

تطور علم الطبيعة

تحول الآراء من المبادئ الأولى إلى نظرية النسبية والكمات

تأليف

ألبرت أينشتاين

6

ليوبولد إنفلد

ترجمة

الدكتور عطية عبدالسلام غايشوري

المدرس بكلية العلوم بجامعة القاهرة

الدكتور محمد عبدالقيصود الناري

المدرس بكلية العلوم بجامعة القاهرة

مراجعة

الدكتور محمد مرسى أحمد

الأستاذ بكلية العلوم بجامعة القاهرة



ملتزم الطبع والنشر

مكتبة الأنجلو المصرية

١٦٥ شارع محمد بك فريد (مماراتره سابقا)

تطور علم الطبيعة

تحول الآراء من المبادئ الأولى إلى نظرية النسبية والكمات

تأليف

ألبرت أينشتاين

6

فيوربولد إنفلد

ترجمته

الدكتور عطية عبد السلام عامر شوق
المدرس بكلية العلوم بجامعة القاهرة

الدكتور محمد عبد المقصود التادوي
المدرس بكلية العلوم بجامعة القاهرة

مراجعة

الدكتور محمد مرسى أحمد
الأستاذ بكلية العلوم بجامعة القاهرة



مكتبة الأنجلو المصرية
ملتزم الطبع والنشر
١٦٥ شارع محمد بك فريد (عمارة التجهيزات سابقاً)

مقدمة

من حق القارىء قبل أن يشرع فى قراءة الكتاب أن يتوقع الإجابة على بعض الأسئلة البسيطة كأن يعرف مثلاً الغرض من وضع هذا الكتاب والمستوى المطلوب فى القارىء كي يتمكن من فهمه .

من المسير أن نبدأ بالإجابة على هذين السؤالين بطريقة واضحة مقننة ، ولعله قد يكون من الأيسر أن نجيب عليها فى نهاية الكتاب ، على الرغم من أن ذلك يكون غير ذى قيمة عندئذ . ولعلنا نجد من الملائم بيان الأمور التى نهدف إليها بوضع هذا الكتاب . فنحن لم نقصد وضع كتاب فى علم الطبيعة ، ولن يجد القارىء هنا دراسة منظمة للحقائق والنظريات الأولية لهذا العلم . وكان غرضنا الأساسى أن نضع الخطوط الرئيسية لمحاولات العقل البشرى لإيجاد الارتباط بين عالم الأفكار وعالم الظواهر . وقد حاولنا أن نبين القوى الفعالة التى تدفع العلم إلى ابتكار الأفكار التى تناظر حقائق عالما . ولكن كان من الواجب أن تكون دراستنا بسيطة وكان علينا أن نشق لأنفسنا خلال الحشد الكبير من الحقائق والآراء الطريق الذى يبدو لنا أكثر أهمية وذات معنى واضح . وقد اضطررنا إلى إهمال الحقائق والنظريات التى لا تقع فى هذا الطريق . وكان حتماً علينا لتحقيق هدفنا العام أن نحدد اختيار الحقائق والآراء التى سندرسها . ويجب ألا يؤثر عدد الصفحات المخصصة لدراسة موضوع ما فى الحكم على أهمية هذا الموضوع . وقد تركنا جانباً بعض اتجاهات الفكر الأساسية ولم يكن تركنا لها ناتجاً عن عدم أهميتها ، بل لأنها لا تقع فى الطريق الذى اخترناه .

وقد تناقشنا طويلاً حين شرعنا فى وضع هذا الكتاب فى الميزات التى يجب أن تتوفر فى قارئنا المثالى وشغلنا كثيراً بهذا الموضوع . وقد تخيلنا أن القارىء

سيستميز عن عدم درايته التامة بملى الطبيعة والرياضة ، بالتجلى بكثير من
الخصائل الحميدة . فثلاً تخيلناه مهتماً بالآراء الطبيعة والفلسفية ، وكان علينا أن
نعجب بصبره الذى استعان به فى تتبع الفقرات المملة والصعبة . وتخيّلنا هذا
القارىّ يقنعنا بأنه لى يفهم أية صفحة يجب عليه أن يقرأ الصفحات السابقة
بمناية ، فهو يعلم أن من الخطأ أن يقرأ الكتاب العلمى حتى ولو كان مبسطاً بنفس
الطريقة التى تقرأ بها القصص .

هذا الكتاب هو عادية بسيطة بين القارىّ وبيننا وقد يجد القارىّ هذا
الكتاب منفراً أو محبباً إلى النفس ، مملاً أو مثيراً للاهتمام ولكن هدفنا يتحقق
إذا نجحت هذه الصفحات فى إعطاء القارىّ فكرة ما عن الجهاد الشاق للمقل
البشرى المتكبر فى سبيل فهم شامل للقوانين التى تتحكم فى الظواهر الطبيعية .

ألبرت أينشتاين

ليوبولد إنغلند

فهرس الكتاب

صفحة

الباب الأول

نشأة وجهة النظر الميكانيكية

١	الفصة الغامضة الكبرى
٣	الدليل الأول
٨	الكبات المتجهة
١٣	نظر الحركة
٢٣	يبقى دليل آخر
٢٦	نظرية السبال للحرارة
٣٣	عربة اللامى
٣٦	نظام التحويل
٣٩	الأساس الفلسفى
٤٢	نظرية الحركة للمادة

الباب الثانى

تداعى وجهة النظر الميكانيكية

٤٩	اللاثمان الكهربائىان
٥٨	اللاثمان الغناطيسىان
٦١	الصعوبة الجدية الأولى
٦٦	سرعة الضوء
٦٨	النظرية الجسبية للضوء
٧٠	لغز اللون
٧٤	ما هى الموجة ؟

صفحة	
٧٧	النظرية الموجية للضوء
٨٤	هل موجات الضوء طولية أم مستعرضة ؟
٨٦	الأثير ووجهة النظر الميكانيكية
٨٨	تلخيص

الباب الثالث

المجال — النسبية

٨٩	المجال كوسيلة لتبيل الواقع
٩٨	دعوات نظرية المجال
١٠١	واقعية المجال
١٠٧	المجال والأثير
١٠٩	العقالة الميكانيكية
١١٨	الأثير والحركة
١٢٩	الزمن والساعة والنسبية
١٤١	نظرية النسبية والميكانيكا
١٤٦	متصل الزمان والمكان
١٥٤	النسبية العامة
١٥٩	خارج ودخل الصد
١٦٥	الهندسة والتجربة
١٧٥	النسبية العامة وتحققها
١٨٠	المجال والمادة
١٨٢	تلخيص

الباب الرابع

السكرات

١٨٤	الاتصال وعدم الاتصال
١٨٦	السكرات الأولية للمادة والكهرباء

صفحة	
١٩٠	كمات الضوء
١٩٦	الطيف الضوئي
٢٠١	أمواج المادة
٢٠٦	أمواج الاحتمال
٢١٧	علم الطبيعة وحقيقة الوجود
٢٢٠	المحلاصة

قائمة باللوحات

٤٦	تقابل صفحة	حركة براون	اللوحة الأولى :
٨٣	» »	حيود الضوء	اللوحة الثانية :
		حيود الأشعة السينية والأمواج	اللوحة الثالثة :
٢٠٠	» »		الكهربائية

الباب الأول

نشأة وجهة النظر الميكانيكية

[القصة الغامضة الكبرى — الدليل الأول — السكيات المتجهة —
لفظ الحركة — يبقى دليل آخر — نظرية الجبال للحرارة — مربة اللامى —
نظام التحويل — الأساس الفلسف — نظرية الحركة للعادة]

القصة الغامضة الكبرى :

توجد الألتاز البولييسية الكاملة فى الخيال . وتحتوى مثل هذه الألتاز على جميع الأدلة الضرورية التى تجعلنا نكون نظريتنا الخاصة للحالة . وإذا تتبعنا سلسلة حوادث القصة بدقة فإننا نصل إلى حلها الكامل مباشرة قبل كشف المؤلف عنه فى نهاية الكتاب . والحل فى ذاته ، على عكس الحالة فى الألتاز البسيطة ، لا ينجيب أملنا ويظهر فى الوقت المناسب الذى تترقبه فيه .

هل يمكن تشبيه قارىء مثل هذا الكتاب بالعلماء ، الذين استمروا خلال الأجيال المتعاقبة يبحثون عن حل لأسرار الطبيعة ؟ ورغم عدم وجود وجه لهذه المقارنة ، الشئ الذى سيضطرنا إلى تركها فيما بعد ، فإنه يوجد لها بعض الدوافع التى يمكن تعميمها وتعديلها لتسهيل مهمة العلم فى حل أسرار الكون .

ولا تزال هذه القصة الغامضة الكبرى دون حل . بل إنه لا يمكن الجزم بوجود حل نهائى لها . لقد حصلنا على الكثير نتيجة لقراءة هذه القصة ، فقد علمتنا مبادئ لفنة الطبيعة ، ومكثنتنا من فهم كثير من الأدلة وكانت مصدراً للسرور وإثارة الاهتمام يخفف التعب والإرهاق اللذين غالباً ما يصاحبان تقدم العلم . ولكننا نعلم جيداً أنه بالرغم من كثرة الأجزاء التى قرئنا وفهمنا ، فإننا لا تزالنا بمنتهن من الحل الكامل إذا وجد ، وهو شئ بعيد الاحتمال . وفى كل مرحلة

نحاول أن نجد تفسيراً يتفق مع الأدلة المكتشفة حتى ذلك الوقت . ولقد فسرت النظريات المبينة على التجربة كثيراً من الحقائق ولكن لم يكتشف إلى الآن حل عام يتفق مع جميع الأدلة المعروفة ، وفي كثير من الأحيان بعد الاستزادة من القراءة يتضح فئسل نظرية كان يظن أنها كاملة كافية ، وذلك لظهور حقائق جديدة تناقض النظرية أو يتعذر تفسيرها بها . وكلما تمددنا في القراءة كلما زاد تقديرنا لكآل تصميم الكتاب رغم أن الحل الكامل يبدو كأنه يشهد كلما تقدمنا . وفي جميع القصص البوليسية تقريباً ، منذ قصص كونان دويل الرائعة ، يأتي وقت يكون الباحث قد جمع جميع الحقائق اللازمة لمرحلة واحدة على الأقل من مراحل المسألة التي يبحثها . وفي أغلب الأحيان تبدو هذه الحقائق غريبة متفرقة لا علاقة بينها بالرة . ولكن الباحث البوليسى الخبير يعلم أنه لا يحتاج الآن إلى بحث جديد وأن التذكير البحث يقوده إلى ربط الحقائق التي جمعها ببعضها . وبجأة ، ربما أثناء عرزه على السكان أو تدخينه لعلبونه وهو جالس في مقعد مريح تحدث المعجزة ا فبالإضافة إلى حصوله على تفسير للأدلة الموجودة يعلم أن أموراً معينة لا بد وأن تكون قد حدثت . ويستطيع الآن أن يخرج ويجمع أدلة جديدة تقوى نظريته ، وذلك لأنه يعلم الآن أين يبحث عنها .

ويجب على العالم الذي يقرأ أسرار السكون ، إذا سمح لنا أن نعيد استعمال هذه العبارة البالية ، أن يجد الحل لنفسه ، وذلك لأن من السئمر عليه أن يدير الصفحات الأخيرة للكتاب ويقرأها كما اعتاد أن ينمل قراء القصص الأخرى الذين لا صبر لهم . وفي الحالة الراهنة القارىء هو نفسه الباحث الذى يحاول أن يفسر ولو لدرجة محدودة العلاقة بين الحوادث وما تدل عليه . ولكنى يحصل العالم حتى على حل غير كامل ، يجب عليه أن يجمع الحقائق غير المرتبة التي أمكنه الحصول عليها وينظمها ويجعلها مفهومة وذلك باستعمال التفكير المبدع .

وهدفنا من الصفحات القادمة ، هو وصف عام لعمل علماء الطبيعة ، ذلك العمل الذى يناظر التفكير البحث للباحث البوليسى ، وسنوجه أكثر اهتمامنا

إلى الدور الذى تلعبه الأفكار فى البحث عن أسرار الطبيعة ذلك البحث المملوء بالمغامرات .

المرحلة الأولى :

منذ بدأ التفكير الإنسانى ومحاولات قراءة القصة الغامضة الكبرى مستمرة .
ولسكن العلماء لم يبدأوا فى فهم لغة هذه القصة إلا منذ زمن يزيد قليلاً عن ثلاثمائة
عام . ومنذ ذلك الوقت ، عصر جاليليو ونيوتن ، أخذ العلماء يسرعون فى القراءة .
فتكونت وسائل البحث الدقيقة ، وطرق الحصول على الأدلة واقتفاء أثرها . ورغم
حل بعض الألغاز الطبيعية فقد ظهر بعد الاستزادة من البحث أن كثيراً من
الحلول سطحي ولا يسرى فى جميع الأحوال .

والحركة مسألة أساسية وفى غاية الأهمية . وقد ظلت هذه المسألة غامضة آلافاً
من السنين وذلك لشدة تعقدها . وجميع الحركات التى نشاهدها فى الطبيعة مثل
حركة حجر قذف فى الهواء ، أو حركة سفينة تسير فى البحر ، أو حركة عربة
تدفع فى الطريق ، هى فى الحقيقة مرتبطة ببعضها أشد الارتباط . ولفهم هذه
الظواهر ، يحسن أن نبدأ بأبسط الحالات الممكنة ثم نأخذ فى دراسة الحالات
الأكثر تعقيداً تدريجياً . اعتبر جسماً ساكناً بحيث لا توجد حركة على الإطلاق .
لتغيير موضع جسم كهذا يلزم التأثير عليه بطريقة ما ، كدفعه أو رفعه ، أو جعل
أجسام أخرى مثل الجياد أو المراكب البخارية تتحرك . ويدلنا الإلهام أن الحركة
ترتبط بالدفع أو الرفع أو الشد . وكثرة التجربة تدفعنا إلى أن نحاطر ونقول أنه
يجب أن يكون الدفع أشد لسكى تكون حركة الجسم أسرع . ويكون من
الطبيعى أن نستنتج أنه كلما كان التأثير على الجسم أقوى كلما كانت سرعته أكبر
فالعربة ذات الجياد الأربعة تتحرك أسرع من العربة ذات الجوادين فقط . ونذكر
بالبسطة ضرورة ارتباط السرعة بالتأثير .

