط مستقيم في حركته هذه إلى ما لا نهاية، إذا لم تؤثر عليه أية قوة خارجية. ولكننا نعرف من مشاهداتنا أن الجسم الذي لا نؤثر عليه بقوة ما، يتوقف عن الحركة.

أن السبب هنا يتلخص في أن كل الأجسام توجد تحت تأثير بعض القوى الخارجية- قوى الاحتكاك- وبذلك ينتفي الشرط الضروري لملاحظة قانون القصور الذاتي- شرط عدم وجود القوة الخارجية المؤثرة على الجسم. ولكن مع تحسين ظروف التجربة بتقليل قوى الاحتكاك يمكننا أن نقترب من الشروط المثالية، الضرورية لملاحظة قانون القصور الذاتي، مبرهنين بذلك على صحة هذا القانون حتى بالنسبة للحركة التي نشاهدها في الحياة اليومية.

إن اكتشاف مبدأ نسبية الحركة هو أحد الاكتشافات العظيمة، وبدونه لاستحال تطوير الفيزياء. ونحن مدينون بهذا الاكتشاف لعبقرية جاليليو. ولقد وقف جاليليو بشجاعة ضد تعليم أرسطو، التي كانت سائدة في ذلك العصر، والتي كان يدعمها نفوذ الكنيسة الكاثوليكية، تلك التعاليم التي كانت تقول بأن الحركة ممكنة فقط، مع وجود قوة وأنها تتوقف حتما بدونها. أوضح جاليليو بسلسلة من التجارب الرائعة، أن سبب توقف الأجسام المتحركة هو بالعكس وجود قوة الاحتكاك ولو لم تكن هذه القوة موجودة لتحركت الأجسام حركة أبدية.

والسرعة أيضاً نسبية!

ينتج من مبدأ نسبية الحركة، أن الحديث عن حركة جسم بصورة منتظمة على خط مستقيم وبسرعة معينة، دون الإشارة بالنسبة لأي المختبرات الساكنة نقيس هذه السرعة، هو حديث ضحل المعنى، كالحديث عن الطول الجغرافي دون أن نحدد مسبقاً، من أي خط طول نبدأ القياس.

يتضح إذن أن السرعة مفهوم نسبي أيضاً. وإذا عينا سرعة جسم واحد بالنسبة إلى مختبرات مختلفة، فإننا سنحصل على نتائج مختلفة. ولكن مع هذا، فإن لكل تغير في السرعة، سواء كان تعجيلاً أو تقاصراً أو تغيراً في الاتجاه معنى مطلقاً، لا يعتمد على اختيار المختبر الساكن الذي نشاهد منه الحركة.

obeikandl.com

الفصل الثالث

مأساة الضوء

الضوء لا ينتشر لحظياً

لقد تأكدنا من وجود مبدأ نسبية الحركة ومن وجود مجموعة لا نهائية من المختبرات الساكنة. وقوانين الحركة في هذه المختبرات لا تختلف من مختبر لآخر. غير أنه يوجد نوع من الحركة يتناقض للوهلة الأولى مع المبدأ الموضح سابقاً. هذا النوع من الحركة هو انتشار الضوء.

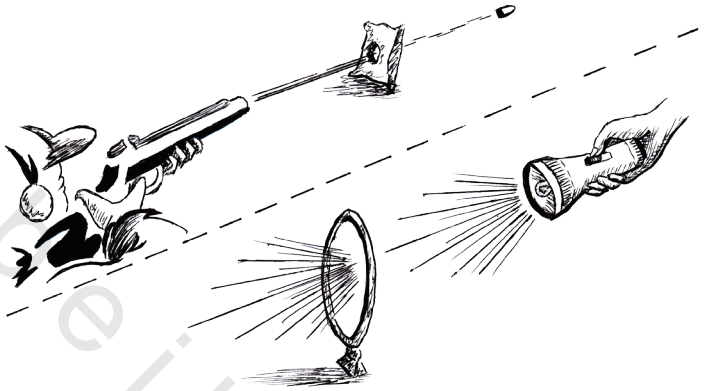
أن الضوء لا ينتشر لحظياً ولو أنه ينتشر بسرعة هائلة- ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية.

ولا يمكننا أن نعقل مثل هذه السرعة الهائلة، لأننا في حياتنا اليومية نتعامل مع سرع أقل من ذلك بما لا يقاس. فحتى سرعة صاروخ كوني سوفييتي مثلا، وصلت إلى ١٢ كم/ثانية فقط. والأرض عند دورانها حول الشمس هي الجسم الأكبر سرعة من كل الأجسام التي نتعامل معها، ولكن سرعة الأرض هي ٣٠ كم/ ثانية لا غير.

هل يمكن تغيير سرعة الضوء؟

إن سرعة الضوء الهائلة بحد ذاتها لا تبدو شيئاً مغرقاً في الغرابة ولكن المدهش حقاً هو أنها تمتاز بثبات قاطع.

ويمكننا دائماً بطرق مختلفة أن نبطئ أو نعجل سرعة أي جسم حتى الرصاصة. نضع في طريق الرصاصة المنطلقة كيسا من الرمل فتفقد جزءاً من سرعتها أثناء اختراقها للكيس وتخرج بسرعة أقل.



ولكـن الأمـر مـع الضـوء يختلـف كليـة، ففـي الوقـت الـذي تعتمـد فيـه سرعـة الرصـاص عـلى تركيـب السـلاح الـذي أطلقهـا وعـلى طبيعـة البـارود في الطلقـة، لا تعتمـد سرعـة الضـوء عـلى مصـدره فهـي واحـدة مهـما كان المصـدر.

والآن لنضـع في طريـق الشـعاع الضـوئي اسـطوانة زجاجيـة، ولما كانـت سرعـة الضـوء في الزجـاج أقـل منهـا في الخـلاء، فعنـد مـرور شـعاع الضـوء خـلال الاسـطوانة تقـل سرعتـه ولكـن مـا إن يخـرج حتـى يعـاود انتشـاره بسرعـة ٣٠٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة.

فانتشـار الضـوء في الخـلاء بخـلاف كل أنـواع الحركـة الأخـرى يمتـاز بخاصيـة عـلى درجـة قصـوى مـن الأهميـة وهـي أنـه لا يمكـن ابطـاؤه أو تعجيلـه. ومهـما يحـدث للشـعاع عنـد دخولـه في المـادة فبخروجـه إلى الخـلاء يبـدأ في الانتشـار بالسرعـة السـابقة.

الضوء والصوت

وبهذا الصدد فإن انتشار الضوء لا يشبه حركة الأجسام العادية، ولكن يشبه ظاهرة انتشار الصوت. فالصوت عبارة عن حركة اهتزازية لجزيئات الوسط الذي ينتقل فيه. ولذلك فإن سرعته تتحدد بخواص الوسط، وليس بخواص الجسم الذي يصدر الصوت. وسرعة الصوت مثلها مثل سرعة الضوء لا يمكن إنقاصها أو زيادتها، حتى لو مررنا الصوت خلال جسم ما.

فإذا وضعنا في طريق انتشار الصوت حاجزاً معدنيا مثلاً، فإن الصوت يغير من سرعته في المعدن، ولكنه يكتسب سرعته الابتدائية حالما يعود إلى الوسط الأول.

والآن، لنضع في مخلخلة الهواء مصباحاً وجرساً كهربائيين ثم نبدأ في سحب الهواء. سيضعف صوت الجرس حتى يصبح غير مسموع بالمرة، أما المصباح فيستمر في الإضاءة كالسابق.

توضح هذه التجربة أن الصوت يمكنه الانتشار في وسط مادي فقط، بينما يستطيع الضوء الانتشار في الخلاء، فضلاً عن بعض الأوساط المادية. وهذا هو الاختلاف الأساسي بينهما.

مبدأ نسبية الحركة يبدو مزعزعا

لقد أدت سرعة الضوء في الخلاء- الهائلة والمحدودة في نفس الوقت- إلى تناقض مع مبدأ نسبية الحركة.

لنتخيل قطاراً متحركاً بسرعة هائلة- ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية، لنجلس في مقدمة القطار وليضيء في آخره مصباح. كيف ستكون في هذه الحالة نتائج قياس الزمن اللازم للضوء كي يقطع المسافة من إحدى نهايتي القطار إلى النهاية الأخرى؟

أن هذا الزمن على ما يبدو سيختلف عن ذلك الذي نحصل عليه في قطار ساكن. في الواقع، بالنسبة للقطار المتحرك بسرعة ٢٤٠٠٠٠ كم/ ثانية، يجب أن تكون سرعة الضوء (إلي الأمام

في إتجـاه القطـار) ٣٠٠٠٠٠ - ٢٤٠٠٠٠ = ٦٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة فقـط. ويبـدو الضـوء كـما لـو كان يلاحـق الجـدار الأمامـي لمقدمـة القطـار. ولـو وضعنـا المصبـاح في مقدمـة القطـار وقسـنا الزمـن الـلازم للضـوء كي يصـل إلى العربـة الأخـيرة فـإن سرعـة الضـوء في عكـس اتجـاه حركـة القطـار يجـب أن تكـون ٢٤٠٠٠٠ + ٣٠٠٠٠٠ = ٥٤٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة (الضـوء ومؤخـرة القطـار يتحـركان ليتلاقيـا مـع بعضهـما).

وهكـذا ينتـج أن الضـوء في القطـار المتحـرك يجـب أن ينتـشر في الاتجاهـات المختلفـة بـسرع مختلفـة بينـما ينتـشر الضـوء في القطـار السـاكن بـسرع متسـاوية في كلا الاتجاهـين.

أمـا بالنسـبة للرصاصـة، فالأمـر يختلـف كل الاختـلاف. فسـواء أطلقناهـا في اتجـاه حركـة القطـار، أو في الاتجـاه المعاكـس سـتكون سرعتهـا بالنسـبة لجـدران العربـة، ثابتـة دائمـاً، ومسـاوية لسرعـة انطلاقهـا مـن قطـار سـاكن.

والسـبب هـو أن سرعـة الرصاصـة، تعتمـد عـلى سرعـة حركـة السـلاح الـذي تنطلـق منـه. أمـا سرعـة الضـوء، فإنهـا لا تتغـير بتغـير سرعـة حركـة المصبـاح كـما ذكرنـا.

ويبـدو أن هـذا النقـاش يبـين بوضـوح أن ظاهـرة انتشـار الضـوء تتناقـض تناقضـاً حـاداً مـع مبـدأ نسـبية الحركـة. فبينـما تنطلـق الرصاصـة في القطـار السـاكن، كـما في القطـار المتحـرك، بنفـس السرعـة بالنسـبة لجـدران عربـة القطـار، يظهـر أن الضـوء في القطـار المتحـرك بسرعـة ٢٤٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة، ينتـشر في أحـد الاتجاهـين بسرعـة أقـل بخمـس مـرات، وفي الاتجـاه الآخـر بسرعـة أكـبر بـ ١,٨ مـرة مـن سرعتـه في القطـار السـاكن.

وهكـذا يبـدو أن دراسـة انتشـار الضـوء يجـب أن توفـر إمكانيـئ تحديـد السرعـة المطلقـة للقطـار.

ويلـوح أمـل: ألا يمكـن بدراسـة ظاهـرة انتشـار الضـوء تحديـد مفهـوم للسـكون المطلـق؟

فالمختبر الذي ينتشر فيه الضوء في كل الاتجاهات بنفس السرعة التي تساوي ٣٠٠٠٠٠ كم/ ثانية، يمكن تسميته بالمختبر الساكن، وفي أي مختبر آخر يتحرك بالنسبة له بسرعة منتظمة على خط مستقيم فإن سرعة الضوء يجب أن تختلف في الاتجاهات المختلفة. وفي هذه الحالة لا توجد لا نسبية الحركة ولا نسبية السرعة ولا نسبية السكون على عكس ما أثبتناه سابقاً.

الأثير الكوني

كيف يمكن فهم الأمور التي عرضناها سابقاً؟ لقد مر على علماء الفيزياء زمن استفادوا فيه من التشابه بين ظاهرتي انتشار الصوت وانتشار الضوء. وقياسا على ظاهرة انتشار الصوت افترضوا وجود وسط خاص ينتشر فيه الضوء كما ينتشر الصوت في الهواء وسموه بالأثير. وكذلك افترضوا أن أي جسم أثناء حركته عبر الأثير لا يسحب الأثير معه كما أن القفص المصنوع من قضبان متناهية الدقة لا يسحب الماء معه أثناء حركته فيه.

فإذا كان قطارنا ساكنا بالنسبة للأثير، فإن الضوء سينتشر بنفس السرعة في الاتجاهات المختلفة. وحركة القطار بالنسبة للأثير، ستتضح توا من اختلاف سرعة انتشار الضوء في الاتجاهات المختلفة.

ولكن فرض وجود الأثير- وهو الوسط الذي تظهر اهتزازاته على هيئة ضوء- يثير عدداً من الأسئلة الحائرة. ففي البداية نجد بوضوح أن الفرض في حد ذاته مفتعل جدا. وفي الواقع، نستطيع دراسة خواص الهواء ليس فقط بملاحظة انتشار الصوت فيه، ولكن أيضاً باستخدام طرق البحث الكيميائية والفيزيائية المتعددة. أما الأثير بالذات، فلا يلعب أي دور في أكثر الظواهر. ويمكننا قياس كثافة الهواء وضغطه بأبسط المقاييس البدائية، في الوقت الذي انتهت فيه كل المحاولات الرامية إلى معرفة أي شيء عن كثافة الأثير أو ضغطه بالفشل الذريع... ظهرت إذن حالة غير معقولة.

يمكن طبعاً "تفسير" أية ظاهرة من الظواهر الطبيعة باستخدام سائل معين، له من الخواص ما يساعد على تفسير هذه

الظاهـرة. ولكـن النظريـة الحقيقيـة لتفسـير ظاهـرة مـا، تختلـف عـن مجـرد إعـادة صياغـة الحقائـق المعروفـة بلغـة العلـماء لأن مـا ينتـج عنهـا، أكـثر بكثـير مـما تعطيـه الحقائـق التـي بنيـت عليهـا النظريـة. فمفهـوم الـذرة مثـلاً اقتحـم العلـم انطلاقـاً مـن مسـائل الكيميـاء ولكـن هـذا المفهـوم سـاعدنا عـلى تفسـير عـدد هائـل مـن الظواهـر التـي لا علاقـة لهـا إطلاقـاً بالكيميـاء وعـلى التنبـؤ بحـدوث تلـك الظواهـر.

أمـا افـتراض وجـود الأثـير، فنحـن في حـل مـن تشـبيهه، بالتفسـير الـذي أعطـاه رجـل بـدائي عندمـا سـمع الجرامفـون بافتراضـه وجـود "روح جرامفونيـة" بداخـل هـذا الصنـدوق العجيـب... إن مثـل هـذه التفسـيرات بالطبـع لا تعنـي أي شيء.

ولقـد مـر علـماء الفيزيـاء قبـل افـتراض وجـود الأثـير بتجـارب مـرة مـن هـذا النـوع. ففـي وقـت مـن الأوقـات "فـسروا" ظاهـرة الاحـتراق بخـواص سـائل معـين يعـرف باسـم الفلوجسـتين والظواهـر الحراريـة بخـواص سـائل آخـر سـموه بمولـد الحـرارة. وبهـذه المناسـبة يمكـن القـول بـأن كلا السـائلين، امتـازا بالغمـوض المطلـق، كالأثـير.

نشوء حالة صعبة

ولكـن الأهـم مـن كل ذلـك أن إخـلال الضـوء بمبـدأ نسـبية الحركـة كان يجـب أن يـؤدي بالـضرورة إلى إخـلال بقيـة الأجسـام الأخـرى بذلـك المبـدأ.

إن أي وسـط يبـدى في الواقـع مقاومـة لحركـة الأجسـام فيـه. لذلـك كان يجـب أن يصحـب انتقـال الأجسـام في الأثـير احتـكام يهـدئ مـن سرعتهـا، ليـؤدي بهـا في النهايـة إلى السـكون. إن الأرض تـدور منـذ مليـارات السـنين (حسـب المعطيـات الجيولوجيـة) حـول الشـمس، ولم يلاحـظ أي نقـص في سرعتهـا نتيجـة احتكاكهـا بالأثـير.

وهكـذا فبمحاولتنـا تفسـير التـصرف العجيـب للضـوء في القطـار المتحـرك بفـرض وجـود الأثـير، وقعنـا في إشـكال ضخـم. وافـتراض وجـود الأثـير لا يحـل التناقـض بـين إخـلال الضـوء بمبـدأ نسـبية الحركـة وخضـوع الحـركات الأخـرى لـه.

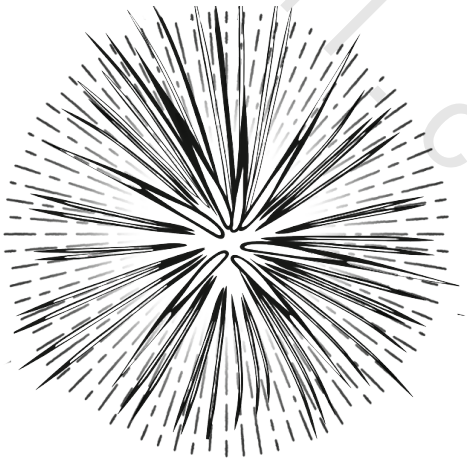
يجب أن نحتكم إلى التجربة

كيف نتصرف إزاء هذه التناقضات؟ قبل أن نبدي هذا الرأي أو ذاك لنتذكر أننا قد توصلنا إلى التناقض بين انتشار الضوء ومبدأ نسبية الحركة انطلاقاً من النقاش البحت.

حقاً لقد كان نقاشاً مقنعاً للغاية، ولكن الاكتفاء بالحوار فقط، يجعلنا نشبه بعض الفلاسفة القدامى الذين حاولوا الحصول على قوانين الطبيعة من أدمغتهم الخاصة. وهنا يبرز بالضرورة خطر، وهو أن العالم المبني بهذه الطريقة بكل تناسقه وجماله لا يشبه الواقع كثيراً.

فالتجربة إذن، هي التي تصدر الحكم القاطع على صحة أية نظرية فيزيائية. ومن الضروري ألا نكتفي بمناقشة نظرية لكيفية انتشار الضوء في قطار متحرك بل يجب الرجوع إلى التجارب التي ستوضح كيف يتحرك الضوء في الواقع في هذه الظروف.

ومن السهل إجراء مثل هذه التجربة لأننا أنفسنا نعيش على جسم متحرك. والأرض أثناء دورانها حول الشمس، لا تتحرك مطلقاً على خط مستقيم، ومن ثم فلا يمكن أن توجد باستمرار في



حالة سكون من وجهة نظر أي مختبر ساكن.

حتى إذا أخذنا في البدء المختبر الذي تكون الأرض بالنسبة له ساكنة في شهر يناير، وحيث إن اتجاه حركة الأرض حول الشمس يتغير، فمن المؤكد أنها في شهر يونيو، ستوجد بالنسبة لهذا المختبر في حالة حركة. لذا فبدراستنا لانتشار الضوء على الكرة الأرضية، ندرس في الواقع انتشار الضوء في مختبر متحرك على وجه التحديد. والأكثر من هذا إن الأرض تتحرك بسرعة ٣٠ كم/ ثانية، وهي سرعة هائلة بالنسبة لظروفنا (يمكن إهمال دوران الأرض حول محورها الذي يكسبها سرعة تصل إلى ١/٢ كم/ ثانية).

هل يحق لنا، مع ذلك، تمثيل الكرة الأرضية بالقطار المتحرك، سابق الذكر، والذي أدى بنا إلى المأزق؟ فالقطار يتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم، أما الأرض فتتحرك دائرياً. نعم، يحق لنا ذلك فلا بأس على الإطلاق، من اعتبار أن الأرض تتحرك على خط مستقيم، وبسرعة منتظمة خلال الفترة الزمنية لمرور الضوء عبر أجهزة القياس والتي لا تتعدى جزءاً ضئيلاً جداً من الثانية. والخطأ الذي يمكن أن نقع فيه هنا طفيف جداً، بحيث لا يمكن اكتشافه.

وما دمنا قد شبهنا الكرة الأرضية بالقطار، فمن الطبيعي أن نتوقع أن يتصرف الضوء على الأرض بنفس الدرجة من الغرابة، أي ينتشر في الاتجاهات المختلفة بسرع مختلفة.

مبدأ النسبية ينتصر

لقد أجرى مايكلسون- أحد أعظم علماء الفيزياء التجريبية في القرن التاسع عشر- مثل هذه التجربة عام ١٨٨١ وقاس بدرجة عالية من الدقة، سرعة الضوء بالنسبة للأرض في اتجاهات مختلفة. ولكي يدرك الاختلاف البسيط المتوقع في السرع، اضطر مايكلسون إلى استخدام معدات على درجة عالية من الدقة والحساسية، وأظهر في ذلك براعة وقدرة فائقة على الإبداع والابتكار. ولقد كانت التجربة على درجة عالية من الدقة بحيث كان من المستطاع، إيجاد فروق في السرع أقل كثيراً، مما كان متوقعاً.

لقد أدت تجربة مايكلسون التي أعيدت بعد ذلك أكثر من مرة في ظروف متباينة تماماً إلى نتيجة غير متوقعة على الإطلاق. لقد أوضحت أن انتشار الضوء في المختبر المتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم، يحدث في الواقع بشكل يختلف تماماً عما تؤدي إليه دراستنا النظرية. وعلى وجه التحديد لاحظ مايكلسون أن الضوء ينتشر على الأرض (المتحركة) بسرع متساوية في كافة الاتجاهات. وفي هذا الصدد فإن انتشار الضوء، كانطلاق الرصاصة، يتم في الاتجاهات المختلفة بسرعات متساوية بالنسبة إلى جدران المختبر بصرف النظر عن حركة المختبر (المنتظمة على خط مستقيم).

وهكذا أوضحت تجربة مايكلسون، أن ظاهرة انتشار الضوء، ئلى عكس دراستنا النظرية، لا تتناقض على الإطلاق مع مبدأ نسبية الحركة، بل على العكس توجد معه في تناسق كامل. وبكلمات أخرى يتضح أن مناقشتنا على الصفحة ٢٦ هي مناقشة خاطئة.

انتقلنا من حالة سيئة إلى حالة أسوأ

وهكذا أزالت التجربة التناقض بين قوانين انتشار الضوء وبين مبدأ نسبية الحركة. وظهر أن ذلك التناقض كان مجرد تناقض موهوم نتج عن مناقشتنا الخاطئة. ولكن أين يكمن الخطأ على وجه التحديد؟

إن البحث عن حل لهذا السؤال أتعب علماء الفيزياء في العالم كله لمدة ربع قرن تقريباً من ١٨٨١ إلى ١٩٠٥ ، ولكن كل التفسيرات المقترحة أدت إلى تناقضات مستمرة، بين النظرية والتجربة.

إذا تحرك قفص مصنوع من قضبان دقيقة وفيه مراقب، فإن المراقب يحس بتيار من الهواء. وإذا كان مع المراقب في القفص مصدر للصوت وقاس سرعة الصوت بالنسبة للقفص، لوجدها في اتجاه حركة القفص، أقل منها في الاتجاه المضاد. أما إذا وضعنا مصدر الصوت في قطار مغلق النوافذ والأبواب، وقسنا سرعة

الصوت فيه، وحيث إن مثل هذا القطار يجر معه الهواء الذي بداخله، فإننا نجد أن سرعة الصوت متساوية في كافة الاتجاهات.

وإذا انتقلنا من ظاهرة انتشار الصوت إلى الضوء لكان باستطاعتنا فرض تفسير نتائج تجربة مايكلسون بما يلي: عندما تتحرك الأرض فهي لا تترك الأثير ساكنا وتمر من خلاله كالقفص المصنوع من قضبان دقيقة، ولكنها تجره معها، مكونة معه أثناء حركتها كتلة واحدة. وهكذا تصبح نتائج تجربة مايكلسون مفهومة.

ولكن هذا الفرض، يتعارض تعارضاً حاداً مع مجموعة كبيرة من التجارب الأخرى. فهو يتعارض مثلاً مع خواص انتشار الضوء في أنبوبة يجري في داخلها ماء، لأنه لو كان الفرض صحيحاً، لوجدنا أن سرعة الضوء باتجاه مجرى الماء، تساوي سرعة الضوء في الماء الساكن، مضافاً إليها سرعة الماء. ولكن القياسات المباشرة تعطي سرعة أقل من تلك المتوقعة من مناقشتنا هذه.

هذا، فضلاً عن أننا تحدثنا عن حالة غاية في الغرابة هي أن الأجسام عند حركتها خلال الأثير لا تعاني أي احتكاك. أما إذا كانت الأجسام لا تمر خلال الأثير فقط، ولكنها تجره معها، فإن الاحتكاك لابد أن يكون محسوساً على أي حال.

وهكذا انتهت بالفشل كل محاولات إزالة التناقض الذي أدت إليه النتائج غير المتوقعة لتجربة مايكلسون.

والآن نلخص الحديث بما يلي:- إن تجربة مايكلسون تؤكد مبدأ نسبية الحركة ليس فقط لحركة الأجسام العادية، ولكن أيضاً لخاصية انتشار الضوء، أي لجميع ظواهر الطبيعة.

وقد اتضح مما سبق، أن مبدأ نسبية الحركة، يؤدي بشكل مباشر إلى نسبية السرعة: يختلف مقدار السرعة من مختبر إلى آخر يتحرك بالنسبة له. ولكن سرعة الضوء- ٣٠٠٠٠٠ كم/ ثانية- لا تتغير في المختبرات المختلفة، وبالتالي فهي ليست نسبية بل مطلقة!

الفصل الرابع

اتضاح نسبية الوقت

هل يوجد تناقض في الواقع؟

قد يبدو للوهلة الأولى، أننا نواجه تناقضاً منطقياً بحتا. أن ثبات سرعة الضوء في مختلف الاتجاهات يؤكد مبدأ النسبية، في الوقت الذي تكون فيه سرعة الضوء مطلقة.

لنتذكر موقف الإنسان في القرون الوسطى، من الواقع القائل بأن الأرض كروية: إن كروية الأرض بالنسبة لذلك الإنسان، كانت تناقض تماماً، وجود قوة الجاذبية الأرضية إذ أن جميع الأجسام كان يجب أن تتساقط عن الأرض "إلى أسفل". ولكننا في الوقت نفسه نعلم بالتأكيد أنه ليس هناك أي تناقض منطقي في ذلك. كل ما في الأمر أن مفهومي الـ "أعلى" والـ "أسفل" هما مفهومان نسبيان غير مطلقين.

إن نفس الحالة تنطبق على ظاهرة انتشار الضوء.

وسيكون من العبث البحث عن تناقض. منطقي بين مبدأ نسبية الحركة ومطلقية سرعة الضوء. ذلك لأن التناقض هنا يظهر لمجرد أننا في هذه الحالة أدخلنا، دون أن نشعر، فروضاً إضافية أخرى، تماماً كما كان عليه الأمر مع الناس في القرون الوسطى، حينما أنكروا كروية الأرض، مستندين على اعتبارهم مفهومي الـ "أعلى" والـ "أسفل" مفهومين مطلقين. إن الإيمان بمطلقية الـ "أعلى" والـ "أسفل"، المضحك بالنسبة لنا، جاء نتيجة لافتقار هؤلاء الناس للتجربة، لأنهم في ذلك الوقت قلما كانوا يسافرون، ولم يكونوا ليعرفون سوى مساحات ضئيلة من سطح الأرض. وبديهي أن شيئاً مماثلاً حدث لنا كذلك، بسبب افتقارنا للتجربة، حيث كنا نعتبر الأشياء النسبية وكأنها مطلقة.

فما هي تلك الأشياء بالذات؟

ولأجل الكشف عن خطأنا، سنعتمد في المستقبل فقط على الاعتبارات التي تثبتها التجربة.

فلنستقل القطار

لنتصور قطارا يبلغ طوله ٥٤٠٠٠٠٠ كم، يتحرك على خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ ٢٤٠٠٠٠ كم/ ثانية.

ولنفترض أن مصباحاً أوقد في وسط القطار، في لحظة زمنية معينة من أوقات السفر. وقد نصبت، في العربتين الأولى والأخيرة، أبواب آلية تفتح في تلك اللحظة التي تتعرض فيها لأشعة الضوء. فما الذي سيراه الناس الجالسون في القطار والناس الواقفون الرصيف؟

للإجابة على هذا السؤال سنعتمد، كما اتفقنا، على التجارب فحسب. إن الجالسين في وسط القطار سيرون الآتي: بما أن الضوء حسب تجربة مايكلسون ينتشر بسرعة واحدة في جميع

الاتجاهـات، بالنسـبة للقطـار، أي بسرعـة ٣٠٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة، ففـي هـذه الحالـة سـيصل الضـوء بعـد ٩ ثـوان ($\frac{٢٧٠٠٠٠٠}{٣٠٠٠٠٠}$) إلى العربتـين الأولى والأخـيرة في آن واحـد، وسـينفتح البابـان في آن واحـد.

فـما الـذي سـيراه الواقفـون عـلى الرصيـف؟ ينتـشر الضـوء بالنسـبة للمحطـة بسرعـة ٣٠٠٠٠٠ كـم/ ثانيـة أيضـاً. غـير أن العربـة الأخـيرة تسـير لملاقـاة شـعاع الضـوء. ولهـذا فـإن الضـوء سـيتقابل مـع العربـة الأخـيرة بعـد مـضي $\frac{٢٧٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠ + ٣٠٠٠٠٠}$ = ٥ ثـوان. أمـا بالنسـبة للعربـة الأولى، فيجـب عـلى شـعاع الضـوء أن يلاحقهـا، ولذلـك فلـن يصلهـا إلا بعـد مـضي $\frac{٢٧٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠ - ٣٠٠٠٠٠}$ = ٤٥ ثانيـة.

إذن، فسـيبدو للواقفـين عـلى الرصيـف، أن أبـواب القطـار لم تفتـح في آن واحـد. ففـي البدايـة سـتفتح أبـواب العربـة الأخـيرة، أمـا أبـواب العربـة الأولى فلـن تفتـح إلا بعـد مـضي ٤٥ - ٥ = ٤٠ ثانيـة[٥]*.