من الحقائق التى يعرفها قراء القصص البوليسية الخيالية أن الدليل الكاذب
يمتد القصة ويؤخر الوصول إلى الحل . وقد كانت طريقة التفكير التى أملاها الإلهام

خاطئة وأدت إلى أفكار غير صحيحة عن الحركة ، وقد ظلت هذه الأفكار سائدة قروناً كثيرة . وربما كانت مكانة أرسطاليس العظيمة في جميع أنحاء أوروبا هي السبب الرئيسي في استمرار الاعتقاد في هذه الفكرة البديهية زمنًا طويلًا . نقتبس من كتاب « الميكانيكا » المنسوب إليه منذ ألفي عام :

« يسكن الجسم المتحرك إذا توقفت القوة التي تحركه عن التأثير » .

لقد كان اكتشاف جاليليو لطرق التفكير العلمي وتطبيقاته من أهم ما وصلنا إليه في تاريخ التفكير الإنساني ، ولم يبدأ علم الطبيعة حقيقة إلا منذ ذلك الوقت . فقد علمنا هذا الاكتشاف ألا ثنى دائماً بالاستنتاجات البديهية المبنية على الملاحظات السريعة ، وذلك لأنها تعود في بعض الأحيان إلى أدلة خاطئة .

ولكن أين يخطئ الإلهام ؟ هل يكون من الخطأ أن نقول أن العربة التي تجرها أربعة جياد تتحرك أسرع من تلك التي يجرها جوادان فقط ؟

دعنا نختبر الخواص الأساسية للحركة بدقة ، ولنبدأ بالتجارب اليومية البسيطة التي اعتادها الإنسان منذ بدء الحضارة واكتسبها في صراعه للبقاء .

نفرض أن شخصاً يدفع عربة في طريق أفق ، إذا توقف هذا الشخص عن الدفع فجأة فإن العربة تستمر في الحركة مسافة قصيرة قبل أن تسكن ، وتسامل الآن : كيف يمكن زيادة هذه المسافة ؟ توجد طرق مختلفة مثل تشحيم العجلات وجعل الطريق أملس للغاية . فكما دارت العجلات بسهولة وكما كان الطريق أملس ، كلما استمرت العربة في الحركة مدة أطول . ماهو التفسير الذي حدث نتيجة لتشحيم العجلات وجعل الطريق أملس للغاية ؟ فقط الإفلال من تأثير العقبات الخارجية . فقد تناقص فعل ما يسمى بالاحتكاك في كل من العجلات وبين العجلات والطريق . وهذا في حد ذاته تفسير نظري لحقيقة مشاهدة ، وهو في الحقيقة تفسير اختياري . يجب أن نخلو خطوة أخرى هامة إلى الأمام لنحصل على الدليل الصحيح . نحيل طريقاً لا خشونة فيه (أملس ١٠٠ ٪) وعجلات لا احتكاك فيها على الإطلاق . بذلك لا يوجد ما يوقف العربة وعلى ذلك تستمر

في الحركة إلى الأبد . لا نصل إلى هذه النتيجة إلا بالتفكير في تجربة مثالية يستحيل إجراؤها فعلاً ، وذلك لاستحالة التخلص من المؤثرات الخارجية . وهذه التجربة الثالثة تبين الدليل الذي هو في الواقع حجر الأساس في ميكانيكا الحركة . بمقارنة طريقتي التفكير في المسألة يمكننا أن نقول : الفكرة الالهامية هي : بزيادة التأثير تزداد السرعة . وعلى ذلك تبين السرعة ما إذا كانت هناك قوى خارجية تؤثر على الجسم . الدليل الجديد الذي وجدته جاليليو هو : إذا لم يدفع الجسم أو يجر أو يؤثر عليه بأية طريقة أخرى ، أو بالاختصار إذا لم تؤثر قوى خارجية على الجسم فإنه يتحرك بانتظام أى بسرعة ثابتة في خط مستقيم . أى أن السرعة لا تبين ما إذا كان الجسم مؤثراً عليه بقوى خارجية أم لا ؟ وقد صاغ نيوتن نتيجة جاليليو ، وهى النتيجة الصحيحة على هيئة قانون القصور الذاتي بعد ذلك بمدة طويلة . وأول شيء في علم الطبيعة يحفظ عن ظهر قلب في المدارس هو هذا القانون ، وبعضنا يتذكره في الصورة الآتية :

« يحفظ كل جسم ساكن ، أو متحرك حركة منتظمة في خط مستقيم ، بحالته إلا إذا اضطر إلى تغييرها نتيجة لتأثير قوى عليه » .

لقد رأينا أنه لا يمكن الوصول إلى قانون القصور الذاتي هذا مباشرة من التجارب العملية ، وإنما نصل إليه عن طريق التفكير المتفق مع المشاهدة ، ورغم استحالة إجراء التجربة الثالثة فعلاً ، فإنها تؤدي إلى فهم شامل لتجارب حقيقية . من بين الحركات المعقدة المختلفة الموجودة حولنا في الحياة ، سنختار الحركة المنتظمة كثال أول وهى أبسط الحالات لعدم وجود قوى خارجية مؤثرة . نلاحظ أنه لا يمكن تحقيق الحركة المنتظمة عملياً ، فالحجر الساقط من برج ، أو العربة المدفوعة في الطريق لا يمكن جعلها تتحرك حركة منتظمة تماماً ، وذلك لاستحالة التخلص من القوى الخارجية .

في القصص البوليسية الجيدة ، تقودنا الأدلة الواضحة في أكثر الأحيان إلى الاتهام الخاطيء . بالمثل في محاولتنا فهم قوانين الكون نجد أن التفسيرات

البيسطة البينية على الإلهام تكون في أغلب الأحيان خاطئة .
إن التفكير الإنساني ليخلق صورة دأمة التنير للكون ، والذي أضافه
جاليليو هو تخلصه من وجهة النظر البينية على الإلهام واستبدالها بأخرى جديدة .
وهذا هو مغزى اكتشاف جاليليو .

ويظهر على الفور سؤال آخر يتعلق بالحركة . مادامت السرعة ليست دليلاً
على القوى الخارجية المؤثرة على الجسم فما هو هذا الدليل ؟ لقد وجد جاليليو
جواب هذا السؤال كما وجده نيوتن في صورة أكثر اختصاراً ، وهذه الاجابة .
دليل جديد في بحثنا .

للحصول على الجواب الصحيح ، يجب أن نؤمن التفكير في مسألة العربة التي
تتحرك على طريق أملس . في هذه التجربة الثالثة كان انتظام الحركة نتيجة لعدم
وجود أى قوى خارجية . نفرض أن العربة التي تتحرك بانتظام دفعت في اتجاه
حركتها . ماذا يحدث الآن ؟ واضح أن سرعتها تزداد . كذلك من الواضح أنها
إذا دفعت في عكس اتجاه حركتها فإن سرعتها تنقص . في الحالة الأولى تنير
السرعة وتزداد نتيجة للدفع ، وفي الحالة الثانية تنير السرعة وتنقص نتيجة له .
وتلى النتيجة الآتية على الفور : القوى الخارجية تغير السرعة . إذن لا تكون
السرعة نفسها نتيجة للدفع ، وإنما يكون تغيرها هو النتيجة ، وأية قوة إما أن
تزيد أو تنقص السرعة على حسب ما إذا كانت في اتجاه الحركة أم في عكسه .
لقد رأى جاليليو ذلك بوضوح وكتب في مؤلفه « علمان جديان » :

« إذا اكتسب جسم سرعة معينة فإنه يبقى محتفظاً بها مادامت المؤثرات
الخارجية التي تعمل على تغييرها بالزيادة أو النقصان غير موجودة ، وهو شرط
لا يمكن توفره إلا على المستويات الأفقية وذلك لأنه يوجد فعلاً سبب لازدياد
السرعة في حالة المستويات التي تميل إلى أسفل ، كما يوجد سبب لتناقصها في حالة
المستويات التي تميل إلى أعلى ، وعلى ذلك ينتج أن الحركة على المستوى الأفقى تكون
مستمرة وذلك لأنه إذا كانت السرعة منتظمة فلا يمكن إقصائها أو من باب
أولى ملاحظتها » .

إذا تتبعنا الدليل الصحيح فإننا نفهم مسألة الحركة بوضوح . وأساس الميكانيكا الكلاسيكية (القديمة) كما وضعها نيوتن هو العلاقة بين القوة والتغير في السرعة لا السرعة نفسها كما يبدو لنا بالبديهية .

لقد تكلمنا عن فكرتين تلعبان دورين هامين في الميكانيكا الكلاسيكية : القوة والتغير في السرعة . ولقد عمدت كلا من هاتين الفكرتين أثناء تطور العلم . لذلك نلزم دراستهما بدقة .

ما هي القوة ؟ نعرف بالبديهية ماذا نعني بهذا اللفظ . لقد نشأت فكرة القوة عن الجهد البذول في الدفع أو القذف أو الجر - من الإحساس العضلي الذي يصاحب كلا من هذه الأعمال . ولكن تعميم فكرة القوة يذهب إلى أبعد من هذه الأمثلة البسيطة بكثير . يمكننا التفكير في القوة دون أن نتخيل جواداً يجر عربة ! ونحن نتكلم عن قوة الجذب بين الأرض والشمس وبين الأرض والقمر ، وعن القوة التي تسبب المد والجزر . وتتكلم عن القوة التي تجبرنا الأرض بواسطتها على أن نبقى في دائرة نفوذها (نحن وأى شيء آخر) وعن القوة التي بفضلها تولد الريح الأمواج في البحر وتحرك ورق الأشجار . وعند ما نلاحظ تغييراً في السرعة نعزو السبب على العموم إلى قوة خارجية . كتب نيوتن في مؤلفه « برنسيبيا^(١) » يقول :

القوة الخارجية : هي فعل يؤثر على جسم ساكن أو متحرك بانتظام في خط مستقيم لتغيير حالته ، وتوجد هذه القوة أثناء تأثيرها فقط ولا تبقى في الجسم بعد انتهاء هذا التأثير ، وذلك لأن الجسم يحتفظ بكل حالة جديدة يصل إليها بواسطة قصوره الذاتي فقط . وتنشأ القوى الخارجية بطرق مختلفة ؛ فقد تنشأ عن الضغط أو التصادم أو عن القوى المركزية .

إذا أتى حجر من قمة برج ؛ فإن حركته لا تكون منتظمة بحال من الأحوال وتزداد سرعة الحجر أثناء سقوطه . نستنتج إذن وجود قوة خارجية تعمل في أجما

(1) Principia.

الحركة ، ويمكن التعبير عن ذلك بطريقة أخرى بأن نقول أن الأرض تجذب الحجر . فلنأخذ مثلاً آخر : ماذا يحدث عند ما يقذف حجر رأسياً إلى أعلى ؟ تتناقص السرعة حتى يصل الحجر إلى أقصى ارتفاع له ثم يبدأ في السقوط . القوة التي تسبب هذا التناقص في السرعة هي نفس القوة التي تسبب ازدياد سرعة الجسم الساقط . في إحدى الحالتين كانت القوة في اتجاه الحركة ، وفي الحالة الثانية كانت القوة في عكس هذا الاتجاه ، والقوة واحدة في الحالتين ولكنها تسبب ازدياد السرعة أو تناقصها على حسب ما إذا كان الحجر ساقطاً أو مقذوفاً إلى أعلى .

الكهيمات المتجهة :

جميع الحركات التي درسناها فيما سبق هي حركات خطية ، أي في خط مستقيم والآن يجب أن نخطو خطوة إلى الأمام ، ويمكن فهم قوانين الطبيعة إلى درجة محدودة إذا درسنا أبسط الحالات وتركنا في محالاتنا الأولى جميع التعقيدات . فالخط المستقيم أبسط من المنحنى ، ولكن يستجيب الاكتفاء بفهم الحركة في مستقيم فقط . لحركة كل من القمر والأرض والنجوم هي حركات في مسارات منحنية ، وقد طبقت قوانين الميكانيكا بنجاح باهر على جميع هذه الحركات . والانتقال من الحركة الخطية المستقيمة إلى الحركة على منحني يجلب صعوبات جديدة ويجب أن تكون لدينا الشجاعة الكافية لتخطي هذه الصعوبات إذا أردنا فهم قواعد الميكانيكا الكلاسيكية التي أعطتنا الإرشادات الأولى وبذلك كونت نقطة الابتداء في تطور العلم .

اعتبر الآن تجربة مثالية أخرى ، حيث تندرج كرة منتظمة بانتظام على نضد أملس . نعم أننا إذا دفننا الكرة ، أي إذا أثرتنا عليها بقوة خارجية ، فإن سرعتها تتغير . لنفرض الآن أن اتجاه الدفع ليس في اتجاه الحركة كما في حالة العربة وإعما في اتجاه آخر مخالف وليكن العمودي على هذا الاتجاه مثلاً . ماذا يحدث للكرة ؟ يمكن تمييز ثلاثة أطوار للحركة : الحركة الابتدائية ، تأثير القوة ، الحركة النهائية بعد توقف تأثير القوة . وحسب قانون التصور التالي ، تكون سرعتنا الكرة

قبل وبعد تأثير القوة منتظمتين تماماً . ولكن تختلف الحركة المنتظمة بعد تأثيرها ؛ فقد تنبأ اتجاه الحركة . اتجاه الحركة الابتدائية للكرة واتجاه القوة متعامدان . ولا تكون الحركة النهائية للكرة في أحد هذين الاتجاهين وإنما تقع بينهما ، ويكون اتجاهها أقرب إلى اتجاه القوة إذا كان الدفع شديداً وأقرب إلى اتجاه حركتها الأصلية إذا كان الدفع بسيطاً والسرعة الابتدائية كبيرة . نستخلص الآن النتيجة الجديدة الآتية البتية على قانون القصور الذاتي : يتغير مقدار السرعة بصفة عامة ، وكذا اتجاهها نتيجة لتأثير القوة . وفهم هذه الحقيقة يمهّد الطريق إلى التعميم الذي أدخل على علم الطبيعة بواسطة فكرة الكميات المتجهة .

يمكننا أن نستمر في هذه الطريقة المنطقية المباشرة . وتكون نقطة الابتداء مرة أخرى هي قانون القصور الذاتي لجاليليو ، إذ لا يزال مجال استخدام نتائج هذا الدليل القيم في كشف لنز الحركة واسعاً .

لنعتبر كرتين تتحركان في اتجاهين مختلفين على نضد أmls . ولكي يكون لدينا صورة محددة للسؤاله نفرض أن هذين الاتجاهين متعامدان نتيجة لعدم تأثير قوى خارجية ، تكون هاتان الحركتان منتظمتين تماماً . زيادة على ذلك نفرض أن القيمة العددية لسرعة كلا من الكرتين واحدة ، أى أنهما يقطعان نفس المسافة في نفس الفترة الزمنية الواحدة . ولكن هل يكون صحيحاً أن نقول أن الكرتين تتحركان بنفس السرعة ؟ يصح أن يجيب على هذا السؤال بنعم أو لا ! لقد جرت العادة أن نقول أن سيارتين تسيران بسرعة واحدة إذا كان عداد السرعة في كل منهما بين أربعين ميلاً في الساعة مثلاً . مهما كان اتجاهي حركتهما . ولكن يجب على العلم أن يخلق لنته الخاصة وأفكاره الخاصة لاستعماله الخاص . غالباً ما تبدأ الأفكار العلمية بتلك المستعملة في اللغة العادية التي تستخدم في الحياة اليومية ولكنها تختلف عنها تماماً بعد تطورها . فهي تتحول وتتخلص من الغموض الذي كان يلازمها في اللغة العادية وتصبح مضبوطة بدرجة تمكننا من تطبيقها علمياً . من وجهة نظر علم الطبيعة يكون من الأفضل أن نقول أن سرعتي الكرتين المتحركتين في اتجاهين مختلفين مختلفتان ، ومن الأنسب أن نقول أنه إذا تحركت

أربع سيارات متفرقة من ميدان واحد إلى أربعة شوارع مختلفة متفرعة من هذا الميدان فإن سرعاتها لا تكون متساوية حتى ولو سجلت عدادات السرعة في كل منهما أربعين ميلا في الساعة مثلا . وهذا التفريق بين السرعة وبين قيمتها العددية هو مثل بين كيف ينير علم الطبيعة لإحدى الأفكار المستعملة يوميا بطريقة تثبت فائدتها في تطورات العلم التالية .

إذا قسنا 'بعداً' من الأبعاد فإننا نمر من النتيجة بعدد معين من الوحدات . فطول عصا معينة قد يكون ثلاثة أقدام وتسع بوصات ، ووزن جسم معين قد يكون رطلان وثلاثة أوقيات ، كإتقاس الفترات الزمنية بالدقائق والثواني . في كل من هذه الحالات نمر عن نتيجة القياس بعدد ، ولكن العبد وحده لا يكفي لوصف بعض الظواهر الطبيعية ، ويمد إدراك هذه الحقيقة تقدماً واضحاً في طريقة البحث العلمي . بالإضافة إلى العدد ، يلزم تحديد اتجاه لتعيين سرعة ما . وتسمى أية كمية من هذا القبيل أى ذات مقدار واتجاه : كمية متجهة . والزمن الذى يناسب الكمية المتجهة هو سهم . يمكن تمثيل السرعة بسهم ، أو بالاختصار ، بمتجه طوله يمثل القيمة العددية للسرعة في نظام وحدات معين واتجاهه هو اتجاه الحركة .

إذا تفرقت أربع سيارات من ميدان واحد بسرعة لها نفس القيمة العددية فإنه يمكن تمثيل سرعاتها بأربعة متجهات متساوية الطول كما هو واضح من الشكل . في القياس المستعمل تمثل البوصة ٤٠ ميلا في الساعة بهذه الطريقة يمكن تمثيل أية سرعة بمتجه ، وبالعكس إذا علم المتجه ومقياس الرسم فمن الممكن الحصول على السرعة .

إذا تقابلت سيارتان تسيران في نفس الطريق في اتجاهين متضادين ، وكان عداد السرعة في كل منهما يبين ٤٠ ميلا



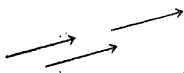
في الساعة ، فإن سرعتيها تمثلان بمتجهين مختلفين يشير سهم الأول في عكس اتجاه سهم الثاني . بالمثل يجب أن يشير السهمان اللذان يبينان اتجاهي القطارات « من » و « إلى » المدينة في اتجاهين متضادين ، ولكن جميع القطارات الموجودة في أرصفة المحطات المختلفة والمتحركة نحو المدينة بسرعة



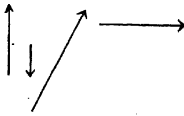
قيمتها العددية واحدة تكون لها نفس السرعة التي يمكن تمثيلها جميعاً بمتجه واحد . ولا يوجد أي شيء في هذا

الاتجاه يبين المحطة التي يمر بها القطار أو الرصيف الخاص الذي كان عليه ، ومعنى ذلك أنه حسب المبدأ المتفق عليه ، يمكن اعتبار جميع هذه الاتجاهات وما يمثلها كما

هو مبين في الشكل متساوية ، وهي تقع في نفس الخط أو في خطوط متوازية وتكون متساوية الطول ، وأخيراً تشير أسهما جميعاً إلى نفس الاتجاه .



بين الشكل التالي متجهات غير متساوية وذلك لأنها تختلف إما في المقدار أو في الاتجاه أو في كليهما ، ويمكن رسم الأربعة متجهات هذه بطريقة أخرى بحيث

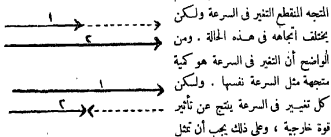


تتفرق جميعها من نقطة واحدة . وحيث أن نقطة الابتداء لا يهم ، يمكن أن تمثل هذه المتجهات سرعات أربع سيارات تتفرق من نقطة مرور واحدة ، أو سرعات أربع سيارات تتحرك في أربعة أماكن مختلفة من المدينة بسرعات قيها العددية واتجاهها كما هو مبين في الشكل .



يمكننا الآن استعمال التمثيل بالمتجهات في شرح الحقائق الخاصة بالحركة الخطية التي بحثناها من قبل . لقد تكلمنا عن عربة تتحرك بانتظام

في خط مستقيم ، تدفع في اتجاه حركتها فتزداد سرعتها . يمكن تمثيل ذلك بيانياً بمتجه ، الأول قصير ويمثل السرعة قبل الدفع ، والثاني أطول وله نفس الاتجاه ويمثل السرعة بعد الدفع ومعنى المتجه المتقطع واضح ؛ فهو يمثل التغير في السرعة الذي يسببه الدفع . والحالة التي تكون فيها القوة في عكس اتجاه الحركة والتي تنقص فيها السرعة ، يختلف فيها الرسم بعض الشيء ، عما سبق . مرة أخرى يناظر



هذه القوة بمتجه أيضاً . ولكي تعين القوة لا يكفي أن نحدد الشدة التي تدفع بها العربة ، وإنما يجب أن نحدد أيضاً اتجاه الدفع . والقوة مثلها في ذلك مثل السرعة ومثل التغير في السرعة يجب تمثيلها بمتجه وليس بمدد فقط . وعلى ذلك : القوة الخارجية هي أيضاً كمية متجهة ، ويجب أن يكون اتجاهها هو اتجاه التغير في السرعة . في الشكلين السابقين تبين الاتجاهات المثلة بخطوط متقطعة اتجاه القوة حيث أنها تمثل التغير في السرعة .

وربما يقول المثائم هنا أنه لا يوجد ميزة في استعمال المتجهات ، وإن كل ما حدث هو ترجمة حقائق معلومة لنا إلى لغة معقدة وغير عادية . ويصوب في هذه المرحلة إقناع مثل هذا الشخص بخطأ تفكيره ؛ وحتى الآن هو في الواقع محق في قوله ولكننا سنرى أن نفس هذه اللغة الغريبة ستقودنا إلى تعميم هام يستلزم وجود المتجهات .

لفر الحركة :

بإقتصارنا على دراسة الحركة الخطية فقط ، نبقى بميدان فهم الحركات التي تراها يوميا في الحياة . لذلك يجب علينا بحث الحركة في مسارات منحنية ؛ وخطوتنا التالية هي تعيين القوانين التي تحدد مثل هذه الحركة . وليس هذا بالعمل السهل . لقد أثبتت أفكارنا عن السرعة وتغيرها والقوة فائدتها العظيمة في حالة الحركة الخطية . ولكننا لارى على الفور كيفية تطبيق هذه الافكار على الحركة في مسار منحني . ومن الممكن طبعا أن تصور أن الأفكار القديمة لا تفي في وصف الحركة العامة وأن من اللازم إيجاد أخرى جديدة . هل سنسير في طريقنا القديم أم سنبحث عن آخر جديد ؟

من العمليات التي نستخدم كثيراً في العلم عملية تعميم فكرة معينة ، وطريقة التعميم نفسها ليست محددة ، لأنه توجد في الغالب طرق مختلفة للقيام به ولكن يجب أن يتحقق شرط معين : يجب أن تؤول أية فكرة يد تعميمها إلى الفكرة الأصلية إذا توفرت الشروط الأصلية .

وأنسب طريقة لتوضيح ذلك هو بحث الثال الموجود بين يدينا . يمكننا محاولة تعميم أفكارنا القديمة عن السرعة ، التغير في السرعة ، القوة في حالة الحركة في مسار منحني . وعبارة المسارات المنحنية تشمل الخطوط المستقيمة فالخط المستقيم حالة خاصة وتافهة من المنحني . وعلى ذلك إذا أدخلت فكرة السرعة ، والتغير في السرعة والقوة لحالة الحركة في خط منحني فإنها تكون قد أدخلت أوتوماتيكيا للحركة في خط مستقيم ويجب ألا تتعارض هذه النتيجة مع النتائج التي حصلنا عليها سابقا . إذا أصبح المنحني خطا مستقيما يجب أن تؤول الأفكار العامة الجديدة إلى الافكار المألوفة التي استطعنا بواسطتها وصف الحركة الخطية . ولكن هذا الشرط لا يكفي لتعيين التعميم الوحيد المطلوب ، إذ قد يستوفى هذا الشرط بأكثر من طريقة واحدة . وبين لنا تاريخ العلم أن أبسط تعميم ممكن ينجع

في بعض الاحيان ويفشل في احيان أخرى . وتضمن طريقة التعميم الصحيحة في حالتنا الخاصة هذه بسيط لاناية . وسنجد أن الأفكار الجديدة مفيدة للغاية وانها كما تساعد على فهم حركة حجر مقذوف في الهواء تساعد أيضا على فهم حركة الكواكب .

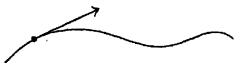
والآن على أي شيء تدل كلمات السرعة ، التنير في السرعة ، القوة ، في الحالة العامة ، أي في حالة الحركة في خط منحني ؟ فلنبدا بالسرعة . يتحرك جسم صلب



الأحيان نقطة مادية . وتبين الدائرة الصغيرة على المنحنى في الشكل السابق موضع النقطة للمادية عند لحظة معينة من الزمن . ماهي السرعة التي تناظر هذا الموضع وهذه اللحظة الزمنية ؟ مرة أخرى يبين دليل جاليليو طريقة لتعريف السرعة ويجب أن نلجأ إلى الخيال مرة أخرى ونفكر في تجربة مثالية . تتحرك النقطة المادية على المنحنى من اليسار إلى اليمين تحت تأثير قوى خارجية فلنتخيل الآن أنه عند لحظة معينة وعند النقطة التي تدل عليها الدائرة الصغيرة ، توقفت جميع هذه القوى عن التأثير . حسب قانون القصور الذاتي يجب أن تصبح الحركة منتظمة نتيجة لذلك . في الحياة العملية يستحيل علينا بالطبع أن نمنع جميع القوى الخارجية من التأثير على جسم ما ويمكننا فقط أن نقول « ماذا يحدث إذا ... ؟ » ونحكم على صحة هذا التفكير بالنتائج التي نحصل عليها منه وباتفاق هذه النتائج مع التجربة .

يبين التوجه في الشكل التالي اتجاه الحركة المنتظمة كما تتصوره على فرض ثلاثي جميع القوى الخارجية وهو اتجاه الاستقيم المسمى بالماس . وإذا نظرنا بالميكروسكوب إلى النقطة المادية المتحركة فإننا لأرى الأجزاء صغيراً جداً من

المنحنى ويظهر هذا الجزء كقطعة مستقيمة صغيرة ، والمماس هو امتداد هذه القطعة



والمتجه المبين يمثل السرعة عند لحظة معلومة ويقع متجه السرعة على المماس. ويمثل طول هذا المتجه القيمة العددية للسرعة كما يبينها عداد السرعة في سيارة مثلا .
يجب ألا ننهم كثيرا بالتجربة المثالية التي نفترض فيها تلاشي القوة لكي نحصل على اتجاه السرعة فهي تساعدنا فقط على فهم ما يجب أن نسميه متجه السرعة وتمكننا من تعيينه عند موضع معين ولحظة معينة .

الشكل التالي يبين متجهات سرعة نقطة مادية تتحرك على منحنى عند ثلاثة مواضع مختلفة : في هذه الحالة يتغير كل من اتجاه السرعة ومقدارها (التي يمثل بطول المتجه) أثناء الحركة .



هل تحقق هذه الفكرة الجديدة عن السرعة جميع ما تتطلبه في التعميمات المختلفة أي هل تؤول هذه الفكرة إلى الفكرة المألوفة للسرعة عند ما يصبح المنحنى خطاً مستقيماً ؟ من الواضح أنها تحقق ذلك . فالمماس لخط مستقيم هو المستقيم نفسه ويقع مشجه السرعة على خط الحركة نفسه كما في حالة العربة المتحركة أو الكرات المتحركة .

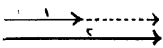
وخطوتنا التالية هي إيجاد معنى التغير في سرعة نقطة مادية تتحرك في منحنى .
يمكن الحصول على ذلك بطرق مختلفة وستختار أبسطها وأنسبها . يبين الشكل السابق عدة متجهات للسرعة تمثل الحركة عند تقاطع مختلفة من المسار ويمكن كما

رأينا من قبل رسم المتجهين الأول والثاني مرة أخرى بحيث يشتركان في نقطة
الابتداء .