وفي هـذه الحالـة، فـإن الحادثـين المتماثلـين أي فتـح أبـواب عربتـي القطـار الأولى والأخـيرة، يبـدوان للجالسـين في القطـار، وكأنهـما يجريـان في آن واحـد، أمـا بالنسـبة للواقفـين عـلى الرصيـف، فإنهـما يبـدوان منفصلـين بفـترة زمنيـة قدرهـا ٤٠ ثانيـة.

هزيمة "العقل السليم"

هـل يوجـد في ذلـك تناقـض؟ أفـلا تبـدو هـذه الحقيقـة التـي اكتشـفناها، مجـرد هـراء كأن نقـول مثـلاً: طـول التمسـاح مـن الذنـب إلى الـرأس مـتران، ومـن الـرأس إلى الذنـب، مـتر واحـد؟

فلنحـاول أن نتفهـم لمـاذا تبـدو النتيجـة التـي توصلنـا إليهـا غـير معقولـة، رغـم أنهـا في وفـاق تـام مـع التجربـة.

مهـما فكرنـا في ذلـك، فلـن نسـتطيع أن نجـد تناقضـاً منطقيـاً في أن الحادثـين اللذيـن جويـا في آن واحـد بالنسـبة للمسـافرين في

٥ * فيما بعد سنشرح هذه المفاهيم بصورة أدق (انظر صفحة ٥٥).

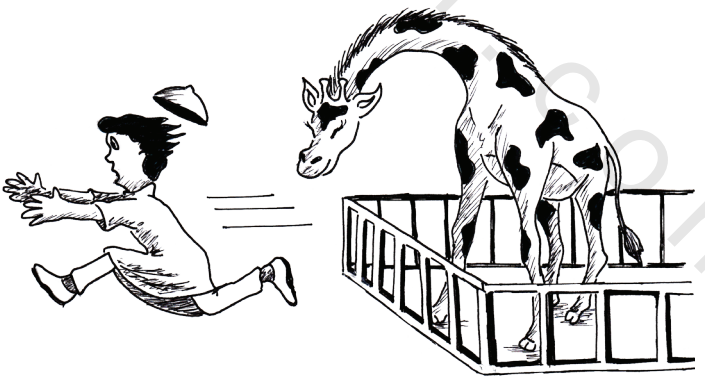
القطار، بدوا منفصلين بفترة قدرها ٤٠ ثانية بالنسبة للواقفين على الرصيف.

أن الشيء الوحيد الذي يمكن أن نعزي به أنفسنا، هو أن استنتاجاتنا تتناقض مع "العقل السليم".

ولنتذكر كيف كان "العقل السليم" للإنسان في القرون الوسطى يعارض حقيقة دوران الأرض حول الشمس! في الواقع، كانت التجربة اليومية تؤكد لإنسان القرون الوسطى أن الأرض مستقرة والشمس تدور حولها. أفليس الناس بمدينين لـ "العقل السليم"، الذي قادهم إلى براهين مضحكة، تؤكد عدم إمكانية كروية الأرض؟!

لقد سخر من تعارض "العقل السليم" مع الواقع، في النادرة المعروفة، عن المزارع الذي رأى زرافة في حديقة الحيوان فصرخ متعجبا: "هذا غير ممكن!".

إن ما يسمى بالعقل السليم، ليس إلا مجرد تعميم لتصوراتنا، النابعة من الحياة اليومية.. وهذا مستوى معين للإدراك، يعكس مستوى التجربة.



إن صعوبة إدراك أن الحادثين اللذين يجريان في القطار في آن واحد، سيبدوان بصورة مختلفة، في حالة وجودنا على الرصيف، تماثل الصعوبة التي واجهها المزارع، الذي أثار دهشته منظر الزرافة. فالمزارع لم ير الزرافة من قبل، كما أننا ما تحركنا أبدا بسرعة تقترب، ولو إلى حد ما، من السرعة الأسطورية التي تبلغ ٢٤٠٠٠٠ كم/ ثانية. وليس بالغريب أن الفيزيائيين إذ يواجهون مثل هذه السرعة الأسطورية، فإنهم يلاحظون وقائع، تختلف اختلافاً جوهرياً عن تلك الوقائع التي ألفناها في حياتنا اليومية.

إن النتيجة المفاجئة التي توصلنا إليها من تجربة مايكلسون، والتي وضعت الفيزيائيين أمام هذه الوقائع الجديدة، حملتهم على إعادة النظر، على الرغم من "العقل السليم"، في التصورات الراسخ في أذهاننا، والتي اعتدنا عليها، كوقوع حادثين في آن واحد.

وبديهي، أنه كان في استطاعتنا أن نتمسك بـ "العقل السليم" وبالتالي أن ننكر وجود ظواهر جديدة، غير أننا لو كنا قد فعلنا ذلك، لأصبحنا على غرار ذلك المزارع في النادرة التي سبق ذكرها.

الزمن يلاقي نفس مصير الفراغ

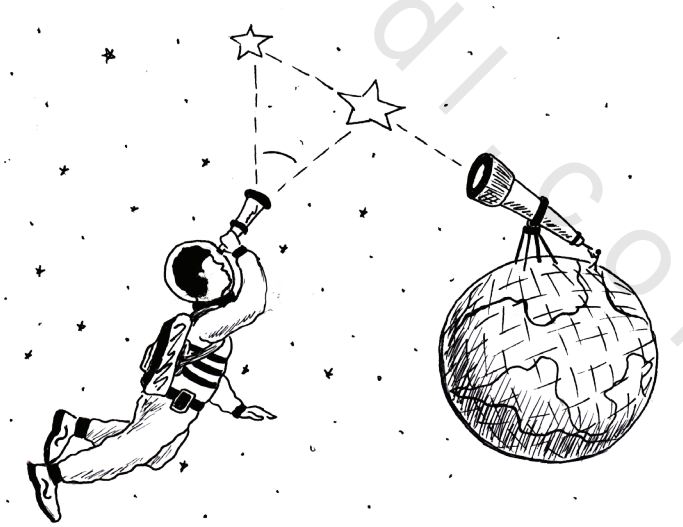
إن العلم لا يخشى الاصطدام بما يسمى بالعقل السليم، بل إن ما يخيفه، هو عدم التوافق بين التصورات الموجودة فعلاً، وبين المعلومات التجريبية الجديدة. فإذا ما حدث ذلك، فإن العلم يحطم، دون رحمة، التصورات القائمة، ويرفع بذلك إدراكنا إلى درجة أعلى.

لقد كنا نعتبر أن الحادثين الآنيين يتمان في آن واحد في أي مختبر. غير أن التجربة أوصلتنا إلى نتيجة أخرى، فقد اتضح أن هذا صحيح فقط في حالة سكون المختبرين بالنسبة لبعضهما. وإذا ما تحرك المختبران، أحدهما بالنسبة للآخر، فإن الحادثين الآنيين، في أحد المختبرين، يجب أن يتما في وقتين مختلفين في المختبر الآخر. إن مفهوم آنية الحادثين، يصبح نسبيا، ويكون له معنى فقط في تلك

الحالة التي نبين فيها كيفية حركة المختبر، الذي يراقب منه هذان الحادثان.

ولنتذكر المثال المتعلق بالقيم الزاوية، وهو المثال الذي تطرفنا إليه في صفحة ١٠. فكيف كان الأمر هناك؟ لنفترض أن المسافة الزاوية بين النجمين، تساوي صفراً في حالة مراقبتهما من الأرض، وذلك لوقوع النجمين على خط مستقيم واحد. ونحن لا نواجه في حياتنا اليومية أي تناقض مع هذا الفرض، وذلك إذا اعتبرنا هذا الفرض مطلقاً. غير أن الأمر يتغير، إذا ما تركنا حدود مجموعتنا الشمسية، وراقبنا نفس النجمين من أية نقطة أخرى في الفضاء. ففي هذه الحالة، المسافة الزاوية لا تساوي صفراً، بل مقدارا آخر.

إن هذه الحقيقة الواضحة لإنسان عصرنا هذا، والتي تقول بأن النجمين اللذين ينطبقان عند مراقبتهما من الأرض يمكن ألا ينطبقا عند مراقبتهما من نقاط أخرى في الفضاء، كانت تبدو غير معقولة لإنسان القرون الوسطى، الذي كان يتصور السماء قبة ترصعها النجوم.



ولنفترض أنه طرح علينا السؤال التالي: هل يمكننا في الواقع، اعتبار الحادثين آنيين أم لا، إذا ما غضضنا النظر عن المختبرات بوجه عام؟ إن هذا السؤال، للأسف، لا يحتوي على معنى، أكثر مما يحتوي عليه السؤال التالي: إذا ما تجاهلنا النقاط التي تجري المراقبة منها، فهل يقع النجمان، في الواقع، على خط مستقيم واحد أم لا؟ إن جوهر الأمر هنا، هو أن الوقوع على خط مستقيم واحد، لا يتوقف على حالة النجمين فحسب، بل وكذلك على النقطة التي تجرى منها المراقبة. وينطبق نفس الشيء على آنية الحادثين، التي لا تتوقف على الحادثين وحسب، بل وكذلك على المختبر الذي تتم منه مراقبة هذين الحادثين.

لقد التقينا حتى الآن بسرع صغيرة بالمقارنة مع سرعة الضوء، لذلك فإننا لم نستطع اكتشاف نسبية مفهوم الآنية. أما إذا ما تطرقنا إلى دراسة الحركة ذات السرع التي يمكن مقارنتها بسرعة الضوء، فإننا نضطر إلى إعادة النظر في مفهوم الآنية.

وبنفس هذه الطريقة تماماً، اضطر الناس إلى إعادة النظر في مفهومي الـ "أعلى" والـ"أسفل"، عندما أخذوا يقطعون مسافات، يمكن مقارنتها بأبعاد الأرض. أما قبل ذلك، فإن تصور شكل الأرض مسطحاً، لم يكن يؤدي إلى أي تناقض مع التجربة.

والحقيقة، فإننا لا نستطيع الحركة بسرع تقترب من سرعة الضوء، ولذلك فلا يمكننا أن نراقب، بتجربتنا الذاتية، الوقائع المتناقضة من وجهة نظر التصورات القديمة، تلك الوقائع التي تحدثنا عنها توا. ولكنه يمكننا بفضل التكنيك الحديث في إجراء التجارب الفيزيائية، أن نؤكد هذه الوقائع بملء الثقة، في عديد من الظواهر الفيزيائية.

إذا، فقد لقى الزمن مصير الفراغ! واتضح أن عبارة "في آن واحد" مجردة من المعنى تماماً، كما هو الأمر مع عبارة "في نفس المكان".

إن الفترة الزمنية بين الحادثين، هي تماماً كالمسافة الفراغية بينهما، تتطلب الإشارة إلى المختبر الذي تتم منه مراقبة الحادثين.

العلم ينتصر

إن اكتشاف واقع نسبية الزمن، هو بمثابة تحول عميق في تصورات الإنسان للطبيعة. وهو من أهم انتصارات العقل الإنساني على جمود التصورات الراسخة طوال عدة قرون. ويمكن أن نقارن هذا الاكتشاف بانقلاب التصورات الإنسانية، المتعلق باكتشاف واقع كروية الأرض.

وقد تم اكتشاف نسبية الزمن عام ١٩٠٥ من قبل العالم الفيزيائي الكبير ألبيرت آينشتاين (١٨٨٠- ١٩٥٥)، الذي يعتبر من أعظم علماء القرن العشرين قاطبة. وقد رفع هذا الاكتشاف آينشتاين، الذي كان يبلغ الخامسة والعشرين من عمره، إلى صفوف عمالقة الفكر الإنساني. وقد أصبح اسمه خالداً في ذاكرتنا خلود كل من كوبرنكس ونيوتن لأنه شق طرقاً جديدة في حقول العلم.

وكان لينين يعتبر ألبيرت آينشتاين واحداً من "أكبر العلماء الذين طوروا العلوم الطبيعية".

إن نظرية نسبية الزمن، والنتائج الناجمة عنها، تسمى كالعادة بنظرية النسبية. ولا يجب أن نخلط بينها وبين مبدأ نسبية الحركة.

للسرعة حدود

كانت الطائرات تحلق، قبل الحرب العالمية الثانية، بسرع تقل عن سرعة الصوت. أما الآن فقد صنعت طائرات تفوق سرعتها سرعة الصوت. إن الموجات اللاسلكية تنتشر بسرعة الضوء. أفلا يمكن أن نضع أمامنا مهمة إنشاء تلغراف، تفوق سرعته سرعة الضوء، بغية إرسال الإشارات بسرعة تفوق سرعة الضوء؟ لقد اتضح أن هذا الأمر مستحيل.

وفي الواقع، فلو كان باستطاعتنا أن نرسل الإشارات بسرعة لانهائية، لكان بإمكاننا أن نحقق آنية الحادثين بصورة مطلقة ولاستطعنا أن نقول إن هذين الحادثين قد وقعا في آن واحد، وذلك

إذا كانت الإشارة ذات السرعة اللانهائية والخاصة بالحادث الأول قد وصلت في آن واحد مع الإشارة الخاصة بالحادث الثاني. وفي هذه الحالة ستصبح لآنية الحادثين، سمات مطلقة، لا تتوقف على حركة المختبر الذي تجرى منه المراقبة.

وهكذا، نستنتج أن إرسال الإشارات لا يمكن أن يتم في لمح البصر، وذلك لأن التجربة تدحض مطلقية الزمن. إن سرعة الإرسال من نقطة في الفراغ إلى نقطة أخرى، لا يمكن أن تكون لانهائية، أو بمعنى آخر لا يمكنها أن تزيد على قيمة نهائية معينة، تسمى بالسرعة القصوى.. إن هذه السرعة القصوى تطابق سرعة الضوء.

في الواقع، فبموجب مبدأ نسبية الحركة يجب أن تكون قوانين الطبيعة واحدة في جميع المختبرات المتحركة بالنسبة لبعضها البعض (بسرعة منتظمة على خط مستقيم). إن الإقرار بأن السرعة لا يمكن أن تزيد على حد معين، هو قانون طبيعي، ولذا يجب أن تكون قيمة السرعة القصوى متساوية تماما في مختلف المختبرات. وكما نعرف، فإن لسرعة الضوء نفس هذه الخواص.

إذا، فإن سرعة الضوء ليست مجرد سرعة انتشار إحدى الظواهر الطبيعية، بل إنها تلعب دوراً هاماً، كسرعة قصوى.

إن اكتشاف وجود السرعة القصوى في العالم، هو من أهم انتصارات الفكر الإنساني وإمكانيات الإنسان التجريبية.

إن فيزيائي القرن الماضي لم يدرك أن هناك سرعة قصوى في العالم، وأنه يمكن إثبات حقيقة وجودها. وبالإضافة إلى هذا فحتى إذا اصطدم، أثناء تجاربه، بوجود السرعة القصوى في الطبيعة، فإنه لم يكن ليستطيع الوثوق بأن هذا هو قانون الطبيعة، وليس نتيجة قصور في الإمكانيات التجريبية يمكن إزالته بتطور التكنيك.

إن مبدأ النسبية يبين أن وجود السرعة القصوى يكمن في طبيعة الأشياء بالذات. إن الظن بأن تقدم التكنيك سيمكن من بلوغ سرع تزيد على سرعة تزيد على سرعة الضوء، أمر مضحك تماماً، كما لو ظننا بأن عدم وجود نقاط على سطح الأرض تبعد

إحداها عن الأخرى بمسافة تزيد على ٢٠٠٠٠ كم، هو ليس بقانون جغرافي، بل هو عبارة عن ضعف في معلوماتنا، ونأمل بأننا سوف نستطيع، بتطور علم الجغرافيا أن نجد نقاطاً على سطح الأرض تبعد عن بعضها بمسافة تزيد على ذلك بكثير.

إن لسرعة الضوء أهمية منقطعة النظير في الطبيعة، وذلك لأنها أقصى سرعة يمكن أن تنتشر بها كل الأشياء قاطبة. إن الضوء، إما أن يسبق أية ظاهرة أخرى، أو على الأقل، يصل معها في آن واحد.

لو حدث أن انقسمت الشمس إلى قسمين، وتكون نجم مزدوج، لتغيرت حركة الأرض بطبيعة الحال.

إن فيزيائي القرن الماضي، الذي لم يكن يعرف شيئاً عن وجود السرعة القصوى في الطبيعة، كان سيفترض بالتأكيد أن تغير حركة الأرض يجب أن يحدث فور انقسام الشمس. بيد أن الضوء، سيحتاج إلى ٨ دقائق للوصول من الشمس المنقسمة إلى الأرض.

ولكن في الواقع، فإن تغير حركة الأرض سيبدأ كذلك بعد مضي ٨ دقائق على انقسام الشمس. أما قبل هذه اللحظة، فإن الأرض ستستمر في حركتها، كما لو أن الشمس لم تنقسم. وعلى وجه العموم، فلا يمكن لأي شيء يحدث للشمس أو عليها، أن يؤثر أي تأثير على الأرض وحركتها، قبل انقضاء ٨ دقائق.

وبالطبع، فإن السرعة المحدودة لانتشار الإشارات، لا تحرمنا إمكانية إثبات آنية حادثين ما. ولهذا الغرض يجب حساب الفترة الزمنية لتخلف الإشارة، وهو ما نفعله عادة.

غير أن مثل هذه الطريقة لإثبات آنية حادثين تتفق تماماً مع نسبية هذا المفهوم. وفي الواقع، لكي نحسب زمن التخلف، يجب علينا تقسيم المسافة بين موقعي الحادثين، على سرعة انتقال الإشارة. ومن جهة أخرى فقد رأينا، عند دراسة مسألة إرسال الخطابات من القطار السريع موسكو- فلاديفستوك، أن نفس مفهوم المكان في الفراغ، هو مفهوم نسبي إلى حد كبير.

قبل وبعد

لنفترض أن قطارنا المزود بالمصباح المضاء، والذي ندعوه بقطار آينشتاين، قد تعطلت فيه الأجهزة الآلي لفتح الأبواب، ولاحظ المسافرون في القطار أن أبواب العربة الأولى قد فتحت قبل أبواب العربة الأخيرة، بخمس عشرة ثانية. أما الواقفون على رصيف المحطة فسيرون العكس: أن أبواب العربة الأخيرة قد فتحت قبل أبواب العربة الأولى بـ ٤٠ – ١٥ = ٢٥ ثانية. وهكذا، فإن الأمر الذي حدث مسبقاً بالنسبة لمختبر ما، يمكن أن يحدث متأخراً بالنسبة لمختبر آخر.

وهنا تنشأ مباشرة، فكرة أن نسبية مفهومي "قبل" و"بعد" يجب أن تكون محدودة. إذ أنه من الصعب أن يفترض المرء (من وجهة نظر أي مختبر كان) أن الطفل يمكن أن يولد قبل أمه.

لقد ظهرت على الشمس بقعة. وبعد ٨ دقائق لاحظها عالم فلكي يراقب الشمس بواسطة تلسكوب. وكل ما سيفعله العالم الفلكي بعد هذا، سيكون أكثر تأخراً على الإطلاق من ظهور البقعة- أي أكثر تأخراً، مهما كان عليه المختبر الذي يراقب بقعة الشمس، والعالم الفلكي. وبالعكس، فكل ما حدث للعالم الفلكي قبل ظهور البقعة بـ ٨ دقائق (بحيث تصل إشارة ضوئية عن هذا الحادث إلى الشمس قبل ظهور البقعة)، قد حدث أكثر تبكيراً على الإطلاق من ظهور البقعة.

وإذا ما لبس العالم الفلكي نظارته في الفترة الزمنية الواقعة بين هذين الحادثين، فإن التناسب الزمني بين ظهور البقعة ولبس النظارة من قبل العالم الفلكي، لن يكون مطلقاً.

ويمكننا مثلاً أن نتحرك بالنسبة لكل من العالم الفلكي والبقعة، بحيث نرى العالم الفلكي الذي يلبس نظارته قبل أو بعد أو في آن واحد مع ظهور البقعة: ويعتمد ذلك على سرعة حركتنا واتجاهها.

وهكـذا فـإن مبـدأ النسـبية يبـين أن التناسـب الزمنـي بـين الحـوادث يمكـن أن يكـون أحـد أنـواع ثلاثـة: أكـثر تبكـيراً عـلى الإطـلاق، أكـثر تأخـراً عـلى الإطـلاق، و"لا قبـل ولا بعـد"، وبمعنـى أدق "قبـل أو بعـد" ويتوقـف ذلـك عـلى المختـبر الـذي تجـرى منـه مراقبـة هـذه الحـوادث.

obeikandl.com

الفصل الخامس

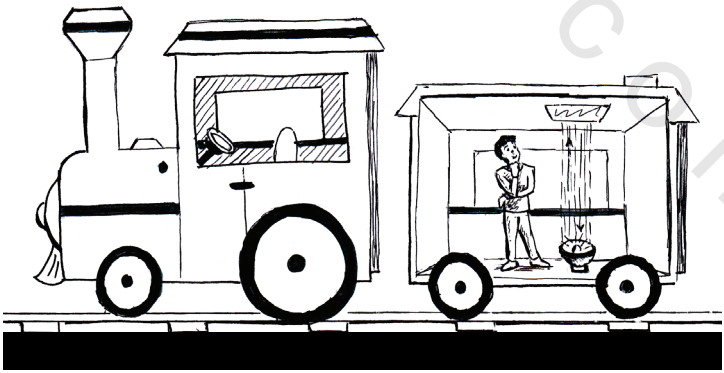
الساعات والمساطر متقلبة الأطوار

لنستقل القطار من جديد

أمامنا سكة حديدية طويلة جداً، يسير عليها قطار آينشتاين، وهناك محطتان تبعد إحداهما عن الأخرى بمسافة ٨٦٤٠٠٠٠٠٠ كم. أن قطار آينشتاين يحتاج إلى ساعة واحدة لاجتياز هذه المسافة إذا كانت سرعته تعادل ٢٤٠٠٠٠ كم/ ثانية.

لنفرض وجود ساعة في كل محطة، وقد استقل سائح عربة من عربات هذا القطار في المحطة الأولى، وضبط ساعته اليدوية تبعاً لساعة المحطة قبيل انطلاق القطار. فما أن وصل إلى المحطة الثانية حتى لاحظ مندهشاً أن ساعته قد تأخرت.

وكانوا قد أكدوا للسائح، في ورشة تصليح الساعات، أن ساعته اليدوية مضبوطة تماماً... فما هو الأمر؟



لتوضيح الأمر، نتصور أن المسافر يوجه شعاع ضوء، من مصباحه اليدوي الموضوع على أرض العربة، إلى السقف، حيث توجد مرآة يقع عليها الشعاع، فينعكس عائداً إلى المصباح. إن مسار الشعاع، كما يراه راكب العربة، مبين في الرسم الموجود في صفحة ٤٦. أما بالنسبة للمراقب الواقف على الرصيف، فإنه يرى ذلك المسار بشكل آخر. ففي الوقت الذي يسير فيه شعاع الضوء من المصباح اليدوي إلى المرآة، فإنها مكانها سيتغير من جراء حركة القطار. وفي الوقت الذي سينعكس فيه الشعاع، فإن موضع المصباح سيتغير بنفس المسافة.

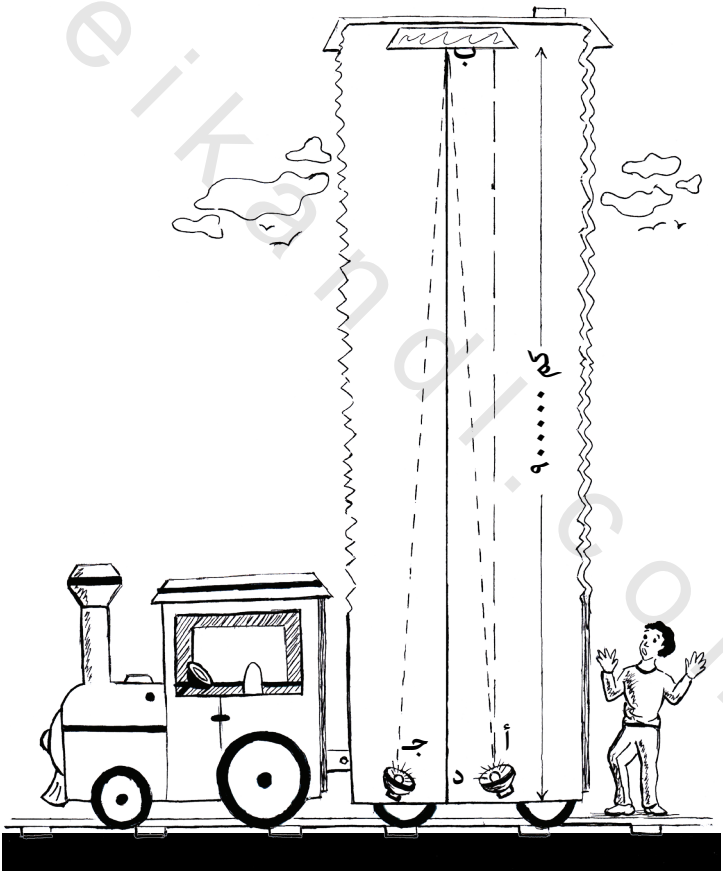
وهكذا فإننا نجد أن الضوء بالنسبة للواقفين على الرصيف، قد قطع مسافة أكبر، مما هي عليه بالنسبة للمراقبين الجالسين في القطار. هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإننا نعرف أن سرعة الضوء هي سرعة مطلقة، متساوية بالنسبة للجالسين في القطار، وللواقفين على الرصيف، على حد سواء، الأمر الذي يجعلنا نتوصل إلى الاستنتاج التالي: في المحطة، انقضى بين لحظة إرسال شعاع الضوء ولحظة عودته، وقت أطول مما انقضى على ذلك في القطار... وليس من الصعب حساب نسبة الزمنين.

فلنفرض أنه اتضح للمراقب الواقف على الرصيف، أنه قد انقضت عشر ثوان، منذ لحظة إرسال الشعاع ولحظة عودته. وخلال هذه الثواني العشر، يكون الضوء قد اجتاز مسافة ٣٠٠٠٠٠ × ١٠ = ٣٠٠٠٠٠٠ كم. ومن هنا ينتج أن طول كل من الضلعين (أ ب) و (ب جـ)، في المثلث المتساوي الساقين (أ ب جـ) يبلغ ١٥٠٠٠٠٠ كم، وأن الضلع أجـ يساوي، كما هو واضح، الطريق الذي اجتازه القطار خلال عشر ثوان، أي ٢٤٠٠٠٠ × ١٠= ٢٤٠٠٠٠٠ كم.

وليس من الصعب الآن، تعيين ارتفاع عربة القطار، وهو الارتفاع (ب د) في المثلث (أ ب جـ) ... ولنتذكر أن مربع الوتر (أ ب) في المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع مربعي الضلعين القائمين (أ د ، ب ١د). وهكذا يمكننا أن نحصل من المعادلة:

$\overline{اب}^{٢} = \overline{اد}^{٢} + \overline{ب د}^{٢}$ ، عـلي ارتفـاع عربـة القطـار، وهـو

ب د = $\sqrt{\overline{اب}^{٢} - \overline{اد}^{٢}}$ = $\sqrt{١٥٠٠٠٠٠^{٢} - ١٢٠٠٠٠٠^{٢}}$ = ٩٠٠٠٠٠ كم.



obeikandl.com

يالـه مـن ارتفـاع هائـل! غـير أن هـذا ليـس بـشيء مدهـش، إذا مـا أخذنـا في الاعتبـار الأبعـاد الخياليـة لقطار آينشـتاين.

إن الطريـق الـذي قطعـه الشـعاع مـن الأرض إلى سـقف عربـة القطـار، ذهابـاً وإيابـاً، يعـادل بالنسـبة للمسـافر، ضعـف الارتفـاع، أي ٢ × ٩٠٠٠٠٠= ١٨٠٠٠٠٠ كـم. ولقطـع هـذا الطريـق يحتـاج شـعاع الضـوء إلى $\frac{١٨٠٠٠٠٠}{٣٠٠٠٠٠}$ = ٦ ثـوان.

الساعة تتأخر بصورة مستمرة

وهكـذا فعندمـا انقضـت ١٠ ثـوان في المحطـة، انقضـت في القطـار ٦ ثـوان فقـط. أي إذا وصـل القطـار، حسـب توقيـت المحطـة، بعـد سـاعة مـن انطلاقـه، فإنـه حسـب سـاعة المسـافر، يصـل بعـد فـترة زمنيـة قدرهـا ٦٠ × ١٠/٦ = ٣٦ دقيقـة مـن انطلاقـه. وبعبـارة أخـرى، فـإن سـاعة المسـافر تأخـرت عـن سـاعة المحطـة بأربـع وعشريـن دقيقـة خـلال سـاعة واحـدة.

وليـس مـن الصعـب إدراك أن تأخـر السـاعة سـيزداد، كلـما ازدادت سرعـة القطـار.

وبالفعـل، فكلـما اقتربـت سرعـة القطـار مـن سرعـة الضـوء، كلـما اقـترب ضلـع المثلـث القائـم الزاويـة، (أ د)، الـذي يمثـل الطريـق الـذي اجتـازه القطـار، مـن الوتـر (أ ب)، الـذي يمثـل الطريـق الـذي قطعـه الضـوء خـلال نفـس الوقـت. ونتيجـة لذلـك سـتقل النسـبة بـين طـول ضلـع المثلـث القائـم الزاويـة (ب د) والوتـر (أ ب). ولكـن هـذه النسـبة، هـي عبـارة عـن نسـبة الفـترة الزمنيـة في القطـار، إلى الفـترة الزمنيـة في المحطـة. فكلـما عملنـا عـلى تقريـب سرعـة القطـار مـن سرعـة الضـوء، يمكننـا خـلال سـاعة زمنيـة بتوقيـت المحطـة، الحصـول عـلى فـترة زمنيـة متناهيـة في الصغـر، داخـل القطـار. وهكـذا فـإذا كانـت سرعـة القطـار تعـادل ٠,٩٩٩٩ مـن سرعـة الضـوء، فسـتنقضي في القطـار، دقيقـة واحـدة فقـط خـلال سـاعة كاملـة بتوقيـت المحطـة!