يسمى المتجه المثل
بالمقطع « التنير في
السرعة » ونقطة الابتداء
له هي نهاية المتجه الأول
ونهايته هي نهاية المتجه

الثاني . ولأول وهلة قد يظهر تعريف التنير في السرعة هذا كأنه عديم المعنى
ومتكلف . ويزداد وضوح هذا التعريف عندما يكون اتجاه المتجهين (١) ، (٢)
واحداً . ومعنى ذلك طبعا هو العودة إلى حالة الحركة في خط مستقيم . إذا كانت
قطعة ابتداء المتجهين واحدة فإن المتجه المقطع يصل بين نهايتهما أيضا . ويصبح
الرسم في هذه الحالة مطابقا للوجود في (ص ١٢) ونحصل على الفكرة القديمة
كحالة خاصة من الفكرة الجديدة . وقد يكون



من المفيد أن نشير هنا إلى أننا اضطررنا
لفصل بين الخطين في الرسم السابق

لكي لا ينطبقا ويصبح من المستحيل التفريق بينهما .

يبقى علينا الآن أن نخطو الخطوة الأخيرة في عملية التعميم هذه وهي أهم
التعميمات التي فكرنا فيها إلى الآن يجب إيجاد العلاقة بين القوة والتنير في السرعة
وذلك لكي نصوصغ الدليل الذي يمكننا من فهم موضوع الحركة العام .

لقد كان الدليل الذي أدى إلى شرح الحركة في خط مستقيم بسيطا . القوى
الخارجية هي سبب التنير في السرعة ، وإذاً يكون لمتجه القوة نفس اتجاه هذا
التنير . والآن ما الذي سنأخذه كدليل لشرح الحركة في منحني ؟ نفس الشيء
تماما ! والفرق الوحيد هو أن تنير السرعة الآن معنى أوسع من معناه السابق
ونظرة واحدة إلى التجهات المشابهة بمخطوط متقطعة في الشكلين السابقين توضح

هذه النقطة تماما . إذا أعطيت السرعة عند جميع نقط المنحنى فإنه يمكننا على الفور استنتاج اتجاه القوة عند أى نقطة . ويجب رسم متجهى السرعة عند لحظتين متقاربتين جدا وبذلك بناظران موضعين قريبين جدا من بعضهما . واتجه الواصل بين نهاية المتجه الأول إلى نهاية المتجه الثانى يبين اتجاه القوة المؤثرة ولكن من المهم جداً أن تكون الفترة الزمنية بين اللحظتين اللتين تمثل السرعة عندهما بهذين التجهين «صغيرة جداً» والتحليل الدقيق للعبارات التى تامل «قرينة جداً» ، «صغيرة جداً» ليس سهلا على الاطلاق . والواقع أن هذا التحليل هو الذى قاد نيوتن ولينتر إلى اكتشاف حساب التفاضل .

إن الطريق الذى يقودنا إلى تعميم دليل جاليليو متعب للغاية . ولا يمكننا أن نبين هنا كثرة نتائج هذا التعميم وفوائد هذه النتائج . وتطبيق هذا التعميم يقودنا إلى كثير من التفسيرات البسيطة المنفعة لكثير من الحقائق التى كانت مفككة وغير مفهومة قبل ذلك .

من بين الحركات الكثيرة التى لاحظها سنختار أبسطها فقط وتطبق القانون الذى وجدناه الآن فى شرحها .

إذا أطلقت رصاصة من بندقية ، أو قذف حجر فى اتجاه مائل ، أو اندفع ماء من خرطوم ، فإنها جميعاً ترسم مسارات متشابهة ومألوفة لنا . هذه المسارات هى قطاعات مكافئة . تصور عداداً للسرعة مثبتا فى حجر مثلاً ، وذلك لكى تتمكن من رسم متجه سرعته عند أى لحظة . والرسم التالى يبين النتيجة .



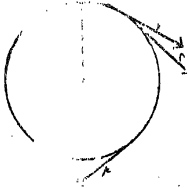
اتجاه القوة المؤثرة على الحجر هو نفس اتجاه التغير فى سرعته ، وقد رأينا كيف نعين هذا الأخير ، والنتيجة المبينة فى ازم التالى توضح أن القوة رأسية

إلى أسفل . ويحدث نفس الشيء في حالة سقوط حجر من قمة برج .
المساران مختلفان وكذلك السرعتان ولكن التنبير في السرعة له نفس الاتجاه ،
وهو نحو مركز الأرض .



إذا ربطنا حجر في نهاية
خيط وجعلناه يدور في مستو
أفق فإنه يتحرك في مسار دائري .

أطوال جميع المتجهات الموجودة في الشكل الذي يمثل هذه الحركة تكون
متساوية إذا كانت القيمة الممدية للسرعة ثابتة وبالرغم من ذلك فإن السرعة
ليست منتظمة . لأن المسار



ليس خطاً مستقيماً ، والحركة
المنتظمة في خط مستقيم هي
الحركة الوحيدة الممكنة حدوثها
دون تأثير قوى ، وفي حالتنا
هذه توجد قوى مؤثرة والذي
يتنبر هو اتجاه السرعة لا قيمتها
وحسب قانون الحركة يتحتم
وجود قوة ما تسبب هذا التنبير،
وهي في هذه الحالة قوة بين الحجر



و بين اليد المسكة بالخيط . ويطرأ السؤال الآتي على

الذهن فوراً : ما هو اتجاه تأثير هذه القوة ؟ مرة

أخرى يعطينا رسم المتجهات الجواب : رسم متجهي

السرعة عند نقطتين قريبتين جداً ومن ذلك نحصل

على التنبير في السرعة . نلاحظ أن هذا المتجه

الأخير له نفس اتجاه الخيط ويكون دائماً عمودياً على اتجاه السرعة أي على المماس .

أي أن اليد تؤثر على الحجر بقوة بواسطة الخيط .

ودوران القمر حول الأرض مثال مشابه للسابق وذو أهمية كبرى . ويمكن

تمثيل هذا الدوران تقريباً بحركة دائرية منتظمة . وتتجه القوة نحو الأرض لنفس السبب الذى كانت القوة من أجله موجهة نحو اليد فى المثال السابق . لا يوجد خيط يصل بين القمر والأرض ولكن يمكننا أن نتخيل خطاً واصلاً بين مركزى هذين الجسمين . تقع القوة على هذا الخط وتكون نحو مركز الأرض ، مثلها فى ذلك مثل القوة المؤثرة على الحجر المقذوف فى الهواء أو الساقط من برج .

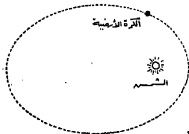
ويمكن تلخيص جميع ما قلناه عن الحركة فى جملة واحدة . القوة والتغير فى السرعة متجهان لها نفس الاتجاه . هذا هو الدليل الأول لمعضلة الحركة ، ولكن من المؤكد أنه لا يكفى لتفسير جميع الحركات التى نراها تفسيراً تاماً . لقد كان التحول من طريقة تفكير أرسطو إلى طريقة تفكير جاليليو من أهم الأسس التى بنى عليها العلم . فبعد هذا التحول أصبح طريق التطورات التالية واضحاً ، والذى يهمنى هنا هو مراحل التطور الأولى ، وتتبع الأدلة الأولى وتوضح كيف نشأ التفكير العلمية نتيجة للصراع العنيف مع الأفكار القديمة . نحن نهتم هنا بالإعمال العظيمة فى العلم فقط . بتل إيجاد طرق جديدة وغير متوقعة للبحث ومثل مخاطر التفكير العلمى التى تخلف صورة دائمة التغير للكون . وتكون الخطوات الأولى الأساسية ذات طابع ثورى دائماً . فالتحليل العلمى يرى أن الأفكار القديمة ضيقة ومحدودة فينيرها بأخرى جديدة ، والإنتاج المستمر حول فكرة موجودة فعلاً يكون دائماً أقرب إلى التطور إلى أن تصل إلى مرحلة معينة فيصبح من الضروري فتح مجال جديد ، ومع ذلك فلسكى نفهم الأسباب والصعوبات التى تسبب تغييراً فى مبادئ هامة يجب علينا أن نعلم الأدلة الأولى وأيضاً النتائج التى يمكن استخلاصها منها .

من أهم مميزات علم الطبيعة الحديث أن النتائج المستخلصة من الأدلة الأولى ليست نوعية فقط بل كمية أيضاً . فلنعتبر مرة أخرى حالة الحجر الساقط من برج قلعة . رأينا أن سرعته تزداد بازدياد المسافة التى يسقطها . ولكننا نريد أن نعلم أكثر من ذلك ، ما هو مقدار التغير فى السرعة ؟ وما هى سرعة وموضع الحجر عند لحظة معينة . بعد بدء الحركة ؟ نريد أن يكون فى استطاعتنا التنبؤ بما سيحدث .

وأن نعين بالتجربة مدى صحة هذا التنبؤ وبالتالي مدى صحة الفروض الأولى .

وللحصول على نتائج كمية يجب استعمال لغة الرياضة . معظم أفكار العلم الأساسية بسيطة في لها وعكس في أغلب الأحيان التعبير عنها بلغة يفهمها الشخص العادي . وتتبع هذه الأفكار يستلزم الإلمام بطرق بحث متقدمة للغاية ، ولكي نستخلص نتائج يمكن مقارنتها بماحصل عليه من التجارب يجب استخدام علم الرياضة كوسيلة منطقية . يمكننا أن نتجنب استعمال لغة الرياضة ما دمنا لانهم إلا بالأفكار الطبيعية الأساسية . وحيث أننا نعمل ذلك باستمرار في هذا الكتاب ، سنضطر في بعض الأحيان أن نكتفي بذكر النتائج الضرورية لفهم الأدلة الهامة التي تنشأ عن التطورات التالية دون ذكر البرهان . والثمن الذي ندفعه لتجنب لغة الرياضة هو نقص في الدقة واضطرابنا في بعض الأحيان إلى ذكر نتائج دون أن نبين كيفية الوصول إليها .

وأحد الأمثلة الهامة هو حركة الأرض حول الشمس . من المعلوم أن المسار هو منحنى مقفل يسمى قطع ناقص . برسم شكل يبين متجهات التغير في السرعة ، نرى أن اتجاه القوة المؤثرة على الأرض هو نحو الشمس . ولكن هذه المعلومة ليست كاملة مطلقاً فنحن نود أن يكون في استطاعتنا أن نعلم موضع الأرض والكواكب



الأخرى عند أي وقت ، ونود أيضاً أن يكون في استطاعتنا التنبؤ بوقت حدوث فترة استمرار الكسوف الشمسي التالي وبكثير من الظواهر الفلكية الأخرى . إن هذا ممكن ولكن ليس على أساس الدليل الأول فقط .

لأنه يتحتم للحصول على المعلومات السابقة معرفة اتجاه القوة وأيضاً قيمتها المطلقة أي مقدارها . ونيوتن هو الذي أتجه الاتجاه الصحيح عند هذه النقطة . وقد كان عمله عظيماً حقاً . فحسب قانون الجاذبية المنسوب له ترتبط قوة الجذب بين جسمين

ارتباطاً بسيطاً بالبعد بينهما . وتصغر القوة عندما يزداد هذا البعد . ولكي نكون أكثر دقة نقول أن القوة تصغر إلى $\frac{1}{X^2} = \frac{1}{X^2}$ قيمتها عندما يتضاعف البعد ، وإلى $\frac{1}{X^3} = \frac{1}{X^3}$ قيمتها عندما يزداد البعد إلى ثلاثة أمثاله .

على ذلك نرى أنه يمكن في حالة قوة الجذب التعبير ببساطة عن الارتباط بين القوة وبين البعد بين الجسمين المتحركين .

تتبع نفس الطريقة في جميع الحالات الأخرى التي تؤثر فيها قوى أخرى مختلفة مثل القوى المغناطيسية والكهربائية وما شابهها ، ونحاول أن نبر بصيغة بسيطة عن القوة ولا نكون محقين في التعبير عن القوة بهذه الصيغة إلا إذا حققنا النتائج المستخلصة منها بالتجربة .

ولكن معرفة قوة الجذب وحدها لا تكفي لتحديد حركة الكواكب: لقد رأينا أن للتجيين الذين يمثلان القوة وتفسير السرعة في فترة زمنية قصيرة يكونان في نفس الاتجاه . يجب الآن أن تتبع نيوتن ونخطو خطوة أخرى فنفترض علاقة بسيطة بين طولي هذين التجيين . تحت نفس الشروط السابقة ، أي إذا اعتبرنا حركة نفس الجسم في فترات صغيرة من الزمن فرأى نيوتن أن التغير في السرعة سيتناسب مع القوة . أي أنه يلزم تخمين فكرتين مكملتين لبعضهما للحصول على نتائج كمية لحركة الكواكب . الفكرة الأولى عامة وهي تعطى العلاقة بين القوة والتغير في السرعة . والثانية خاصة وهي تحدد بالضبط العلاقة بين القوة المؤثرة المعينة وبين البعد بين الجسمين . والفكرة الأولى هي قانون الحركة لنيوتن والثانية هي قانون الجاذبية له أيضا . والفكرتان معاً تعينان الحركة تماما . ويتضح ذلك من المنطق التالي الذي قد يبدو غامضا بعض الشيء . نفرض أننا عند لحظة معينة نعلم موضع وسرعة كوكب وأيضا القوة المؤثرة عليه . باستعمال قوانين نيوتن نستطيع أن نعين التغير في السرعة في فترة زمنية قصيرة . وحيث أننا نعلم الآن السرعة الابتدائية وتغيرها ، يكون في استطاعتنا تعيين موضع وسرعة الكوكب في نهاية الفترة الزمنية . بالتكرار المستمر لهذه العملية ، يمكن الحصول على المسار الكامل للكوكب دون الحاجة إلى أية أحصائيات أخرى من التي نحصل عليها بالمشاهدة

وهذه هي الطريقة النظرية التي تستطيع الميكانيكا بواسطتها أن تتنبأ بسير جسم متحرك ، ولكن يصعب تطبيق هذه الطريقة عمليا . ففي الواقع تكون هذه الطريقة متعبة للغاية وغير دقيقة . ومن حسن الحظ اننا غير مضطرين لاستعمال هذه الطريقة ، فعلم الرياضة يهيء طريقا أقصر يمكننا من وصف الحركة وصفا دقيقا والمجهود المستعمل الذي يبذل في ذلك يكون أقل بكثير من المجهود الذي يبذل في كتابة جملة واحدة . ويمكن التأكد من صحة أو خطأ النتائج التي يحصل عليها من هذا الطريق بالمشاهدة .

القوة التي تلاحظها في حركة الحجر الساقط في الهواء والقوة التي تلاحظها في دوران القمر في مساره هما قوتان من نوع واحد ألا وهو جذب الأرض للأجسام المادية . ولقد أدرك نيوتن أن حركة الأحجار الساقطة وحركة القمر والكواكب ليست إلا ظواهر خاصة لقوة جذب عامة تؤثر بين أى جسمين . في الحالات البسيطة يمكن باستعمال علم الرياضة وصف الحركة والتنبؤ بها . أما في الحالات المعقدة التي تشمل تأثير أجسام كثيرة على بعضها فلا يكون من السهل وصف الحركة رياضيا ولكن تبقى القواعد الأساسية بدون تغير .

نرى الآن أن النتائج التي توصلنا إليها بتتبع الأدلة الأولى صحيحة في حالة حركة الحجر المقذوف وفي حالة حركة القمر والأرض والكواكب .

والذي يجب اختبار صحته بالتجربة العملية هو طريقتنا في التفكير جميعها . ولا يمكن اختبار صحة أى من الفروض على حدة . ولقد نجحت قوانين الميكانيكا هذه نجاحا باهرا في تفسير حركة الكواكب حول الشمس ، ومع ذلك فقد توجد قوانين أخرى مبنية على فروض مختلفة وتنجح أيضا في تفسير ذلك .

أن نظريات علم الطبيعة هي ابتكارات حرة للعقل البشري وليست كما قد يظهره وحيدة ومحدودة تماما بالعالم الخارجي ، ونحن في محاولتنا فهم الحقيقة نشبه رجلا يحاول فهم تركيب ساعة مغلقة . وهو يرى وجهها وعقاربها المتحركة ويسمع أيضا دقاتها ولكنه لا يستطيع فتح صندوقها . وإذا كان الرجل عبقريا فإنه قد يستطيع أن يكون صورة ما لتركيب قد يسبب جميع ما يشاهده به ولكنه لن يكون

بحال من الأحوال متأكدًا من أن هذا هو التركيب الوحيد الذى يسبب مشاهداته ويستحيل عليه أيضا أن يقارن الصورة التى كونها لنفسه بالتركيب الحقيقى ، بل أنه ليتعذر عليه أن يتخيل امكان أو معنى هذه المقارنة . ولكن من المؤكد أنه يمتد أنه كلما زاد من معلوماته كلما أصبحت الصورة التى يكونها عن الواقع بسيطة وكما فسرت هذه الصورة عددا أكبر من مشاهداته . كما أنه قد يمتد فى وجود النهاية المثالية للمعرفة وفى اقتراب العقل البشرى منها . وربما اطلق على هذه النهاية المثالية لفظ الحقيقة الموضوعية .

يقضى دليل آخر :

يهيأ للإنسان عند البدء فى دراسة الميكانيكا ، أن كل شيء فى هذا الفرع من العلوم بسيط وأن مجال البحث فيه قد انتهى ، ويندر أن يفكر الانسان فى وجود دليل هام لم يلاحظه أحد لمدة ثلاثة قرون . ويرتبط هذا الدليل الذى عانى الاهمال بإحدى الأسس الهامة فى الميكانيكا — الكتلة .

ستعود مرة أخرى إلى تجربتنا المثالية البسيطة . حركة عربة على طريق أملس تماما . إذا كانت العربة ساكنة عند بدء الحركة ثم دفعت فلأنها تتحرك بعد ذلك بسرعة منتظمة معينة . نفرض الآن أن من الممكن إعادة هذه العملية بمخذا فبرها أى عدد مطلوب من المرات بحيث تؤثر نفس القوة فى نفس الاتجاه على نفس العربة مهما كان عدد مرات تكرار هذه التجربة فإننا نحصل دائما على نفس السرعة النهائية : ماذا يحدث لو أننا غيرنا التجربة أى ماذا يحدث مثلا لو أن العربة كانت فارغة فى التجربة الأولى ومحملة فى الثانية ؟ تكون السرعة النهائية للعربة المحملة أقل من السرعة النهائية للعربة الفارغة . من ذلك نستنتج أنه إذا أرت قوة واحدة على جسمين مختلفي الكتلة فحركتهما من حالة السكون فإن سرعتيهما الناتجتين لا تكونا متساويتين أى أن السرعة تتوقف على كتلة الجسم وتكون المرحزة أقل إذا كانت الكتلة أكبر .

على ذلك نستطيع ، ولو نظريا ، أن نعين كتلة جسم ما ، أو بمباراة أدق

نستطيع أن نعين النسبة بين كتلة جسم ما وكتلة جسم آخر فإذا كان لدينا قوتان متساويتان تؤثران على كتلتين ساكنتين ، ووجدنا أن سرعة الكتلة الأولى بعد التأثير تساوي ثلاثة أضعاف سرعة الكتلة الثانية فإننا نستنتج أن الكتلة الأولى تساوي ثلث الكتلة الثانية . وطبعاً ليست هذه بطريقة عملية لتعيين النسبة بين كتلتين . ومع ذلك فيمكننا أن نتخيل أننا قد تمكنا من تعيين هذه النسبة إما بهذه الوسيلة أو بأية وسيلة أخرى مبنية على قانون القصور الذاتي .

كيف نقدر الكتل في الحياة العملية ؟ طبعا ليس بالطريقة التي ذكرناها فيها سبق . كل شخص يعرف الإجابة الصحيحة لهذا السؤال ، فنحن نقدر الكتل يوزنها على ميزان .

دعنا نبحث بالتفصيل الطريقتين المختلفتين لتعيين الكتلة .

لا توجد أية علاقة بين التجربة الأولى وبين الجاذبية الأرضية فالعربة تتحرك بعد الدفع على مستوى أفق أملس . وقوة الجاذبية التي تسبب بقاء العربة على المستوى تبقى ثابتة ولا تدخل مطلقاً في تعيين الكتلة . أما حالة الوزن فتختلف عن ذلك . يستحيل علينا استعمال الميزان إذا لم تجذب الأرض الأجسام ، أى إذا لم توجد قوة الجاذبية . الفرق بين طريقتي تعيين الكتلة هو أنه لا علاقة للأولى بقوة الجاذبية بينما أساس الثانية هو وجود هذه القوة .

وتسأل الآن هل نحصل على نفس النتيجة إذا عينا النسبة بين الكتلتين بكل من الطريقتين السابقتين ؟ وتعطينا التجارب إجابة صريحة على هذا السؤال . النتيجة هي نفسها بالضبط في الحالتين ؛ هذه النتيجة التي كان من المستحيل التنبؤ بها مبنية على المشاهدة لاعلى المنطق . دعنا لنفرض التبسيط نسمى الكتلة المعينة بالتجربة الأولى كتلة القصور الذاتي أو الكتلة القاصرة والأخرى المعينة بالتجربة الثانية كتلة الجاذبية . هاتان الكتلتان متساويتان في الكون الذي نعيش فيه ولكن يمكننا أن نتصور إمكان عدم تساويهما وينشأ السؤال الآخر الآتي فوراً : هل تساوى هاتين الكتلتين مجرد صدفة أم له مفرز أعمق من ذلك ؟ يجيب علم الطبيعة الكلاسيكي على هذا السؤال كما يأتي : تساوى هاتين الكتلتين مجرد مصادفة

ولا يوجد أى مغزى له أما إجابة علم الطبيعة الحديث فعكس ذلك تماما : تساوى هاتين الكتلتين شئ ، أساسى يكون دليلا هاما يؤدي إلى فهم أعمق للموضوع . ولقد كان هذا الدليل فى الواقع أحد الأدلة العظيمة الأهمية التى أدت إلى تكوين النظرية المسماة بالنظرية النسبية العامة .

تبدو القصص البوليسية تافهة إذا فسرنا فيها الأحداث الغريبة كصادفات وتكون القصة شيقة أكثر إذا تبعت حوادثها نظاما معينا . بنفس الطريقة تكون النظرية التى تفسر تساوى كتلتى الجاذبية والقصور الذاتى بنظرية التى تجعل من هذا التساوى مصادفة بحتة ، على شرط أن تكون كلاما من النظريتين متفقة مع الحقائق الشاهدة .

حيث أن تساوى كتلتى الثقائل والقصور الذاتى كان ضروريا لتكوين النظرية النسبية ، فإنه يحق لنا أن نبهشها هنا بعمق . ماهى التجارب التى تقنعنا بأن الكتلتين متساويتان ؟ والإجابة هى تجربة جاليليو القديمة . فى هذه التجربة أتى جاليليو كتلا مختلفة من برج فلاحظ أن الزمن اللازم لسقوط كل منها كان واحداً . أى أن حركة الجسم الساقط لا تتوقف على كتلته . لربط هذه النتيجة العملية البسيطة ذات الأهمية البالغة بتساوى الكتلتين نحتاج إلى منطق معقد .

يتحرك جسم ساكن نتيجة لتأثير قوة خارجية ويكتسب بذلك سرعة معينة . وتتوقف سرعته على كتلة قصوره الذاتى فقاومته للحركة تكون أكبر إذا كانت كتلته أكبر . ويمكننا أن نقول دون أن ندعى الدقة : يتوقف تأثير القوى الخارجية على جسم ما على كتلة قصوره الذاتى . إذا كانت الأرض تجذب جميع الأجسام بقوة متساوية ، فلا بد أن يكون سقوط الأجسام التى كتلة قصورها الذاتى كبيرة أبداً من سقوط الأجسام التى كتلة قصورها الذاتى صغيرة . ولكن الحالة تختلف عن ذلك : جميع الأجسام تسقط بنفس الطريقة . وعلى ذلك يتحتم أن تكون قوة جذب الأرض للكتل المختلفة مختلفة . ولكن الأرض تجذب الأجسام بقوة الجاذبية ولا توجد لها أية علاقة بكتلة القصور الذاتى . والقوة التى نسميها قوة جذب الأرض تتوقف على كتلة الجاذبية . ولكن حركة الحجر الناتجة تتوقف على كتلة

القصور الذاتي . وحيث أن هذه الحركة الناتجة عن قوة الجاذبية واحدة دائماً (جميع الأحجار الساقطة من نفس الارتفاع تسقط بنفس الطريقة) ، على ذلك يتحتم أن تكون كتلة الجاذبية هي نفس كتلة القصور الذاتي .

وقد يصوغ عالم الطبيعة القانون السابق في الصيغة النامضة الآتية :

تزداد عجلة الجسم الساقط بازياد كتلة جاذبيته وتناسب معها ، وتتناقص بتناقص كتلة قصوره الذاتي وتناسب معها . وحيث أن جميع الأجسام الساقطة لها نفس النتيجة فيتحتم أن تتساوى الكتلتان . في قصتنا النامضة لا توجد مسائل حلت حلاً كاملاً وانتهى منها إلى الأبد . فبعد ثلاثمائة عام اضطررنا أن نمود إلى مسألة الحركة الأولية وذلك لزاجح طريقة البحث ولنجد أدلة كنا قد أهملناها ، بذلك حصلنا على صورة مختلفة للكون المحيط بنا .

نظرة السبيل للحرارة :

سنبداً هنا في تتبع دليل جديد ينشأ عن ظواهر الحرارة . ومع ذلك فن التعتذر تقسيم العلم إلى أقسام متفرقة لا علاقة بينها . والواقع أننا سنجد أن المبادئ التي سنبجتها هنا وتلك التي درسناها فعلاً والتي سندرسها فيما بعد تكون جميعها شبكة متداخلة . وفي كثير من الأحيان يمكن تطبيق طريقة بحث فرع معين من فروع العلم عند بحث فروع أخرى مختلفة . وفي الغالب تعدل النظريات الأولى بمحيث تقييد في فهم كل من الظواهر الأصلية التي نشأت منها هذه المبادئ والظواهر الجديدة التي تطبق عليها هذه النظريات الآن .

والمبادئ الأساسية التي تلزم لوصف الظواهر الحرارية هي الحرارة ودرجة الحرارة . ولقد استغرق التمييز بين هذين المبدئين زمناً طويلاً في تاريخ العلم يصعب تصديقه ، ولكن سار التقدم بخطى واسعة بعد هذا التمييز . سنبجث هذين المبدئين ونوضح الفرق بينهما ، رغم أنهما الآن شيثان مألوفان لكل إنسان . نستطيع بحاسة اللمس أن نميز الأجسام الساخنة والباردة . ولكن هذا اختبار كوفي فقط لا يكفي لوصف كمي ، بل انه يجلب النمووض في بعض الأحيان ، ويمكن

ملاحظة ذلك بتجربة بسيطة مشهورة . نفرض أن لدينا ثلاثة أواني تحتوي الأولى على ماء بارد والثانية على ماء فاتر والأخيرة على ماء ساخن . إذا غمسنا إحدى اليدين في الماء البارد والأخرى في الساخن فإننا نحصل على رسالة من الأولى تنبئ بالبرودة ورسالة من الثانية تنبئ بالسخونة إذا غمسنا بعد ذلك اليدين معا في نفس الماء الفاتر فإننا نحصل على رسالتين متناقضتين واحدة من كل يد . لنفس السبب يكون رأى أحد رجال الاسكيمو في جو نيويورك في الربيع مختلفاً عن رأى أحد سكان المناطق الحارة ، فالأول يعتقد أنه حار والثاني يظن أنه بارد . نتخلص من هذه المشكلات بواسطة الترمومتر وهو آلة صممها جاليليو في صورة بدائية . هنا أيضاً يقابلنا هذا الإسم المشهور ! ويعتمد استعمال الترمومتر على بعض الفروض الطبيعية الواضحة التي نتذكرها باقتباس أسطر قليلة من محاضرات ألقاها بلاك منذ أكثر من مائة وخمسين عاماً ، وبلاك هو الرجل الذي ساهم بمجهود كبير في التغلب على الصعوبات المتعلقة بفكرتي الحرارة ودرجاتها .