إذاً، فإن كافة الساعات المتحركة تتأخر عن الساعات الساكنة. أفلا تناقض هذه النتيجة مبدأ نسبية الحركة الذي استندنا إليه؟ .. أفلا يعني هذا، أن الساعة التي تسبق كافة الساعات الأخرى، تكون في حالة سكون مطلق؟

كلا، لأن مقارنة الساعة الموجودة في القطار مع ساعة المحطة، قد تمت في ظروف غير متساوية على الإطلاق إذ لم تكن هناك ساعتان فقط، بل ثلاث ساعات! وكان الراكب يقارن ساعته بساعتين مختلفتين في محطتين مختلفتين. وبالعكس، فلو كانت هناك ساعتان في عربتي القطار الأولى والأخيرة، فإن المراقب في إحدى المحطتين إذ يقارن عقارب ساعة المحطة بعقارب الساعتين من خلال نوافذ القطار الذي يمر به، سيكتشف أن ساعة المحطة تتأخر بصورة مستمرة.

وفي هذه الحالة وعند حركة القطار حركة منتظمة على خط مستقيم بالنسبة للمحطة، يحق لنا أن نعتبر القطار ساكناً والمحطة متحركة. إذ يجب أن تتساوى جميع قوانين الطبيعة في المحطة وفي القطار.

إن كل مراقب ثابت بالنسبة لساعته، سيرى أن عقارب الساعات الأخرى المتحركة بالنسبة له، تسرع في دورانها، كلما ازدادت سرعة حركة تلك الساعات.

وهذه الحالة مشابهة لتلك الحالة التي أصبح يؤكد فيها كل من المراقبين الواقفين عند عمودي تلغراف، أن زاوية إبصار عموده، أكبر من زاوية إبصار العمود الآخر.

آلة الزمن

فلنتصور الآن، أن قطار آينشتاين لا يتحرك على خط مستقيم، بل على سكة حديدية دائرية، عائداً بعد مضي وقت معين إلى محطة الانطلاق. لقد اتضح لنا أن الراكب سيكتشف، في هذه الحالة، أن ساعته تتأخر، وتزداد تأخراً، كلما ازدادت سرعة حركة القطار. فعند ازدياد سرعة قطار آينشتاين السائر على

السكة الحديدية الدائرية، يمكننا أن نستنتج أنه عندما يمضي يوم واحد بالنسبة للمسافر تمضي عدة سنوات بالنسبة لناظر المحطة. وعندما يعود مسافرنا (حسب ساعته!) بعد يوم إلى بيته عند محطة الانطلاق على السكة الحديدية الدائرية سيفاجأ بأن جميع أقاربه ومعارفه قد قضوا نحبهم منذ زمن طويل.

وخلافاً للسفر بين محطتين، عندما كان المسافر يضبط ساعته تبعاً لساعات مختلفة، فهنا في حالة الطريق الدائري، يقوم المسافر بمقارنة عقارب ساعتين فقط، وليس ثلاث ساعات: هاتان الساعتان هما ساعة القطار، وساعة محطة الانطلاق.

أفلا يناقض هذا مبدأ النسبية؟ وهل يمكننا أن نعتبر المسافر ساكناً ومحطة الانطلاق، تتحرك على خط دائري بنفس سرعة قطار آينشتاين؟ لو كان الأمر كذلك، لوجدنا أنه سينقضي يوم واحد، بالنسبة للموجودين في المحطة، وسنوات عديدة، بالنسبة للمسافرين. ولكن هذا التصور غير صحيح، وذلك للأسباب التالية:

لقد سبق وأوضحنا، أنه يمكننا أن نعتبر الجسم ساكناً، فقط في تلك الحالة، عندما لا تؤثر عليه أية قوة. وليست هناك في الواقع حالة "سكون" واحدة، بل هناك عدد لانهائي من هذه الحالات. كما أن أي جسمين ساكنين، يمكنهما أن يتحركا بسرعة منتظمة على خط مستقيم، بالنسبة لبعضهما البعض. وتؤثر على الساعة الموجودة في قطار آينشتاين، الذي يسير على سكة حديدية دائرية، قوة طاردة مركزية، ولذا لا يمكن بتاتاً أن نعتبر هذه الساعة ساكنة. وفي هذه الحالة، يكون الفرق بين ما تشير إليه ساعة المحطة الساكنة وساعة قطار آينشتاين، فرقاً مطلقاً.

وإذا افترق رجلان، يحملان ساعتين تشيران إلى نفس الوقت، ثم تقابلا من جديد بعد مضي فترة زمنية معينة، فإن ساعة الرجل الساكن أو المتحرك بسرعة منتظمة على خط مستقيم، تشير إلى مضي فترة زمنية أطول أو بمعنى آخر تشير الساعة التي لم تؤثر عليها أية قوة إلى مضي فترة زمنية أطول.

إن السفر على السكة الحديدية الدائرية، بسرعة تقرب من سرعة الضوء، يعطينا إمكانية مبدئية لتحقيق "آلة الزمن" التي ذكرها ويلز في إحدى قصصه، ولو إلى درجة محدودة: فعند خروجنا مرة ثانية إلى محطة الانطلاق، سنجد أنفسنا في مستقبل الزمن. وفي الواقع، فإنه يمكننا أن نسافر بمثل آلة الزمن هذه، إلى المستقبل، غير أننا لا نستطيع العودة إلى الماضي. وهذا هو الفارق الأساسي بين آلة الزمن هذه وآلة الزمن الذي ذكرها ويلز.

ومن العبث حتى مجرد التفكير في أن تطور العلوم في المستقبل، سيمكننا من السفر إلى الماضي، وإلا فسنكون مضطرين في هذه الحالة إلى اعتبار بعض الأوضاع غير المعقولة، ممكنة التحقيق مبدئياً. في الواقع، فإذا ما سافرنا إلى الماضي، فمن الممكن أن نجد أنفسنا في وضع مستحيل، كوضع الإنسان الذي يرى النور في الوقت الذي لم يره والده بعد.

أما السفر إلى المستقبل، فيحمل في طياته تناقضات ظاهرية فقط .

رحلة إلى النجوم

توجد في السماء نجوم، تبعد عنا، مثلاً، بمسافة يمكن أن يجتازها شعاع الضوء خلال ٤٠ سنة. وبما أننا نعلم أنه لا يمكن التحرك بسرعة تزيد على سرعة الضوء، نتوصل إذن إلى النتيجة التالية: لا يمكننا أن نصل إلى مثل هذه النجوم في فترة زمنية تقل عن أربعين سنة. غير أن هذه النتيجة خاطئة، وذلك لأننا لم نأخذ بعين الاعتبار تغير الزمن الناشئ عن الحركة.

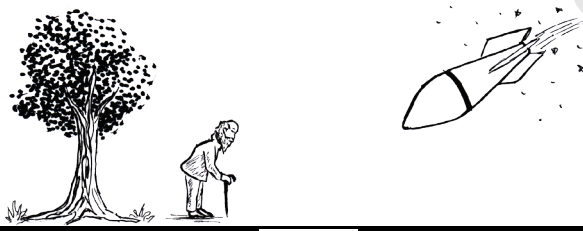
نفرض أننا ننطلق إلى هذا النجم، على متن صاروخ آينشتاين، بسرعة قدرها ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية. وهذا يعني أننا سنصل إلى النجم، بعد مضي $\frac{٤٠ \times ٣٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠}$ = ٥٠ سنة، بالنسبة لسكان الأرض.

أما بالنسبة لنا، أي للمسافرين في صاروخ آينشتاين، فإن هذه الفترة الزمنية ستقل بنسبة ١٠ إلى ٦ ، إذا بلغت سرعة الصاروخ ٢٤٠٠٠٠ كم/ ثانية. أي أننا سنصل إلى النجم ليس بعد ٥٠ سنة بل بعد مضي ١٠/٦ × ٥٠ = ٣٠ سنة فقط.

وكلما ازداد اقتراب سرعة صاروخ آينشتاين من سرعة الضوء كلما أمكننا أن نختصر- كما نشاء- الفترة الزمنية، التي يحتاجها المسافرون، للوصول إلى مثل هذا النجم الموغل في البعد. ويمكننا نظرياً، في حالة السفر بسرعة كبيرة إلى حد كاف، أن نصل إلى هذا النجم، وأن نعود منه إلى الأرض مرة أخرى، خلال فترة زمنية لا تتعدى دقيقة واحدة! ورغم هذا، فستكون قد انقضت على الأرض، فترة زمنية قدرها ٨٠ سنة.

قد يخيل للمرء، أن هذا الأمر يتيح الإمكانيات لإطالة عمر الإنسان. أما في الحقيقة، فإن ذلك يحدث من وجهة نظر الناس الآخرين فقط، وذلك لأن الإنسان يتقدم العمر وفقاً "لوقته الذاتي". غير أن هذه الاحتمالات، تبدو للأسف ضئيلة جداً، إذا ما أمعنا فيها النظر.

١٩٨٥



٢٠٦٥

ولنبدأ من واقع أن جسم الإنسان لا يتحمل الإقامة لمدة طويلة، تحت تأثير عجلة تزيد زيادة كبيرة على عجلة الجاذبية الأرضية. ولذا فلكي نصل إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء، فإننا نحتاج إلى فترة زمنية طويلة جداً. وتشير الحسابات الدقيقة إلى أننا نستطيع أن نوفر من الوقت شهراً ونصف فقط، وذلك عند السفر لمدة نصف سنة بعجلة تساوي عجلة الجاذبية الأرضية. وإذا ما أطلنا مدة السفر، فسيزداد ربح الوقت بسرعة كبيرة. مثلاً، إذا سافرنا على متن صاروخ لمدة سنة، يكون باستطاعتنا أن نربح - إضافياً - سنة ونصف من الوقت. وإذا استغرقت رحلتنا سنتين، فإننا سنربح ٢٨ سنة كذلك. أما خلال ثلاث سنوات من إقامتنا في الصاروخ، فسيمر على الأرض أكثر من ٣٦٠ سنة!

ربما وجدنا في هذه الأرقام العزاء الكافي.

أما فيما يتعلق بالطاقة المستهلكة، فإن الأمر أسوأ. وذلك لأن الصاروخ المتحرك الذي يزن وزناً متواضعاً- طنا واحداً- يستهلك عند السفر بسرعة ٢٦٠٠٠٠ كم/ثانية (هذه السرعة ضرورية لـ "مضاعفة" الوقت، أي لكي تمر سنتان على الأرض، مقابل كل سنة تمر على السفر في الصاروخ)، طاقة قدرها ٢٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ كيلو واط/ ساعة. إن هذه الكمية من الطاقة تعادل الطاقة المنتجة على الكرة الأرضية بأجمعها خلال عدة سنوات.

غير أننا قد حسبنا فقط الطاقة التي يستهلكها الصاروخ أثناء السفر، ولم نأخذ في الاعتبار أنه يجب علينا مقدما أن نصل بسرعة صاروخنا إلى ٢٦٠٠٠٠ كم/ثانية! كما يجب علينا، عند انتهاء السفر، أن نفرمل الصاروخ، كي يستطيع الهبوط على الأرض بسلام. فما مقدار الطاقة اللازمة لذلك؟

وحتى إذا كان لدينا من الوقود ما يكفي لتزويدنا بسيل يتدفق من المحرك النفاث بأكبر سرعة ممكنة- أي بسرعة الضوء، فإن هذه الطاقة يجب أن تزيد بمائتي مرة على الكمية التي سبق حسابها. أي كان يجب علينا أن نستهلك من الطاقة ما تنتجه البشرية خلال عدة عشرات من السنين. أما السرعة الحقيقة

للسيل المتدفق من محركات الصاروخ فإنها تقل عن سرعة الضوء بعشرات الألوف من المرات، الأمر الذي يجعل استهلاك الطاقة اللازمة لسفرتنا الخيالية هائلاً إلى حد لا يصدق.

الأشياء تختصر

لقد اقتنعنا، لتونا، بأن الوقت قد فقد مفهومه المطلق، فللوقت مفهوم نسبي يتطلب إشارة دقيقة إلى المختبرات التي يجرى فيها القياس.

ونعود الآن مرة أخرى، إلى دراسة الفراغ. لقد اتضح لنا قبل وصف تجربة مايكلسون، أن الفراغ مفهوم نسبي. ولكن رغم نسبية الفراغ، كنا نعتبر أن لمقاييس الأجسام طابعاً مطلقا. أي أننا كنا نعتبر أن هذه المقاييس من خصائص هذه الأجسام، ولذا لا تتوقف على المختبر الذي نجرى فيه المراقبة. غير أن نظرية النسبية تحملنا على التخلي عن هذا الاعتقاد أيضاً. إن هذا الاعتقاد كمفهوم الزمن المطلق، هو مجرد رأي خاطئ، ناشئ بسبب تعاملنا دائماً مع سرع صغيرة جداً بالمقارنة مع سرعة الضوء.

ولنتصور أن قطار آينشتاين يمر برصيف محطة طوله ٢٤٠٠٠٠٠ كم. هل سيوافق على ذلك، المسافرون في قطار آينشتاين؟ سيقطع القطار المسافة من أحد طرفي الرصيف إلى الطرف الآخر، حسبما تشير إليه ساعة المحطة، في مدى $\frac{٢٤٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠}$ = ١٠ ثوان. غير أن لدى المسافرين ساعتهم، التي سيجتاز القطار- بموجبها- المسافة الواقعة بين طرفي الرصيف في فترة زمنية أقل. إننا نعلم أن هذا الوقت يعادل ٦ ثوان فقط. ونتيجة لذلك، فإن للمسافرين كل الحق في استنتاج أن طول الرصيف ليس ٢٤٠٠٠٠٠ كم، بل ٢٤٠٠٠٠ × ٦ = ١٤٤٠٠٠٠ كم.

إذن، فإننا نرى أن طول الرصيف، من وجهة نظر المراقب الساكن بالنسبة للرصيف، أكبر مما هو عليه من وجهة نظر المراقب الذي يتحرك الرصيف بالنسبة له. إن كل جسم متحرك يختصر في اتجاه حركته.

غير أن هذا الاختصار لا يدل أبداً على مطلقية الحركة. ويكفينا أن نكون في موضع المراقب الثابت بالنسبة للجسم، حتى يزداد الجسم طولاً من جديد. ويحدث نفس الشيء مع المسافرين الذين سيجدون أن الرصيف قد اختصر، أما الواقفون على الرصيف، فسيبدو لهم أن قطار آينشتاين قد اختصر (بنسبة ٦: ١٠)... وهذا ليس بخداع بصر، بل أن كافة الأجهزة التي يمكن استخدامها لقياس طول الأجسام، ستبين نفس الشيء.