« إذا أخذنا ألفاً أو أكثر من أنواع المادة المختلفة مثل المعادن والأحجار والأملاح والريش والصوف والماء وغيره من الموائع ، وكانت هذه الأشياء ذات حرارات مختلفة مبدئياً ، ثم وضعناها جميعاً في حجرة واحدة لا توجد فيها مدفأة ولا تدخلها الشمس فإن الحرارة تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة وقد يستغرق ذلك مدة ساعات أو يوم ، وإذا استعملنا ترمومتراً في نهاية هذه الفترة ووضعناه على كل من هذه الأجسام فإنه يشير دائماً إلى نفس الدرجة .
وحسب التسمية الحديثة يلزم تغيير الجملة ذات حرارات مختلفة إلى ذات درجات حرارة مختلفة .

وقد يفكر الطبيب الذي يأخذ الترمومتر من فم رجل مريض كما يأتي :
يبين الترمومتر درجة حرارة نفسه بواسطة طول عموده الزئبقي . سنفرض أن طول عمود الزئبقي يزداد بالتناسب مع زيادة درجة الحرارة : ولكن الترمومتر يبقى ملامساً للريض الذي أعالجه عدة دقائق ، فتكون درجة حرارة الترمومتر هي نفس درجة

حرارة المريض . وعلى ذلك استنتج أن درجة حرارة هذا المريض هي التي يسجلها الترمومتر وربما كان الطبيب يعمل بطريقة ميكانيكية ولكنه في الواقع يطبق نظريات طبيعية دون أن يفكر فيها .

ولكن هل يحتوي الترمومتر على نفس مقدار الحرارة الموجودة في جسم الرجل ؟ طبعاً لا . إن اقتراحنا أن الجسمين يحتويان على نفس الكمية من الحرارة نتيجة لتساوي درجتي حرارتهما يكون ، كما أشار بلاك :

« رأياً متسرعاً في الموضوع ، ومعنى ذلك أننا نخرج بين كمية الحرارة الموجودة في جسم وبين شدة هذه الحرارة رغم وضوح أهمها شيئان مختلفان يجب التمييز بينهما عند التفكير في توزيع الحرارة .

يمكننا فهم هذا التمييز بواسطة تجربة بسيطة للغاية . إذا وضعنا رطلا من الماء فوق لبب الناز فإن درجة حرارته تنبهر من درجة حرارة الحجر إلى درجة الفلانيان بعد فترة معينة من الزمن . وإذا استبدلنا هذا الرطل باثنى عشر رطلا من الماء أو أكثر ووضعناها في نفس الإناء وفوق نفس اللهب فإنها تستغرق وقتاً أطول بكثير من الفترة السابقة لكي تصل إلى درجة الفلانيان . هذه التجربة تبين أنه يلزم في الحالة الأخيرة كمية أكبر من « شيء ما » ويسمى هذا « الشيء » حرارة . ونحصل على مبدء آخر ، الحرارة النوعية ، من التجربة الآتية : إذ أحتوى إناء على رطل من الماء وإناء آخر على رطل من الزئبق ومسخن الإناء بنفس الطريقة فإننا نلاحظ أن الزئبق يسخن بسرعة تفوق بكثير السرعة التي يسخن بها الماء . أى أن « الحرارة » اللازمة لرفع درجة حرارة الزئبق درجة واحدة أقل من الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء درجة واحدة وعلى العموم تلزم كميات مختلفة من « الحرارة » لتبهر درجة حرارة الكتل المتساوية من المواد المختلفة (مثل الماء والزئبق والحديد والنحاس والخشب الخ) ، درجة واحدة (من ٤٠ إلى ٤١ فهرنهيت مثلاً) . ونعبر عن ذلك فنقول أن لكل مادة سمعتها الحرارية أو حرارتها النوعية الخاصة بها .

عاشمنا قد توصلنا إلى فهم فكرة الحرارة ، فإنه يمكننا أن نبحث في طبيعتها بالتفصيل لدينا جسمان الأول ساخن والآخر بارد ، أو بعبارة أخرى درجة حرارة الأول أعلى من درجة حرارة الثاني . نزيل جميع المؤثرات الخارجية ونجعل هذين الجسمين يتلامسان . نعلم أن الجسمين يصلان إلى نفس درجة الحرارة بعد مضي فترة من الزمن . ولكن كيف يتم ذلك ؟ ماذا يحدث بين اللحظة التي يبدأ فيها التلامس بينهما وبين اللحظة التي تتساوى فيها درجتا الحرارة ؟ يمكننا أن نتصور أن الحرارة « تنساب » من جسم لآخر كما ينساب الماء من مستو مرتفع إلى مستو منخفض . ورغم بساطة هذه الفكرة فإنها تتفق مع كثير من الحقائق ، ويكون التناظر كما يأتي :

الماء	الحرارة
المستوى المرتفع	درجة الحرارة العالية
المستوى المنخفض	درجة الحرارة المنخفضة

ويستمر الانسياب إلى أن يصبح الارتفاعان ، أي درجتى الحرارة ، متساويين ويمكن بالبحث الكمي الاستفادة من وجهة النظر البدائية هذه . إذ خلطت كتلة معينة من الماء ذات درجة حرارة معلومة بكتلة أخرى معينة من الكحول . في درجة حرارة أخرى (لانسواى درجة حرارة الماء) فن الممكن الحصول على درجة الحرارة النهائية للمخلوط إذا علمت الحرارة النوعية لكل من الماء والكحول . وبالعكس ، إذا علمت درجة حرارة المخلوط النهائية يمكن بعد قليل من العمليات الجبرية الحصول على النسبة بين الحرارة النوعيتين .

تبيين وجود أوجه شبه بين المبادئ المتعلقة بالحرارة التي ندرسها الآن وبين المبادئ الطبيعية الأخرى . فالحرارة من وجهة نظرنا هي جسم سيال كالكتلة في الميكانيكا . وقد تتبر كمية الحرارة أو قد تبقى ثابتة ، مثل المال يمكن إنفاقه كما يمكن حفظه في خزانة وكما أن مقدار المال الموجود في خزانة لا يتغير مادامت هذه الخزانة مغلقة فإن مقدار كل من الكتلة والحرارة في جسم معزول يبقى ثابتا . وزجاجة

الترمس الثالثة تناظر هذه الخزانة . وزيادة على ذلك ، لا يضيع شيئاً من الحرارة حتى لو انساب من جسم لآخر مثلها في ذلك مثل كتلة مجموعة منزلة لا تتغير حتى ولو عانت تحويلاً كيميائياً . وحتى لو استعملت الحرارة في إذابة الثلج مثلاً أو في تحويل الماء إلى بخار بدلاً من استعمالها في رفع درجة حرارة جسم فإننا نستمر في التفكير على أنها جسم سيال وأن الممكن الحصول عليها ثانية بأكملها بتحويل الماء إلى ثلج أو بتحويل البخار إلى ماء والأسماء القديمة مثل حرارة الانصهار الكامنة ، حرارة التبخر الكامنة ، تبين أن هذه الأسس نشأت من التفكير في الحرارة كشيء ذي كيان والحرارة الكامنة هي حرارة مخفية مؤقتاً مثل المال المحفوظ في خزانة النسي يمكن الحصول عليه واستعماله إذا علت كيفية فتح الخزانة .

ولكن من المؤكد أن كيان الحرارة يختلف عن كيان الكتلة . يمكننا أن نستدل على الكتل بواسطة الموازين ، ولكن هل للحرارة وزن ؟ هل يكون وزن قطعة حديد ساخنة إلى درجة الاحمرار أكبر من وزنها وهي باردة كالتلج ؟ تدلنا التجربة على أن قطعة الحديد لها نفس الوزن في الحالتين . إذا كانت الحرارة شيئاً فإنه شيء لا وزن له ، وقد جرت العادة في الماضي على تسمية الحرارة « كالوريك^(١) » وهي أول ما عرف من مجموعة الأشياء التي لا وزن لها . وستسمح لنا فرصة فيما بعد لكي نتتبع تاريخ هذه المجموعة ودراسة كيفية ظهورها وتلاشيها . ونكتفي الآن بملاحظة مولد هذا العضو الخاص من هذه المجموعة .

الغرض من أية نظرية طبيعية هو تفسير أكبر مدى ممكن من الظواهر ، ويعبر وجود نظرية ما مقدرتها على تفسير الحوادث وجعلها مفهومة . لقد رأينا أن نظرية السيل للحرارة تفسر كثيراً من الظواهر الحرارية ، ومع ذلك سيظهر في القريب العاجل أن هذا ليس إلا دليلاً زائفاً ، وأن من المستحيل اعتبار الحرارة شيئاً سيالاً حتى ولو كان هذا الشيء عديم الوزن . ويتضح ذلك من الرجوع إلى بعض التجارب البسيطة التي ميزت بدء الحضارة .

المادة لا يمكن الحصول عليها من اللاشيء ولا يمكن إضاعها ، ولكن

(1). Calorie

الإنسان الأول ولد النار بالاحتكاك وأحرق بها الخشب . وأمثلة التسخين بواسطة الاحتكاك كثيرة جداً ومألوفة بدرجة تنفى عن ذكرها . في جميع هذه الحالات تولد كمية من الحرارة وهي حقيقة يصعب تعليلها بنظرية السعال ، وقد يحاول مؤيدو هذه النظرية تعليل هذه الظاهرة وقد نكون محاولتهم كما يأتي : « يمكن بواسطة نظرية السعال تفسير تولد هذه الحرارة . لنعتبر مثالا بسيطاً ، حالة ذلك قطعة من الخشب بقطعة أخرى منه . ذلك هو شيء يؤثر في الخشب وينير خواصه ، ومن الجائز جداً أن تتمدد هذه الخواص بحيث تنتج درجة حرارة أعلى دون أن تتغير كمية الحرارة نفسها ، ونحن لا نشاهد إلا تغيراً في درجة الحرارة . من الجائز أن الاحتكاك يغير الحرارة النوعية للخشب ولا يؤثر على كمية الحرارة الكلية » .

ولا توجد أية فائدة ترجى من مناقشة مؤيدى نظرية السعال في هذه المرحلة ، وذلك لأنه لا يمكن حسم هذه المسألة إلا بالتجربة . نرض أن قطعتين من الخشب متساويتان من جميع الوجوه ولنتصور أن تغيراً متساوياً قد اعترض درجة حرارتهما بطريقتين مختلفتين ؛ في الأولى بالاحتكاك وفي الثانية بلامسة جسم ساخن مثلاً . إذا كانت الحرارة النوعية لكل من قطعتي الخشب واحدة في درجة الحرارة الجديدة فلا يوجد أى أساس لنظرية السعال . . هناك طرق بسيطة للغاية لتعيين الحرارة النوعية ، ويتوقف مصير النظرية على نتيجة قياس الحرارة النوعيتين السابقتين . وتتكرر الاختبارات التي تستطيع أن تصدر حكماً بالحياة أو الموت على نظرية ما كثيراً في تاريخ علم الطبيعة ، وهي تسمى تجارب حاسمة . والذي يقرر إذا كانت التجربة حاسمة أم لا هو صيغة السؤال نفسه ، ولا يمكن اختبار أكثر من نظرية واحدة بتجربة واحدة من هذا النوع . والتجربة التي نعين فيها الحرارة النوعية للجسمين من نوع واحد وصلنا إلى نفس درجة الحرارة الأول بالاحتكاك والثاني بإنباب الحرارة إليه من جسم آخر هي مثال على هذا النوع من التجارب الحاسمة . وقد أجرى رمفورد هذه التجربة منذ حوالي مائة وخمسون عاماً وبذلك قضى نهائياً على نظرية السعال للحرارة .

ويقص رمفورد قصته فيقول :

« كثيراً ما يحدث في الحياة العملية العادية أن تسنح فرص لدراسة الأمور الطبيعية الغريبة ، وقد يُجرى كثير من التجارب الفلسفية المهمة دون مشقة أو تكاليف وذلك باستخدام الآلات التي صممت لاستعمالها في الفنون والصناعات . وكثيراً ما سئمت لى شخصياً الفرصة بمشاهدة ذلك ، وأنا مقتنع بأن الملاحظة الدقيقة لكل ما يجري في الحياة العملية تؤدي إلى أسئلة مفيدة وإلى طرق للبحث والتحسين أكثر من التي يحصل عليها الفلاسفة في الساعات الطويلة المخصصة لدراساتهم المركزة ، وقد يظهر أننا نحصل على هذه النتائج بمجرد الصدفة أو نتيجة للتخيلات التي يتيه فيها العقل نتيجة لاعتاد الإنسان مشاهدته .

وبينا كنت أشرف منذ فترة وجيزة على صناعة المدافع في المصانع الحربية بميونخ ، أشرت انتباهي درجة الحرارة العالية التي تصل إليها بندقية من البرونز في وقت قصير أثناء غمرها ، وأيضاً الحرارة الشديدة (أعلى بكثير جداً من درجة حرارة الماء المثلج كما وجدت بالتجربة) لشظايا المعدن المتطايرة منها بواسطة الثقاب . من أين تأتي هذه الحرارة التي تظهر في العملية الميكانيكية السابقة ؟

هل تنشأ من شظايا المعدن المنفصلة بواسطة الثقاب من كتلة المعدن الصلبة ؟ إذا كان هذا هو الواقع . فحسب النظرية الحديثة للحرارة الكامنة ونظرية السيال للحرارة يجب أن تتغير الحرارة النوعية ، ويجب أن يكون التغير كبيراً بدرجة تملل وجود كل هذه الحرارة .

والواقع أنه لم يحدث أي تغير ، فقد أخذت كيتين متساويتين من هذه القطع المتطايرة ومن شرائح مصقولة من نفس كتلة المعدن بمنشار دقيق ورفعتها إلى درجة حرارة واحدة (درجة حرارة غايان الماء) ووضعتهما في كيتين متساويتين من الماء البارد (درجة حرارته ٥٩.٤ ف) فلم نلاحظ أي اختلاف بين درجة حرارة الماء الذي وضعت فيه القطعة المتطايرة ودرجة حرارة الماء الذي وضعت فيه شرائح المعدن » .

وأخيراً وصل إلى النتيجة الآتية :

وعند البحث في هذا الموضوع يجب أن تذكر أن منبع الحرارة التي ظهرت بالاحتكاك في التجارب السابقة يظهر كأن من المستحيل استنفاده . ومن الواضح أن الشيء الذي يمكن لجسم معزول ، أو لمجموعة منزلة من الأجسام الاستمرار في منحه دون حد لا يمكن أن يكون شيئاً مادياً . ويظهر لي أن من الصعب جداً إن لم يكن من المستحيل تكوين فكرة واضحة لأي شيء . يمكن إيجاده ونقله بنفس الطريقة التي توجد وتقل بها الحرارة في هذه التجارب ، إلا إذا كان هذا الشيء هو الحركة .