وبعد أن علمنا أن الأشياء تختصر، يجب أن نجري الآن تعديلاً على مناقشاتنا السابقة على الصفحة ٣٦ التي تتعلق بوقت فتح الأبواب في قطار آينشتاين. فعندما حسبنا لحظة فتح الأبواب، من وجهة نظر المراقبين الواقفين على رصيف المحطة، اعتبرنا أن طول القطار المتحرك لن يختلف عن طول القطار الثابت. بيد أن طول القطار قد اختصر بالنسبة للواقفين على الرصيف. ووفقاً لذلك، فإن الفترة الزمنية الحقيقية بين فتح الأبواب مقاسة بساعة المحطة سوف لا تعادل ٤٠ ثانية، بل ٦/١٠ × ٤٠ = ٢٤ ثانية فقط.

وبالنسبة للاستنتاجات التي توصلنا إليها من قبل، لا تكون لهذا التعديل أية أهمية.

السرع متقلبة الأطوار

بأية سرعة يتحرك المسافر، بالنسبة للسكة الحديدية، إذا مشى نحو مقدمة القطار بسرعة ٥ كم/ ساعة وكان القطار منطلقاً بسرعة ٥٠ كم/ساعة؟ من الواضح أن سرعة الإنسان بالنسبة للسكة الحديدية تساوى ٥٠ + ٥ = ٥٥ كم/ساعة. إن هذا النقاش مبنى على قانون جمع السرع وليس لدينا أي شك في صحة هذا القانون. في الواقع، سيقطع القطار خلال ساعة واحدة ٥٠ كم، وسيقطع المسافر في القطار خمسة كيلومترات أخرى. فالمجموع ٥٥ كم وهي المسافة التي ذكرناها سابقاً.

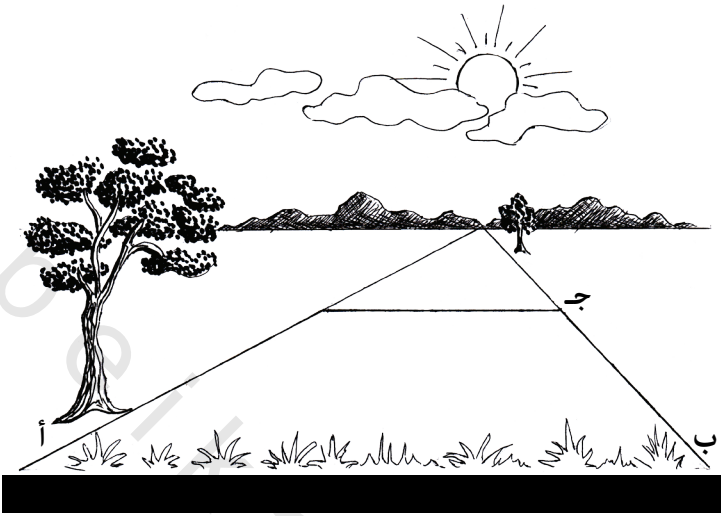
من المفهوم تماماً أن وجود السرعة القصوى في العالم يمنع الاستخدام الشامل لقانون جمع السرع، فيما يتعلق بالسرع الكبيرة والصغيرة. فإذا كان المسافر يتحرك في قطار آينشتاين بسرعة ١٠٠٠٠٠

كـم/ ثانيـة مثـلاً، فـإن سرعـة المسـافر بالنسـبة للسـكة الحديديـة لا يمكـن أن تسـاوي ٢٤٠٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠ = ٣٤٠٠٠٠ كم/ثانيـة، لأن هـذه السرعـة أكـبر مـن سرعـة الضـوء القصـوى، ولـذا فـإن وجودهـا في الطبيعـة هـو أمـر مسـتحيل.

يتضـح إذن أن قانـون جمـع السـرع الـذي نسـتخدمه في حياتنا الاعتياديـة، غـير دقيـق. إنـه عـادل وصحيـح فقـط بالنسـبة للسـرع التـي تقـل كثـيراً عـن سرعـة الضـوء.

أن القـارئ المعتـاد عـلى كافـة التناقضـات الظاهريـة الموجـودة في نظريـة النسـبية سـيدرك بسـهولة أسـباب عـدم مقبوليـة النقـاش الـذي قـد يبـدو واضحـاً، والـذي لتونـا اسـتنتجنا بموجبـه قانـون جمـع السـرع. ولهـذا الغـرض فقـد جمعنـا المسـافة التـي قطعهـا القطـار خـلال سـاعة واحـدة بالنسـبة للسـكة الحديديـة، مـع المسـافة التـي قطعهـا المسـافر في القطـار. غـير أن نظريـة النسـبية تبـين لنـا أن هاتـين المسـافتين لا يمكـن جمعهـما. إن هـذا التـصرف سـيكون تصرفـاً غـير واقعـي، تمامـاً كـما لـو وجدنـا مسـاحة الحقـل المبـين في الرسـم المنشـور في الصفحـة القادمـة، بـضرب طـول المسـتقيم (أ ب) في طـول المسـتقيم (ب جـ) متناسـين أن طـول الأخـير لا يتفـق والحقيقـة نظـراً لبعـد مـدى الرؤيـة. وبالإضافـة إلى ذلـك، فلتحديـد سرعـة المسـافر بالنسـبة للمحطة، يجـب علينـا تحديـد الطريـق الـذي قطعـه خـلال سـاعة واحـدة حسـب توقيـت المحطـة. أمـا فيـما يتعلـق بتحديـد سرعـة المسـافر في القطـار، فيجـب علينـا اسـتخدام توقيـت القطـار. وهـذان الأمـران مختلفـان كل الاختـلاف كـما اتضـح لنـا سـابقاً.

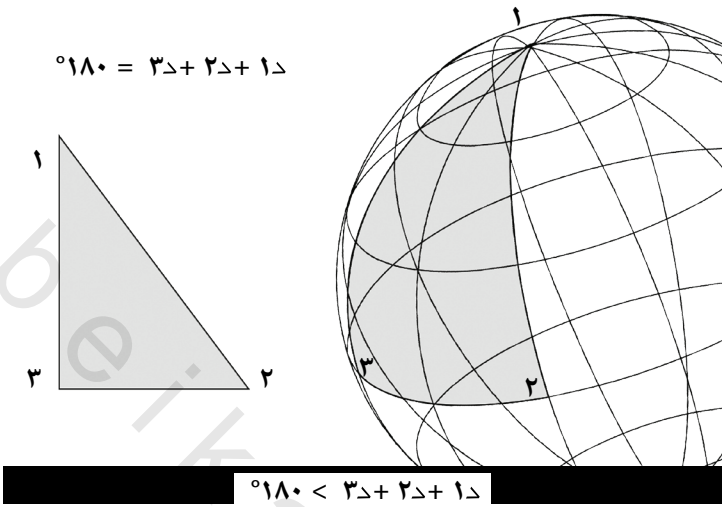
ومـن كل ذلـك ينتـج أن السرعتـين اللتـين يمكـن مقارنـة إحداهـما عـلى الأقـل بسرعـة الضـوء لا يمكـن جمعهـما بالطريقـة التـي اعتدنـا عـلى اسـتخدامها. ويمكـن بالتجربـة التأكـد مـن التناقـض الظاهـري لجمـع السـرع بهـذه الطريقـة، مثـلاً بمراقبـة انتشـار الضـوء في المـاء المتحـرك (كـما ذكرنـا سـابقاً). أمـا كـون سرعـة انتشـار الضـوء في المـاء المتحـرك لا تسـاوي مجموعـة سرعـة الضـوء في المـاء الثابـت وسرعـة حركـة المـاء، بـل هـي أقـل مـن هـذا المجمـوع، فهـو نتيجـة مبـاشرة لنظريـة النسـبية.



وينبغي الإشارة إلى حالة فريدة في نوعها تظهر عند جمع السرعتين، إذا كانت إحداهما تساوي ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية بالضبط. فهذه السرعة، كما نعرف، تمتاز بخاصية البقاء بدون تغيير مهما تحركت المختبرات التي تتم فيها المراقبة، أو بالأحرى مهما كانت السرعة التي سنضيفها إلى سرعة ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية، فسنحصل بالنتيجة على نفس السرعة - ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية.

إن عدم إمكانية استخدام القاعدة الاعتيادية لجمع السرعتين يمكن أن يقارن بوضع آخر بسيط هو الوضع التالي:

من المعروف أن مجموع زوايا المثلث المستوى (أ ب جـ) (لاحظ الرسم إلى اليسار) يعادل زاويتين قائمتين. لنتصور الآن أن المثلث مرسوم على سطح الأرض (لاحظ الرسم إلى اليمين). ونظراً لكروية الأرض فإن مجموع زوايا هذا المثلث سيكون أكبر من مجموع الزاويتين القائمتين. وسيصبح هذا الفرق ملحوظاً فقط في الحالة التي يمكن فيها المقارنة بين أبعاد المثلث وأبعاد الأرض.



إذن يمكننا أن نستخدم القاعدة الاعتيادية لجمع السرع في حالة السرع الصغيرة، تماماً كما يمكننا استخدام قواعد قياس المساحات لقياس المساحات الصغيرة من الأرض.

obeikandl.com

الفصل السادس

الشغل يغير الكتلة

الكتلة

لنفرض أننا نريد أن نجعل جسماً ساكنا يتحرك بسرعة معينة. لذلك يجب أن نؤثر على هذا الجسم بقوة ما. ففي هذه الحالة إذا لم تؤثر على هذا الجسم أية قوة خارجية تعيق حركته كقوة الاحتكاك مثلاً، فإن الجسم سيتحرك بسرعة تتزايد تدريجياً. وبعد مضي فترة معينة من الزمن يصبح بوسعنا زيادة سرعة الجسم إلى المقدار الذي نريده. وفي هذه الحالة نجد أنه لإكساب الأجسام المختلفة سرعة معينة تحت تأثير القوة المعطاة نحتاج إلى فترات زمنية مختلفة.

ولكي يمكننا إهمال الاحتكاك فلنتصور أنه لدينا كرتان متساويتان في الحجم وموجودتان في الفضاء الكوني، إحداهما من الرصاص والأخرى من الخشب. وسنقوم بشد كل من هاتين الكرتين بقوة متساوية، إلى أن تكتسبا سرعة تعادل مثلاً ١٠ كم/ساعة.

ومن البديهي أن الحصول على هذه النتيجة، سيتطلب التأثير بالقوة المعطاة لفترة زمنية أطول بالنسبة للكرة الرصاصية مما يستغرقه تأثير نفس القوة على الكرة الخشبية. ويقال في هذه الحالة إن للكرة الرصاصية كتلة أكبر من كتلة الكرة الخشبية. ومادامت السرعة تزداد عند تأثير قوة ثابتة على الجسم بازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة، فإننا نعتبر أن مقياس الكتلة هو عبارة عن النسبة بين الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى السرعة المعطاة، ابتداء من حالة السكون، وبين السرعة المذكورة بالذات. إن الكتلة تتناسب مع هذه النسبة، مع ملاحظة أن معامل التناسب يتوقف على مقدار القوة التي تكسب الجسم حركته.

الكتلة تتزايد

تعتبر الكتلة من أهم خواص أي جسم. وقد اعتدنا على أن كتلة الأجسام لا تتغير على الإطلاق، وأنها لا تعتمد على السرعة. وهذا ناتج من التأكيد الذي ذكرناه في البداية والقائل بأن السرعة تتناسب في حالة تأثير قوة ثابتة على الجسم، تناسبا طردياً مع الفترة الزمنية لتأثير هذه القوة.

إن هذا التأكيد من جانبنا مبنى على القاعدة المعتادة لجمع السرع. غير أننا قد أثبتنا لتونا أنه لا يمكن استخدام هذه القاعدة في جميع الحالات.

فماذا نفعل للتوصل إلى السرعة المطلوبة عند انتهاء الثانية الثانية من بدء تأثير القوة؟ إننا نجمع السرعة التي اكتسبها الجسم عند انتهاء الثانية الأولى مع السرعة التي اكتسبها خلال الثانية الثانية ونقوم بذلك طبقاً للقاعدة المعتادة لجمع السرع.

ويمكننا القيام بذلك ما دامت السرعة المكتسبة لم تبلغ بعد حد مقارنتها بسرعة الضوء. أما إذا بلغت هذا الحد فلا يمكن استخدام هذه القاعدة القديمة. وإذا ما جمعنا السرعتين آخذين في الاعتبار نظرية النسبية، فلابد لنا من التوصل إلى نتيجة تكون دائماً أقل من النتيجة التي نحصل عليها إذا ما استخدمنا قاعدة الجمع القديمة، التي لا تصلح في هذه الحالة. ومعنى هذا أنه في حالة بلوغ السرعة حدا كبيراً فإنها لن تزداد في تناسب طردي مع ازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة على الجسم، بل بصورة أبطأ. وهذا أمر مفهوم لأن هناك سرعة قصوى.

وكلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء، فإنها تزداد أبطأ فأبطأ، عند تأثير القوة الثابتة عليها، ذلك لأنه لا يمكن تعدي السرعة القصوى.

وما دمنا نستطيع التأكيد بأن سرعة الجسم تزداد بازدياد الفترة الزمنية لتأثير القوة على الجسم يكون في وسعنا القول بأن الكتلة لا تعتمد على مقدار سرعة الجسم. ولكن عندما تبلغ سرعة الجسم حداً يمكن مقارنته بسرعة الضوء، فإن التناسب بين الفترة الزمنية وسرعة الجسم يتلاشى وتبدأ الكتلة في هذه الحالة بالاعتماد على السرعة. ولما كان زمن العجلة يزداد بلا حدود في حين لا يمكن للسرعة أن تتعدى حدا معينا، فإننا نرى أن الكتلة تزداد بازدياد السرعة حتى تبلغ مقداراً لانهائياً عندما تساوى سرعة الجسم سرعة الضوء.

وتبين الحسابات أن كتلة الجسم تزداد أثناء الحركة بنفس القدر الذي يتناقص به طوله أثناء تلك الحركة. وهكذا فإن كتلة قطار آينشتاين الذي يتحرك بسرعة ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية، أكبر من كتلة القطار الساكن بـ ١٠: ٦ مرة.

ومن البديهي أنه في حالة السرع المعتادة الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء، بوسعنا أن نهمل تغير الكتلة تماماً كما يمكننا إهمال ارتباط أبعاد الجسم بسرعته أو إهمال ارتباط الفترة الزمنية بين حادثين بالسرعة التي يتحرك بها مراقبو هذين الحادثين.

إننا نستطيع أن نتأكد من صحة اعتماد الكتلة على السرعة، وهو الاعتماد الناتج من نظرية النسبية، من التجربة المباشرة، عندما نراقب حركة الالكترونات السريعة.

ففي الظروف التجريبية الحديثة، لا يعتبر الالكترون المتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء، شيئاً نادراً، بل هو ظاهرة اعتيادية. وهناك أجهزة خاصة لزيادة سرعة الالكترونات تزود فيها الالكترونات بسرعة تختلف عن سرعة الضوء بأقل من ٣٠ كم/ثانية.

وهكذا فإن الفيزياء الحديثة قادرة على مقارنة كتلة الالكترونات المتحركة بسرعة هائلة، بكتلة الالكترونات الساكنة. ولقد أكدت نتائج التجارب اعتماد الكتلة على السرعة، وهو الأمر الذي يتفق ومبدأ نظرية النسبية.

ما ثمن الجرام من الضوء؟

إن ازدياد كتلة الجسم مرتبط كل الارتباط بالشغل المبذول عليه: ويتناسب هذا الازدياد تناسباً طردياً مع مقدار الشغل اللازم لاكساب الجسم حركته. وليست هناك حاجة، في هذه الحالة، لبذل شغل لمجرد إكساب الجسم حركته. فإن كل شغل يبذل على الجسم وكل ازدياد في طاقته يزيد من كتلته. ولهذا فإن الجسم الساخن له كتلة أكبر من كتلة الجسم البارد، كما أن للزنبرك المضغوط كتلة أكبر من كتلة الزنبرك الحر. وفي الحقيقة فإن معامل التناسب بين تغير الكتلة وتغير الطاقة صغير جداً : لكي نزيد كتلة الجسم جراماً واحداً يجب أن نزوده بطاقة تبلغ ٢٥ مليون كيلوواط ساعة. ولذلك فإن تغير كتلة الجسم في الظروف الاعتيادية ضئيل جداً ولا يمكن ملاحظته حتى بالأجهزة الدقيقة. مثلاً تسخين طن من الماء، من درجة الصفر حتى درجة الغليان، سيؤدي إلى زيادة كتلة الماء بما يقارب خمسة أجزاء من المليون من الجرام.

وإذا ما أحرقنا طنا من الفحم في فرن مغلق، فستكون لنواتج الاحتراق، بعد تبريدها، كتلة تقل عن كتلة الفحم والأكسيجين اللذين تكونت منهما بواحد من ثلاثة آلاف من الجرام. أما نقص الكتلة هذا فيرجع إلى الحرارة التي فقدت أثناء احتراق الفحم.

غير أن الفيزياء الحديثة مطلعة على ظواهر يلعب فيها تغير كتلة الجسم دوراً كبيراً. منها مثلاً الظاهرة التي تحدث عند اصطدام النويات الذرية، أي الظاهرة التي تتكون خلالها نوبات جديدة من النوبات الموجودة. مثلاً عن اصطدام نواة ذرة الليثيوم بنواة ذرة الهيدروجين تتكون ذرتان من الهيليوم، وعند ذلك تتغير الكتلة بمقدار $^{1}/_{٤٠٠}$ من قيمتها الأولية.

وقد سبق وذكرنا أنه لزيادة كتلة الجسم جراماً واحداً، ينبغي أن نزوده بطاقة تعادل ٥٢ مليون كيلوواط ساعة. وينتج من ذلك أنه عند تحويل جرام واحد من خليط الليثيوم والهيدروجين إلى هيليوم، يتحرر قدر من الطاقة أقل بـ ٤٠٠ مرة، أي:

$\frac{٢٥٠٠٠٠٠٠}{٤٠٠}$ = ٦٠٠٠٠ كيلوواط ساعة!

ونجيب الآن على السؤال التالي: ما هي أغلى المواد الموجودة في الطبيعة (بموجب الوزن)؟

لقد اتفق على اعتبار الراديوم أغلى المواد، إذ أن الجرام الواحد منه يكلف حوالي ربع مليون روبل.

ولكن، لنحدد الآن ثمن... الضوء.

في المصابيح الكهربائية يتحول ١/٢٠ فقط من الطاقة إلى ضوء مرئي. ولهذا فإن جرام الضوء يعادل كمية من الشغل تزيد بـ ٢٠ مرة على ٢٥ مليون كيلوواط ساعة، أي ٥٠٠ مليون كيلوواط ساعة. فإذا اعتبرنا أن ثمن الكيلوواط ساعة الواحد هو كوبيك[٦]* واحد، سنجد أن ثمن الجرام من الضوء هو ٥ ملايين روبل. وهكذا فإن الجرام الواحد من الضوء أغلى من جرام الراديوم بعشرين مرة.

٦ * الكوبيك هو أصغر وحدة نقدية في العملة السوفيتية ويساوي ١/١٠٠ من الروبل.

obeikandl.com

obeikandl.com

الخلاصة

وهكـذا، فـإن التجـارب الدقيقـة المقنعـة تحملنـا عـلى الاعـتراف بصحـة نظريـة النسـبية التـي تكشـف عـن الخـواص المدهشـة للعـالم المحيـط بنـا، تلـك الخـواص التـي لا يمكـن ملاحظتهـا عنـد دراسـة الأشـياء دراسـة أوليـة، أو بالأحـرى دراسـة سـطحية.

لقـد اطلعنـا عـلى التغـيرات الجوهريـة العميقـة التـي تدخلهـا نظريـة النسـبية عـلى المفاهيـم والتصـورات الأساسـية التـي تكونـت لـدى البشريـة خـلال قـرون، نتيجـة لتجربـة الحيـاة اليوميـة.

أفـلا يعنـي هـذا انهيـار التصـورات الاعتياديـة تمامـاً؟ أفـلا يعنـي هـذا أن الفيزيـاء التـي وجـدت قبـل ظهـور مبـدأ النسـبية، تشـطب وتنبـذ كحـذاء قديـم أكل الدهـر عليـه وشرب؟

لـو كان الأمـر كذلـك لـكان مـن العبـث القيـام بالأبحـاث العلميـة، لأنـه لا يمكـن للمـرء أن يكـون متأكـداً تمامـاً مـن أنـه لـن يظهـر في المسـتقبل علـم جديـد ينبـذ العلـم القديـم عـلى الإطـلاق.

ولنتصـور أن مسـافراً لا في قطـار آينشـتاين بـل في قطـار ركاب عـادي أو حتـى في قطـار سريـع، أراد أن يجـري تعديـلاً في توقيـت سـاعته، آخـذا بعـين الاعتبـار نظريـة النسـبية، خشـية أن تتأخـر سـاعته عـن سـاعة المحطـة. فلـو حـاول هـذا المسـافر القيـام بذلـك فعـلاً، لضحكنـا منـه. إن هـذا التعديـل في الواقـع ليـس إلا جـزءاً ضئيـلاً تافهـا مـن الثانيـة، فحتـى مجـرد اهتـزاز القطـار يؤثـر أكـثر مـن ذلـك بكثـير عـلى أدق السـاعات.

أن المهنـدس الكيميـائي الـذي يسـأل نفسـه هـل تتغـير كتلـة المـاء عنـد التسـخين أم لا، هـو مهنـدس في تفكـيره خلـل. أمـا فيـما يتعلـق بالفيزيـائي الـذي يراقـب اصطـدام نويـات الـذرة، ولا يأخـذ في الاعتبـار تغـير الكتلـة عنـد التحـولات النوويـة فيجـب أن يطـرد مـن المختـبر لجهلـه.

إن المصممين يستخدمون دائماً قوانين الفيزياء القديمة عند تصميم محركاتهم، لأن التعديلات الناشئة عن نظرية النسبية، تؤثر على مكناتهم أقل بكثير من تأثير الجرثوم الذي يحط على حدافة المكنة. أما الفيزيائي الذي يراقب الالكترونات السريعة، فمن واجبه أن يأخذ في الاعتبار تغير كتلة الالكترونات الناشئ عن تغير السرعة.

وهكذا فإن نظرية النسبية لا تفند بل تعمق المفاهيم والتصورات التي كونتها العلوم القديمة، وتعين الحدود التي يمكن في تطاقها استخدام هذه المفاهيم القديمة حتى لا تؤدي إلى نتائج غير صحيحة. فإن جميع قوانين الطبيعة التي اكتشفها الفيزيائيون قبل ظهور نظرية النسبية، لا تلغى، بل تعين حدود استخدامها فقط.

إن العلاقة بين الفيزياء التي تأخذ في الاعتبار نظرية النسبية، والتي تسمى بالفيزياء النسبوية، وبين الفيزياء القديمة التي يطلقون عليها اسم الفيزياء الكلاسيكية (التقليدية)، تشبه العلاقة بين علم الجيوديسيا الذي يأخذ في الاعتبار كروية الأرض وبين علم المساحة التطبيقية الذي يهمل كروية الأرض. إن علم الجيوديسيا يجب أن يعتمد على نسبية مفهوم الخط الرأسي، كما يجب أن تأخذ الفيزياء النسبوية في الاعتبار نسبية مقاييس الجسم وفترات الزمن بين الحادثين، مناقضة بذلك الفيزياء الكلاسيكية التي لا تأخذ في الاعتبار هذه النسبية.

وكما أن علم الجيوديسيا هو تطور لعلم المساحة التطبيقية، فإن الفيزياء النسبوية هي تطور وتوسع للفيزياء الكلاسيكية.

ويمكننا الانتقال من معادلات علم الهندسة الكروية، أي علم الهندسة على السطح الكروي، إلى معادلات علم الهندسة المستوية، أي علم الهندسة على السطح المستوي، إذا اعتبرنا أن نصف قطر الكرة الأرضية كبير إلى ما لا نهاية. ففي هذه الحالة لن تكون الرض كروية، بل سطحا مستويا لا نهاية له. أما الخط الرأسي فستكون له قيمته المطلقة، ومجموع زوايا المثلث سيساوي بالضبط زاويتين قائمتين.

ويمكننا أن نجري مثل هذا الانتقال في الفيزياء النسبوية كذلك، إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء هائلة إلى ما لا نهاية، أي أن الضوء ينتشر لحظياً.

فإذا كان الضوء في الواقع ينتشر لحظياً، فإن مفهوم الآنية يصبح مفهوماً مطلقاً كما رأينا سابقاً. وإن فترات الزمن بين الحوادث وأبعاد الأجسام تكتسب أيضاً معنى مطلقاً دون أن تؤخذ في الاعتبار تلك المختبرات التي تتم فيها المراقبة.

إذن يمكن الاحتفاظ بجميع التصورات الكلاسيكية إذا اعتبرنا أن سرعة الضوء لا نهاية لها.

غير أن كل محاولة للجمع بين سرعة الضوء المحدودة وبين الاحتفاظ بالمفاهيم القديمة عن الفراغ والزمن ستؤدي بنا إلى التصرف بحماقة كما يتصرف الإنسان الذي يعرف أن للأرض شكلاً كروياً، ولكنه يثق مع ذلك في أن الخط الرأسي للمدينة التي يعيش فيها هو خط رأسي مطلق ويخشى الابتعاد كثيراً عن محل إقامته لئلا يتهاوى في الفضاء الكوني.

obeikandl.com

obeikandl.com

صفحات من مذكرات البروفيسور يورى رومر

عن ليف لانداو

لا أريد أن أتطرق في هذه الملاحظات القصيرة إلى شرح الأبحاث العلمية الطليعية التي قام بها الأكاديمي ليف لانداو. فعلم الفيزياء النظرية المعاصر أصبح شيئاً خارج منال غير المختصين، أما القدرة على تبسيطه فهي موهبة خاصة لا يملكها الجميع. ولا أستطيع اعتبار نفسي أحد أصحاب هذه الموهبة، بالرغم من تعاوني مع ليف لانداو في تأليف كتاب "ما هي نظرية النسبية".

وأتذكر التعبير الذي استخدمه لانداو نفسه من خلال وصفه المازح لهذا الكتاب حين قال: "إن اثنين من المحتالين يحاولان اقناع محتال ثالث بأن في استطاعته أن يدرك- مقابل عدة قروش- ما هي نظرية النسبية!".

كذلك فإن محالة إعطاء غير الفيزيائيين فكرة، ضمن إطار ملاحظات قصيرة، عن الإبداع العلمي للأكاديمي لانداو محاولة تعتمد على وسائل لا تصلح، ويجب رفضها من البداية.

كما لا أود أن أضيف ولا حبة من شهادتي تأييدا لتلك الأسطورة الشائعة التي تصور لانداو كشخصية غريبة الأطوار أو ظريف من الظرفاء يدخل مؤتمر العلماء الموقرين وهو يرتدي صندلاً وقميصاً شعبياً. وربما يصح لي هنا أن أستعمل مصطلحاً فيزيائياً وأقول أن مركز ثقل شخصية لانداو ليس في أقواله المائلة إلى إبراز التناقضات- مما يجعله يتحول إلى أحد أصحاب النوادر- وإنما في واقع أنه كان من أعظم العلماء الفيزيائيين العالمين وقد أنشأ مدرسة بارزة من الفيزيائيين السوفييت.

***

في قاعة المطالعة بجامعة لينيغراد يقف شاب في الثامنة عشرة من عمره.. وخصلة من الشعر الأسود تتدلى على جبهته العريضة الجميلة.. لقد حصل لتوه على العدد الأخير من مجلة علمية المانية وفيه وجد أول مقال للعالم شرودينجر في موضوع الميكانيكا الكمية تحت عنوان (التكمية كمسألة القيم الذاتية). ولا يدرك الشاب أن لحظة مجده قد اقتربت وأن هذه اللحظة ستحدد مستقبله تحديداً قاطعاً.

لم يفهم في المقال كل شيء.. وكان يتذكر فيما بعد أنه في ذلك الحين لم يكن يتصور بوضوح كامل جوهر الحساب التغايرى مع أنه كان قد حل جميع الأمثلة من مجموعة المسائل في حساب التفاضل والتكامل.

ورغم ذلك فهو تمكن بعد بذل جهد جرئ من قراءة واستيعاب هذا المقال الذي كان- على حد اعترافه فيما بعد- قد أثر في نفسه بنفس ذلك التأثير المذهل الذي تركته فيه نظرية النسبية.

وقد تلى مقال شرودينجر الأول مقال آخر.. وسرعان ما علم الشاب أنه إلى جانب الميكانيكا الموجه لشرودينجر تتطور في مكان آخر ميكانيكا المصفوفات التي تنطلق من أفكار تبدو للوهلة الأولى منافية تماماً لأفكار شرودينجر.

لقد اتضحت المسألة أخيراً في اليوم الذي وقع فيه بين يدي الشاب مقال شرودينجر الجديد الذي أثبت فيه تكافؤ كلا وجهي الميكانيكا، أي الميكانيكا الموجية وميكانيكا المصفوفات. بعد ذلك أدرك الشاب أنه قد وجد طريقه في الحياة...

كالعادة يتعلم العالم الناشئ أسس العلم الذي يختاره، على يد عالم آخر أكبر منه سنا وخبرة. أما ليف لانداو فلم يكن لديه من يعلمه ميكانيكا الكم. ذلك ليس لعدم توفر معلمين مؤهلين، إنما لعدم وجود ميكانيكا الكم نفسها في ذلك الحين! وكان عليه أن يتوصل إلى كل شيء بنفسه...

وقد تجسدت انطباعاته عن تلك الأيام في كراهيته للرأي التقليدي الذي يصور العالم الحقيقي معاودا الوقوف على سلم عند الرف العلوي لمكتبته الشخصية.. وكان لانداو يقول: "انك لن تستخرج أبداً أي شيء جديد من الكتب الثخينة.. فالكتب الثخينة ما هي إلا مقابر دفنت فيها أفكار الماضي".