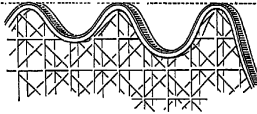
بذلك نرى انهيار النظرية القديمة ، أو بعبارة أدق نرى أن نظرية السبال لا يمكن تطبيقها إلا على مسائل انسياب الحرارة . ويجب علينا الآن (كما لاحظنا ومفرد) أن نبحث عن دليل جديد .

من أجل ذلك سنترك موضوع الحرارة مؤقتاً ونعود إلى الميكانيكا .

عربة المزلهى :

تعال بنا الآن بتتبع حركة تلك اللهاة الشبيهة السماء بـ « عربة اللهاى » . ترفع عربة صخرة أو تدفع إلى أعلى موضع في مسار متموج وعند تركها حرة تبدأ في التدرج تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية فتأخذ في الارتفاع والإنخفاض على خط منحنى شديد الإنحدار يتغير إتجاهه بكثرة ؛ ويمجد الراكب في ذلك لثة كبيرة نتيجة للتغيرات المفاجئة في السرعة . وأثناء الحركة جميعها لا تصل العربة مطلقاً إلى نفس الارتفاع الابتدائى ويصعب وصف الحركة وصفاً كاملاً ، فضلاً عن الجانب الميكانيكى من المسألة ، أى التنير في السرعة والموضع بمضى الزمن ، يوجد الاحتكاك الذى يولد الحرارة على القضبان والعجلات . والمغزى الوحيد لتقسيم هذه العملية الطبيعية إلى هاتين الوجهتين هو التمكن من استعمال المبادئ التى درسناها فيما سبق . ويؤدى هذا التقسيم إلى تجربة مثالية ، إذ أنه من الممكن أن نتخيل العملية الطبيعية التى لا يظهر فيها إلا الجانب الميكانيكى ولكن يستحيل تحقها عملياً .

للحصول على هذه التجربة المثالية ، تتصور أن أحد الأشخاص تمكن من التخلص تماماً من الاحتكاك الذي يصاحب الحركة باستمرار . وأن هذا الشخص قرر أن يطبق اكتشافه على تصميم « عربة ملاحى » . يجب أن يعلم هذا الشخص كيف يصمم مثل هذه العربة . ستسير العربة إلى أعلى وإلى أسفل مبتدئة من نقطة على ارتفاع مائة قدم عن سطح الأرض مثلاً . يكتشف الرجل بعد وقت قصير من التجربة ومن الخطأ ، أنه يتحتم عليه اتباع قاعدة بسيطة لانائية . يستطيع أن يبني الطريق كما يشاء بشرط أن تكون نقطة الابتداء هي أعلى نقطة فيه وإذا كانت العربة ستتحرك حركة حرة إلى نهاية المسار ، يمكن للمهندس أن يجعلها ترفع إلى مائة قدم أى عدد من المرات . ولكن يتحتم إلا تمتدى العربة هذا الارتفاع .



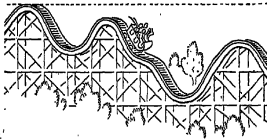
وفي المسار الحقيقي يستحيل على العربة أن تصل إلى ارتفاعها الابتدائي وذلك لوجود الاحتكاك ؛ ولكن يمكن إهمال ذلك في هذه التجربة المثالية .

تبدأ العربة في التدرج من النقطة الأصلية . ينقص ارتفاع العربة عن سطح الأرض كلما تحركت بينما تزداد سرعتها . وقد تذكرنا هذه الجملة الأخيرة لأول وهلة بجملة في أحد دروس اللغة . « لا يوجد معى قلم ولكن يوجد معك ستة برتقالات » ولكن جملتنا ليست بهذه السخافة . لا توجد أية علاقة بين عدم وجود قلم معى وبين وجود ست برتقالات معك ، ولكن يوجد ارتباط واقى بين ارتفاع العربة عن سطح الأرض وبين قيمة سرعتها . ويمكننا إيجاد قيمة سرعة العربة في أية لحظة إذا علم ارتفاعها عن سطح الأرض ، ولكننا لن نتعرض لهذا الموضوع لطابعه الكمى ؛ وأفضل طريقة للتعبير عنه هي بواسطة القوانين الرياضية .

عند أعلى نقطة كانت سرعة العربة تساوى صفراً وكان ارتفاعها مائة قدم .
وفي أسفل نقطة ممكنة يكون ارتفاعها عن الأرض صفراً وسرعتها نهاية عظمى .
يمكن التعبير عن هذه الحقائق بطريقة أخرى . عند أعلى نقطة يكون للعربة « طاقة
وضع » ولا يكون لها « طاقة حركة » وفي أسفل نقطة تكون « طاقة حركتها »
نهاية عظمى « وطاقة وضعها » صفراً . وعند أى نقطة متوسطة حيث يكون للعربة
ارتفاع وسرعة يكون لها طاقة حركة وطاقة وضع أيضاً . وتزداد طاقة الوضع
بازدياد الارتفاع بينما تزداد طاقة الحركة بازدياد السرعة . وتكفي مبادئ الميكانيكا
لشرح الحركة . ويحتوى الوصف الرياضى على تعبيرين للطاقة ، كل منهما يتغير
رغم أن مجموعهما ثابت . وعلى ذلك يكون من الممكن إدخال فكرة طاقة الوضع
التي تتوقف على الوضع وفكرة طاقة الحركة التي تعتمد على السرعة رياضياً وبطريقة
مبسطة . وإدخال هذين الإسمين اختياري طبعاً وهو يتفق مع طبيعة هذين النوعين
المختلفين من الطاقة . ويسمى مجموع هاتين السكيتين ، الذي يبقى ثابتاً ، أحد
ثوابت الحركة .

ويمكن مقارنة الطاقة الكلية (طاقة الحركة وطاقة الوضع) مثلاً بمبلغ ثابت
من المال يتغير باستمرار من عملة لأخرى ، من دولارات إلى جنيهات مثلاً ،
وبالعكس حسب نظام تبادل معين .

وفي عربة اللاهى الحقيقية حيث يمنع احتكاك العربة من الوصول إلى ارتفاع
نقطة الابتداء ، يوجد أيضاً تدهر مستمر فى طاقى الوضع والحركة . ولكن لا يلقى
مجموع الطاقين ثابتاً فى هذه الحالة ولكنه يأخذ فى التناقص .



تتزم الآن ، لربط الميكانيكا والحرارة ، خطوة أخرى جريئة هامة وسنرى فيما بعد كثير ، نتائج وتميمات هذه الخطوة .

لدينا الآن شيء آخر غير طاقى الوضع والحركة وهو الحرارة التى يولدها الاحتكاك . هل تناظر هذه الحرارة التناقص فى الطاقة الميكانيكية أى فى طاقى الوضع والحركة ؟ يبدو أن علينا أن نخمن تخميناً جديداً . إذا نظرنا إلى الحرارة كنوع من أنواع الطاقة ، فكل مجموع هذه الأنواع الثلاث أى طاقة الوضع وطاقة الحركة والحرارة ، يظل ثابتاً . وليست الحرارة نفسها هى التى تشبه المادة فى عدم تلاشيها ، ولكن الحرارة وأنواع الطاقة الأخرى مأخوذة معاً لا تتلاشى مطلقاً . يماثل ذلك حالة رجل يدفع لنفسه عمولة من الفرنكات عن تحويل دولارات إلى جنيهات بحيث يبقى مجموع الفرنكات والدولارات والجنيهات ثابتاً حسب نظام تحويل معين .

لقد حطم تقدم العلم النظرية القديمة التى تقول بأن الحرارة سيال ونحاول الآن الحصول على شيء آخر ، الطاقة ، تكون الحرارة إحدى صوره .

نظام التحويل :

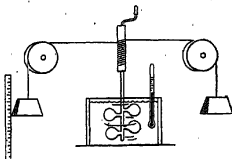
منذ أقل من مائة عام مضت ، خمن ماير الدليل الجديد الذى أدى إلى مبدأ اعتبار الحرارة كإحدى صور الطاقة . وقد حقق جول ذلك بالتجربة . من الصدفة القريبة أن أغلب الأبحاث الأساسية المتعلقة بطبيعة الحرارة قام بها رجال لم يحترفوا العلم بل كانوا ينظرون إلى علم الطبيعة على أنه هواية مفضلة فقط . فالاسكتلندى بلاك كان له أكثر من حرفة واحدة والألماني ماير كان طبيباً ، والسكوت ريمفورد الأمريكى الذى عاش فى أوروبا فيما بعد ، كان منامراً كبيراً وكان جم النشاط وقد أصبح فى وقت من الأوقات وزيراً للحرب فى بافاريا . وهناك أيضاً الإنجليزى جول الذى كان يشتغل بإنتاج الخمر والذى أجرى فى وقت فراغه بعض تجارب فى غاية الأهمية تتعلق بقاعدة بقاء الطاقة .

لقد حقق جول بالتجربة أن الحرارة هى إحدى صور الطاقة كما عين نظام التحويل .

تكون طاقتنا الوضع والحركة لمجموعة معينة الطاقة الميكانيكية للمجموعة ،
وفي حالة عربة الملامى جال بمخاطرنا أن بعض الطاقة الميكانيكية يتحول إلى حرارة .
إذا كان هذا صحيحاً فلا بد وأن يوجد في هذه العملية وفي جميع العمليات المشابهة
نظام معين للتحويل بين هذين النوعين من الطاقة . هذه مسألة رياضية ، ولكن
إمكان تحويل كمية من الطاقة الميكانيكية إلى مقدار معين من الحرارة هو في الواقع
في غاية الأهمية . نود أن نعلم العدد الذي يمثل نظام التحويل ، أى كمية الحرارة .
التي نحصل عليها من مقدار معلوم من الطاقة الميكانيكية .

وكان غرض جول من إبحائه هو تعيين هذا العدد . وتصميم إحدى تجاربه
يشبه كثيراً تصميم ساعة التقل . وعند ملام مثل هذه الساعة يرفع الثقلان وبذلك
تكتسب المجموعة طاقة وضع . وإذا لم تمس الساعة فإنه يمكن اعتبارها مجموعة مقفلة
ولكن الثقلان يسقطان بالتدرج وتسير الساعة . وبعد فترة زمنية معينة يصل
الثقلان إلى أسفل قطعة وتكون الساعة قد توقفت . ما الذى حدث للطاقة ؟ لقد
تحولت طاقة وضع الثقلين إلى طاقة حركة للمجموعة ثم ضاعت بعد ذلك تدريجياً
على هيئة حرارة .

وقد استطاع جول أن يقيس الحرارة المفقودة بجهاز من هذا النوع بعد تغييره
تغييراً يتطوّر على ذلك . وبذلك تمكن جول من تعيين نظام التحويل ، والثقلان
في جهازه يميلان بحجة بدالية تدور وهي مغموسة في ماء . فتحول طاقة وضع



التقلين إلى طاقة حركة للأجزاء القابلة للحركة ثم إلى حرارة ترفع درجة حرارة الماء . وقد ناس جول هذا التنير في درجة الحرارة . وحيث أن حرارة الماء النوعية معلومة فقد تمكن بذلك من حساب كمية الحرارة التي استخدمت في التسخين . وقد لخص جول نتائج محاولاته كالتالي :

أولاً : أن كمية الحرارة الناتجة عن احتكاك الأجسام الصلبة والسائلة يتناسب دائماً مع مقدار القوة (يقصد الطاقة) المبذولة .

ثانياً : أن الحصول على كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل من الماء (موزون في الفراغ ودرجة حرارته بين ٥٥ ، ٦٠) . درجة فرنهيتية واحدة يلزم بذل قوة (طاقة) ميكانيكية تمثل بسقوط ٧٧٢ رطلا مسافة قدم واحد .

وفي صيغة أخرى ، طاقة وضع ٧٧٢ رطل على ارتفاع قدم واحد من سطح الأرض تكفيء الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل من الماء من درجة حرارة ٥٥ ف إلى ٦٦ ف . ولقد أمكن الحصول على نتائج أدق لدرجة ما من التجارب التي أجريت بعد ذلك ولكن الهيكل الأساسي للكافي الميكانيكي للحرارة هو ماوجه جول في عملة الدهش الأول .

ولقد سار التقدم سريعاً بعد الانتهاء من هذا العمل الهام . فلقد تبينا بعد ذلك أن الطاقة الميكانيكية والحرارة هما صورتان من صور الطاقة العديدة . وكل شيء يمكن تحويله إلى إحدى هاتين الصورتين هو أيضاً إحدى صور الطاقة . الإشعاع الناتج عن الشمس طاقة لأن جزءاً منه يتحول إلى حرارة على الأرض . للتيار الكهربائي طاقة لأنه قد يسخن سلكاً أو قد يدير عجلات محرك . والفحم يمثل الطاقة الكيميائية التي تتحرر على هيئة حرارة عندما يحترق الفحم . وفي كل حدث من أحداث الطبيعة تتحول إحدى صور الطاقة إلى صورة أخرى حسب قانون تحويل معين دائماً . وفي حالة مجموعة مقفلة ، أي مجموعة معزولة عن جميع المؤثرات الخارجية تبقى الطاقة محفوظة وبذلك تكون خواصها مشابهة لخواص المادة . ويكون مجموع جميع الأنواع المختلفة للطاقة في هذه المجموعة ثابتاً رغم أنه من الممكن أن يتغير

مقدار أى نوع واحد منها . وإذا اعتبرنا الكون جميعه كجموعه مغلقة يمكننا أن نعلم بفخار مع علماء الطبيعة فى القرن التاسع عشر أن طاقة الكون ثابتة لا تتغير وأن من المستحيل استحداث أى جزء منها أو إضاعته .

ونستطيع إذن أن نميز بين نوعين من الموجودات . المادة كما نعرفها والطاقة . كل من هذين النوعين يتبع قوانين احتفاظ بالذات ، فمن المستحيل أن تتغير الكتلة الكلية أو الطاقة الكلية لجموعه معزولة . المادة لها وزن والطاقة لا وزن لها . أى . أن لدينا نوعين مختلفين من الموجودات ، وقانونى بقاء .