لقد ابتكر لانداو- في مرحلة تعلمه الفريد في نوعه حين كان يعلم نفسه بنفسه- طريقته الخاصة التي ظل مخلصا لها طيلة حياته: فقد كان يبتلع عدداً هائلاً من المجلات العلمية، ولكنه في كل مقال كان يهتم فقط بصياغة المسألة ثم ينظر إلى نهاية المقال ليعرف الاستنتاجات تاركاً بذلك ما في وسط الشرح قائلاً: "إن ما أحتاج إليه هو أن أعرف ماذا يفعل صاحب المقال.. أما كيفية العمل فأنا أعلم بها!"

***

في سنة ١٩٣٦ تقريباً بدأت تتشكل في مدينة خاركوف مدرسة لانداو..

وقد حضر أوائل التلاميذ.. وكانت صفتهم المميزة هي كونهم شباباً من نفس عمر لانداو أو أصغر منه سنا بقليل فقط. وكانوا يخاطبون معلمهم بالمفرد مثلما يخاطبون بعضهم. وكانت اجتماعاتهم أشبه بمقابلات عملية لطلبة متفوقين اجتمعوا ليناقشوا رسالة اللياسنس، منها بالدروس التي يشرف عليها عالم ذو شهرة عالمية.

وكثيراً ما كان التلاميذ يدخلون في جدالات مع معلمهم.. ولم يكن لانداو يفقد صبره أبدا وهو يجادل أكثر مخالفيه جرأة.. وفي بعض الأحيان كان يختم النقاش بقوله: "من المدرس هنا إذن.. أنا أم أنت؟ ليس من مهمتي البحث عن الخطأ في استنتاجاتك.. وأفضل أن تجد أنت خطأ في استنتاجاتي..".

***

كانت مدرسة الفيزيائيين الجديدة تترعرع وتزداد قوة وتجذب إلى لانداو أسرابا من الشباب من مختلف المؤهلات والأذواق. وكان لابد للمشرف من أن يتعلم تصنيف طالبي العلم وتنقية الذين يتوخى منهم أن يصبحوا نظريين محترفين.

كان لانداو يعتقد أن احتراف الفيزياء النظرية أمر عديم الفائدة مالم يسبقه الحصول على معارف عميقة راسخة. ومن ناحية أخرى فإن النجاح في دراسة الفيزياء مرهون- في رأي لانداو- بالقدرة على التمييز بين الأشياء التي تستحق الدراسة وبين التي لا تستحقها.

كان لانداو يقول: "إن حياة الإنسان قصيرة جداً فلا يحبذ أن يقدم على معالجة مشاكل لا أمل في حلها.. وذاكرته محدودة أيضاً.. ولذلك فكلما تكدست "الزبالة العلمية" في دماغك ضاق المكان المتروك لأفكار عظيمة"... كان يقول ذلك وهو يبتسم.

في وسط ضيق من التلاميذ كان يجري انتقاء الموضوعات في الميكانيكا والديناميكا الكهربائية ونظرية النسبية والفيزياء الإحصائية وميكانيكا الكم، وذلك في إطار الحد الأدنى من المعارف الضرورية لكل من يحاول أداء عمل مثمر في مجال الفيزياء النظرية.

هكذا ظهرت مادة الحد الأدنى النظري.. وقد امتحن لانداو فيها تلاميذه الأوائل، ثم بدأوا بدورهم في إجراء الامتحانات للذين يرغبون في الالتحاق بمدرسة لانداو.

إن كثيراً من العلماء البارزين في الوقت الحاضر سيتذكرون طول حياتهم كيف كانوا يقدمون ذلك الامتحان...

***

ما هي إذن مادة الحد الأدنى النظري؟ كانت هذه المادة عبارة عن منهج في الفيزياء النظرية تم وضعه باختصار صارم وبعد تفكير عميق في كل التفاصيل، مع ذكر مراجع متعددة من الكتب والبنود المختارة منها والمقالات المنشورة في المجلات العلمية.

بعد أن أدرك لانداو أنه يملك موهبة مدرس بارز- وأعتقد أنه لم يكن له مثيل في هذا المضمار- وبعد أن أخذت مدرسته تكتسب سمعة في الأوساط العلمية في البلاد وخارج حدودها، نشأت فكرة سرد الفيزياء النظرية على شكل منهج موحد لا يتيح دراسة الحد الأدنى فقط، بل ودراسة الفيزياء النظرية العصرية عموماً وبعمق أكبر.

إن تأليف المنهج الموحد للفيزياء النظرية- ذلك العمل الرائع للأكاديمي ليف لانداو- لم يكمل للأسف وهو على قيد الحياة. غير أن تلاميذه وعلى رأسهم يفجيني ليفشيتس قد واصلوا عمل معلمهم بحيث استطاعوا الحفاظ على ذوق لانداو وأفكاره وأسلوبه المميز...

***

كان لجلسات المناقشة دور كبير جداً في الحياة والنشاط التربوي لمدرسة لانداو.

فكل خميس في الساعة الحادية عشرة صباحاً كان كبراء الفيزيائيين من جميع معاهد موسكو يجتمعون في معهد القضايا الفيزيائية لحضور الجلسة، حيث كان الدخول حراً تماماً لا يراقبه أحد.

وكان لانداو يجلس مع أقرب زملائه في الصف الأول، وهم الذين يشتركون في المناقشة أساساً، أما الجالسون في بقية الصفوف فيستمعون فقط.

كان التصديق على مواضيع التقارير وعلى أسماء المحاضرين من اختصاص لانداو نفسه. وكانت التقارير كقاعدة مخصصة للمقالات المنشورة في الأعداد الأخيرة من المجلات العلمية. وكان من واجب كل من يلقي تقريراً أن يشرح صياغة المسألة كما هي عند صاحب المقال موضع المناقشة، والحل الذي توصل إليه.

وكثيراً ما حدث أن يجيء بعد تقديم صياغة المسألة وسرد النتيجة النهائية، تصريح من لانداو ينطق به بعد تفكير قصير: "أن هذا المقال شذوذ على شذوذ ولا يستحق ضياع وقتنا" وبعد ذلك يلغي التقرير بلا رحمة.

كان لهذه المناقشات هدفان: أولهما دراسي، أي تدريب الفيزيائيين الشباب على صياغة أفكارهم في ذلك الشكل المنطقي الدقيق الذي سيرضى به لانداو (وهذا كان أمراً صعباً في حد ذاته). أما الهدف الثاني فهو علمي، ذلك أن المناقشات كانت تتيح للانداو ولأقرب زملائه فرصة للتعرف على أحدث ما نشر من أفكار في المجلات العلمية والحصول على خلاصة هذه الأفكار بعد أن عولجت بشكل يسهل استيعابها.

وكان لانداو نفسه هو الذي يستفيد أكثر من غيره من نظام المناقشات هذا...

***

كان لانداو قد قضى فترة سفرته الأولى إلى الخارج في كوبنهاجن عند بوهر وفي زوريخ عند باولى وفي كامبردج عند رذرفورد.

وقد تعرفت عليه في برلين في أواخر سنة ١٩٢٩ أثناء ندوة مكرسة لمسائل الفيزياء النظرية.

قال لي لانداو متأسفاً: "إن كل الفتيات الجميلات قد زوجن.. ومثلهن مثل كل المسائل الفيزيائية الممتعة فقد تم حلها فعلاً.. وليس من المحتمل أنني سأجد شيئاً جديراً بي بين ما تبقى.."

لكنه قد وجد أخيراً كل ما كان يحلم به.. في يناير عام ١٩٣٠، وهو يزور باولى في زوريخ، عثر على مسألة تنتمي، على حد قوله، إلى عداد المسائل الممتعة: مسألة تكمية حركة الالكترونات في المجال المغنطيسي الثابت. لقد حل هذه المسألة في الربيع من نفس العام، عندما كان ينزل ضيفاً على رذرفورد في كامبردج.

منذ ذلك الحين ترسخ موقع لانداو في صف الفيزيائيين العظماء.. وقد رأى لانداو أنه يستطيع أن يمنح نفسه لقب العالم من الدرجة الثانية وفقاً لنظام تصنيف العلماء الذي ابتكره والذي كانت الدرجة الأولى فيه تخصص لكل من بوهر وشرودينجر وهيزنبيرج وديراك ثم ضم إليهم كذلك فيرمى. أما أينشتاين فقد خصص له صاحب التصنيف الدرجة العليا!

لقد تركت المقابلة مع باولى انطباعاً عميقاً في نفس لانداو. وأتذكر أن لانداو حاول مرة إثارة جدال مع باولى أثناء زيارة الأخير لموسكو.. ولكن باولى قال له: "لا.. فكر أنت بنفسك يا لانداو!"... كان هذا مشهدا غير معتاد في الحقيقة...

***

أظن أنه يمكن تصنيف الأفراد في ميدان الفيزياء النظرية، على غرار ما يفعل ذلك في الموسيقى، إلى أساتذة الأداء وأساتذة التلحين. ونادرا ما تجتمع صفات هذين الوجهين من الإبداع في فرد واحدة.

أن الفيزيائي "الملحن"، وهو يبنى نظرية جديدة، يجب- إلى حد ما- أن يقدم على مخاطرة رفض النظام المتناسق الكائن في إطار المنطق التقليدي المألوف.

فالمنطق المألوف يناقض، للوهلة الأولى، تأكيد أينشتاين بأن سرعة الضوء متساوية في جميع نظم الاسناد، كما يناقض تأكيد بوهر بأن الالكترون يشع كما من الضوء عند انتقاله من مدار إلى آخر ولا يشعه أن بقى في مداره.

غير أنه يجب الإشارة إلى أن الحد بين العالم "الملحن" والعالم "أستاذ الأداء" يطمس إلى درجة كبيرة عند وصولهما إلى "المستوى الأعلى"، بل يصبح متلاشياً في بعض الأحيان.

لقد وهب القدر لانداو عقلاً قوياً ذا جهاز منطقي مدهش يسمح لصاحبه بضبط التناقضات والنواقص في أعمال الزملاء لتحذف فوراً باعتبارها "شذوذا". ومن ناحية أخرى فإن خاصية عقل لانداو هذه كانت تتحول ضده في بعض الأحيان، إذ أنه لم يكن يسمح لنفسه أن يخرج عن إطار منطقه الحديدي الصارم.

لذلك كان لانداو من أحسن أساتذة الأداء في العالم، وكان في مقدوره أن يحل أي مسألة تطبيقية إذا كانت قابلة للحل على العموم. ومن خلال ذلك، ووفقاً لمنطق الإبداع، كان يتحول أحياناً إلى "ملحن"، فلو لا وجود "نغمة" خاصة به لفلت الحل من يده.

***

لماذا إذن كان لانداو يحظى بالحب والاحترام في أوساط العلم العالمية قاطبة؟

أظن أن السبب يكمن في أن رجال العلوم يتميزون بقدرتهم البالغة على الشعور بإعجاب فائض، يخلو من أية آثار الحسد، تجاه المواهب الحقيقية...

أن صدق لانداو في العلم كان عجيباً. ولم يتظاهر أبداً بتفهم سؤال لم يفهمه حتى يتخلص من السائل المزعج بعدة كلمات يلقيها من علاء جبروته الشامخ.

أما شمولية معرفته فكانت مذهلة حقاً. ففي الوقت الذي بدأ فيه في الفيزياء النظرية ميل خطير نحو التخصص الضيق- لدرجة أن خبراء الجسيمات الأولية يعجزون اليوم عن تفهم زملائهم الخبراء في نظرية المجال الكمية- في هذا الوقت كان لانداو متأكداً في إتقانه لمختلف أقسام الفيزياء النظرية مهما كانت متباينة ومتباعدة.

لم تكن الشيخوخة قادرة عليه.. بل إن موهبته كانت تنمو وتتطور بقدر اتساع حجم معارفه في علم الفيزياء.

صحيح أن رفاقه قد لاحظوا أنه كان أحياناً يتجنب الإجابة عن بعض الأسئلة قائلاً: "إن هذا الأمر لا يهمني إطلاقاً". ولكن بعد قليل كان يتضح أنه لم ينس الأسئلة المطروحة عليه، إذ أنه مثل أستاذ الشطرنج الذي يلاعب عدة أشخاص في آن واحد كان يستعين بقدرة عقله على التفكير في عدة مشاكل مختلفة. وإذا كان السؤال جديراً بالاهتمام، كان لانداو، بعد مرور فترة ما، يقول وكأنه قد تذكر الموضوع صدفة: "بالمناسبة... لقد سألتني عن الشيء الفلاني ... إذن..." ويليها شرح واف لجوهر المشكلة.

***

أظن أنه يجب كتاب تاريخ حياة لانداو ليشمل كل وجوه نشاطه وقبل كل شيء نشاطه العلمي. أما مجموعة مقالاته العلمية فيجب تزويدها بملاحظات مسهبة مفصلة لتسهيل قراءة هذه المقالات، حتى يستطيع كل طالب أن يستفيد منها استفادة كاملة في دراسته بدلاً من التفرج عليها كأنها تحف من عصر خلا.

***

openkandl.com

obeikandl.com

المحتويات

نبذة ٥

الفصل الأول: النسبية التي تعودنا عليها

هل لكل عبارة معنى؟ ٦
اليمين واليسار ٧
الآن، نهار أم ليل؟ ٨
أيهما أكبر من الآخر؟ ٨
النسبي يبدو مطلقاً ١٠
وبدا المطلق نسبيا ١١
"العقل السليم" يحاول الاحتجاج ١٢

الفصل الثاني: للفراغ مفهوم نسبي

نفس المكان أم لا؟ ١٤
كيف يتحرك الجسم في الواقع؟ ١٥
هل كل وجهات النظر متكافئة؟ ١٧
السكون موجود! ١٧
المختبر الساكن ١٨
هل يتحرك القطار؟ ١٨
وفقد السكون نهائياً ٢٠
قانون القصور الذاتي ٢٢
والسرعة أيضاً نسبية! ٢٣

الفصل الثالث: مأساة الضوء

الضوء لا ينتشر لحظياً ٢٤
هل يمكن تغيير سرعة الضوء؟ ٢٤
الضوء والصوت ٢٦
مبدأ نسبية الحركة يبدو مزعزعا ٢٦
الأثير الكوني ٢٨
نشوء حالة صعبة ٢٩
يجب أن نحتكم إلى التجربة ٣٠

openkanal.com

مبدأ النسبية ينتصر ٣١
انتقلنا من حالة سيئة إلى حالة أسوأ ٣٢

الفصل الرابع: اتضاح نسبية الوقت

هل يوجد تناقض في الواقع؟ ٣٤
فلنستقل القطار ٣٥
هزيمة "العقل السليم" ٣٦
الزمن يلاقي نفس مصير الفراغ ٣٨
العلم ينتصر ٤١
للسرعة حدود ٤١
قبل وبعد ٤٤

الفصل الخامس: الساعات والمساطر متقلبة الأطوار

لنستقل القطار من جديد ٤٦
الساعة تتأخر بصورة مستمرة ٤٩
آلة الزمن ٥٠
رحلة إلى النجوم ٥٢
الأشياء تختصر ٥٥
السرع متقلبة الأطوار ٥٦

الفصل السادس: الشغل يغير الكتلة

الكتلة ٦٠
الكتلة تتزايد ٦١
ما ثمن الجرام من الضوء؟ ٦٣

الكتلة ٦٦
صفحات من مذكرات البروفيسور يورى رومر عن ليف لانداو ٧٠

obeikandl.com