هل ظلت هذه الآراء صحيحة إلى الآن ؟ أم هل تغيرت هذه الصورة - التى تبدو كأنها ذات أساس متين - فى ضوء تطورات أحدث ؟ فى الواقع أنها تغيرت ! وترتبط التغيرات فى هذه البادىء بالنظرية النسبية وسنعود إلى هذه النقطة فيما بعد .

الأساس الفيلسوفى :

تؤدى نتائج البحث العلمى فى كثير من الأحيان إلى تغيير فى النظرة الفلسفية لمسائل تمتد إلى أبعد من مجال العلم الضيق . ماهو هدف العلم ؟ ماهو المطلوب من نظرية تحاول وصف الكون ؟ رغم أن هذه الأسئلة تمتدى حدود علم الطبيعة ، فإن لها علاقة قوية به وذلك لأن العلم هو السبب فى نشأتها . يجب أن نعلم النتائج العلمية فلسفياً . وإذا كون هذا التعميم وقيل على نطاق واسع فإنه يؤدى فى كثير من الأحيان إلى تطورات أخرى فى التفكير العلمى وذلك لأنه يبين أحد الطرق الكثيرة التى يمكن سلوكها . وتؤدى الثورات الناجحة على البادىء المسلم بها إلى تطورات مختلفة تماماً وغير منتظرة . وتصبح هذه التطورات الجديدة منبعا لوجهات نظر فلسفية جديدة . ستبدو هذه الملاحظات فائضة وغير ضرورية إلى أن نوضحها بأمثال من تاريخ علم الطبيعة .

سنحاول هنا وصف الأفكار الفلسفية الأولى عن غرض العلم . لقد كان لهذه الأفكار تأثير قوى على تطور علم الطبيعة إلى أن ظهرت أدلة جديدة (بعد حوالى

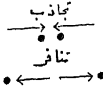
مائة عام) وحقائق ونظريات جديدة كونت أساساً جديداً للعلم وحتمت ترك المبادئ القديمة .

والذي يبحث في تاريخ العلم كله ، من الفلسفة الإغريقية إلى علم الطبيعة الحديث يجد أن المحاولات كانت مستمرة لاختصار تعقد الظواهر الطبيعية إلى بعض المبادئ . والعلاقات الأساسية البسيطة . وهذا هو أساس كل الفلسفة الطبيعية ويبدو هذا واضحاً حتى في عمل علماء الذرة . ومنذ ثلاثة وعشرون قرناً كتب ديموقراط :

« أنها لمسألة اتفاق أن تقول أن شيئاً حلوا أومرا أو ساخنا أو بارداً أو ذلولون معين . أما في الحقيقة فتوجد ذرات وفراغ أى أن الأشياء التي تشعر بوجودها بحواسنا ليست حقيقة كما تمودنا أن نعتبرها . الذرات والفراغ هما الشيطان الحقيقيان فقط » .

وتبقى هذه الفكرة في الفلسفة القديمة تصوراً عبثياً لاغير . فالافريق لم يكونوا يعلمون قوانين الطبيعة التي تربط الحوادث المتتامة . ولم يبدأ العلم الذي يربط بين النظرية والتجربة فعلاً إلا منذ جاليليو . لقد تبيننا الأدلة الأولى التي أدت إلى قوانين الحركة . لقد بقيت القوة والمادة الفكرتان الأساسيتان لجميع المحاولات التي بذلت لفهم السكون في مائتي عام من البحث العلمي . ويستحيل أن نتصور إحدى هاتين الفكرتين بدون الأخرى ، لأن المادة يظهر وجودها كمنبع للقوة بتأثيرها على مادة أخرى .

فلنعتبر الآن أبسط الأمثلة . قطعتان ماديتان وقوى تؤثر بينهما ، وأسهل القوى في التخيل هي قوى الجذب والطرود . وفي كلتا هاتين الحالتين يقع متجه القوة على المستقيم الواصل بين النقطتين اللاديتين . ويؤدي تبسيط الموضوع إلى حالة قطعتين ماديتين



كل منها تجذب أو تطرود الأخرى ، إذ أن أى فرض آخر عن القوى المؤثرة يعطى صورة أكثر تعقيداً . هل يمكننا أن نفرض فرضاً بسيطاً آخر عن طول متجهات القوة ؟ حتى إذا أردنا أن نتجنب الفروض الخاصة إلى حد كبير ، فإنه من الممكن

أن نقول : تتوقف القوة بين أى نقطتين ماديتين على البعد بينهما فقط ، مثل قوى الجاذبية . يبدو هذا بسيطاً . ويمكننا أن نتخيل قوى أكثر تعقيداً من ذلك مثل القوى التي تتوقف على البعد بين النقطتين الماديتين وأيضاً على سرعتيهما . وإذا أخذنا المادة والقوة كمتغيرين أساسيين ، فإن من الصعب تخيل فروض أبسط من القول بأن القوى تعمل في المستقيم الواسل بين النقطتين بأنها تتوقف فقط على البعد بينهما ولكن هل من الممكن وصف جميع الظواهر الطبيعية بدلالة قوى من هذا النوع فقط . ؟

إن نتائج الميكانيكا العظيمة في كل الفروع ، ونجاحها الباهر في تطور علم الفلك وتطبيق مبادئها على مسائل مختلفة ليست لها صلة ظاهرة بالميكانيكا قد ساعدت على الاعتقاد بإمكان اختصار جميع الظواهر الطبيعية إلى قوى بسيطة تعمل بين أشياء لا تتغير . وتظهر هذه المحاولة ، سواء كانت مقصودة أم لا ، في جميع الاكتشافات العلمية التي حدثت في القرنين الذين تليا عهد جاليليو . وقد ذكر هلمهولتز ذلك بوضوح في حوالى منتصف القرن التاسع عشر : « وإذن نكتشف أخيراً أن مشكلة علم الطبيعة المادى هي أن نرجع بالظواهر الطبيعية ثانية إلى قوى جاذبة وطاردة لا تتغير ولا تتوقف شدتها إلا على البعد . ويتوقف فهم الكون على حل هذه المسألة » .

أى أنه حسب رأى هلمهولتز يكون اتجاه تطور العالم محدداً وطريقه معيناً . « وستنتهى رسالته بمجرد أن يتم اختزال الظواهر الأساسية إلى قوى بسيطة وبمجرد أن ثبت أن هذا هو الاختزال الوحيد الممكن لهذه الظواهر » .
تظهر هذه الفكرة كأنها بدائية وسخيفة بالنسبة إلى عالم طبيعة في القرن العشرين فما يجنيه أن يتصور أن من الممكن الانتهاء من مغامرات البحث الكبرى والحصول على صورة ثابتة للكون لا تتغير بمرور الزمن ولا تتغير الأهتمام إن لم تكن خاطئة .

ورغم أن هذه المبادئ تختصر وصف جميع الحوادث إلى قوى بسيطة ، فإنها لا تحدد

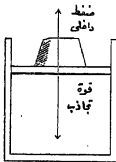
العلاقة بين القوى وبين البعد . ومن الممكن أن تختلف هذه العلاقة باختلاف الظواهر الطبيعية . وطبعاً يكون إدخال أنواع مختلفة من القوى للأحداث المختلفة غير مناسب من وجهة النظر الفلسفية . ومع ذلك فإن هذا الرأى ، المسمى « وجهة النظر الميكانيكية » الذى صاغه هلمهولتز بوضوح ، قد لب دوراً هاماً فى وقته . وتكوين نظرية الحركة للمادة هو أحد النتائج الهامة للاتجاه الميكانيكى . وقبل أن نشاهد زوال هذا الاتجاه ، فلنوافق مؤقتاً على وجهة نظر علماء القرن الماضى ونرى ماذا يمكن استخلاصه من الصورة التى رسموها للعالم الخارجى .

نظرية الحركة للمادة :

هل من الممكن تفسير ظاهرة الحرارة بدلالة حركة جسيمات تتفاعل بقوى بسيطة ؟ نفرض أن لدينا وعاءً مقفلاً يحوى كتلة معينة من غاز ، الهواء مثلاً ، فى درجة حرارة معينة ، بالتسخين ترتفع درجة الحرارة وبذلك تزداد الطاقة . ولكن ماهى علاقة هذه الحرارة بالحركة ؟ إن الذى يحملنا نعتقد فى وجود علاقة بين الحرارة والحركة شيئان ، الأولى وجهة النظر الفلسفية التجريبية المتعرف بها والثانى هو تولد الحرارة بالحركة . إذا كانت جميع المسائل الموجودة فى الحياة مسائل ميكانيكية فلا بد وأن تكون الحرارة طاقة ميكانيكية . والنرض من نظرية الحركة هو التعبير عن المادة بهذه الطريقة . بحسب هذه النظرية نعتبر أى غاز كجموعة كبيرة العدد من الجسيمات أو الجزيئات تتحرك فى جميع الاتجاهات وتتصادم مع بعضها وتغير اتجاه حركتها بعد التصادم . ويجب أن توجد قيمة متوسطة لسرعة الجزيئات كما يوجد سن متوسط أو ثروة متوسطة لمتجمع إنسانى كبير . أى أن هناك طاقة حركة متوسطة لكل جزيء . وإزدياد الحرارة فى الوعاء يعنى زيادة متوسط طاقة الحركة . وحسب هذه الصورة لاتكون الحرارة نوعاً خاصاً من الطاقة يختلف عن الطاقة الميكانيكية وإنما هى طاقة حركة الجزيئات . وينظر كل درجة حرارة معينة متوسط معين لطاقة الحركة لكل جزيء . والواقع أن هذا ليس فرضاً اختيارياً . إذا أردنا تكوين صورة ميكانيكية متأسكة للمادة فإنه يتحتم علينا أن نأخذ طاقة حركة الجزيء كقياس لدرجة حرارة الغاز .

وهذه النظرية ليست إحدى تخيلات العقل فقط . فمن الممكن البرهنة على اتفانق نظرية الحركة للنازات مع التجربة وعلى أنها تؤدي فعلا إلى فهم أعمق للحقائق . ويمكن توضيح ذلك بأمثلة قليلة .

لدينا وعاء مغلق بمكبس يمكنه (أى المكبس) أن يتحرك بحرية . ويحتوى الوعاء على مقدار معين من غاز محفوظ فى درجة حرارة ثابتة . إذا كان المكبس ساكناً عند الابتداء فيمكننا أن نحركه إلى أعلى وإلى أسفل بتقليل أو زيادة الثقل الموضوع عليه . ولنفعل المكبس إلى أسفل يلزم استعمال قوة تعمل ضد الضغط الداخلى للناز . ما هى طريقة عمل الضغط الداخلى حسب نظرية الحركة ؟ تتحرك الجزيئات ذات العدد الهائل التى يتركب منها الناز فى جميع الاتجاهات ، وهى تدق السطوح والمكبس وترتد ثانية (مثل كرات مقذوفة على حائط) . وهذا الدق المستمر بعدد كبير من الجزيئات يحفظ المكبس على ارتفاع معين وذلك بمعادلة قوى الجاذبية التى تؤثر إلى أسفل على المكبس والأنتقال . تؤثر قوة الجاذبية الثابتة فى الاتجاه الأول بينما يؤثر عدد كبير من القوى غير المنتظمة الناتجة من تصادم الجزيئات فى الاتجاه الآخر . إذن لكي يحدث التوازن لا بد وأن تكون محصلة هذا القوى غير المنتظمة مساوية لقوة الجاذبية .



نرض أن المكبس دفع إلى أسفل وأن حجم الغاز نقص نتيجة لذلك إلى جزء كسرى من قيمته الأولى - نصفه مثلا - بينما تبقى درجة حرارته ثابتة . ماذا نتظر أن يحدث حسب نظرية الحركة ؟ هل سيكون تأثير القوى الناتجة عن دق الجزيئات على المكبس أكبر أو أقل من تأثيرها السابق ؟ تقترب الجزيئات الآن من بعضها بدرجة أكبر

منها أولا . ورغم أن قيمة متوسط طاقة الحركة تبقى كما هى فإن عدد مرات تصادم الجزيئات مع المكبس يزداد (فى نفس الفترة الزمنية) وبذلك تكون القوة الكلية أكبر ، واضح من هذه الصورة التى ترسمها نظرية الحركة أنه يلزم وضع ثقل آخر

لكي يبق الكبس متزناً في هذا الوضع المنخفض الجديد . هذه الحقيقة العملية البسيطة مألوفة تماماً ولكن يمكن الحصول عليها منطقياً من نظرية الحركة للمادة . وهناك تجربة أخرى : خذ وعاءين يحتويان على حجمين متساويين من غازين مختلفين الإيدروجين والنيتروجين مثلاً ، في درجة حرارة واحدة . افرض أن الوعاءين مطلقان بمكبسين متماثلين تماماً وأن فوق كلا منهما تقلاً متساوياً . بالاختصار ، هذا يعني أن كلا من الغازين له نفس الحجم ونفس درجة الحرارة ونفس الضغط . حيث أن درجة الحرارة واحدة ؛ ينتج حسب النظرية أن متوسط طاقة الحركة عن الجزيء له نفس القيمة في الحالتين وحيث أن العنظلمين متساويان ، فإن القوة الكلية الناتجة عن تصادم الجزيئات بالكبس تكون لها نفس القيمة في الحالتين . في المتوسط ، يكون لكل جزيء نفس طاقة الحركة وحيث أن لكل من نفس الحجم ، فإنه يتحتم أن يكون عدد الجزيئات الموجودة في كل منهما واحداً رغم أن الغازين مختلفان كيميائياً . لهذه النتيجة أهمية كبرى في فهم كثير من الظواهر الكيميائية وهي تعني أن عدد الجزيئات في حجم معين عند درجة حرارة معينة وضغط معين هو شيء لا يختلف من غاز لغاز وإنما ذو قيمة واحدة لجميع الغازات . ومن المدهش حقاً أنه فضلاً عن أن نظرية الحركة تؤدي إلى وجود هذا العدد فإنها تمكننا أيضاً من تعيينه . وسنعود إلى هذه النقطة في القريب العاجل .

تفسر نظرية الحركة للمادة كياً ونوعياً قوانين الغازات كما وجدت بالتجربة . وفضلاً عن ذلك فالنظرية لا تقتصر على الغازات ولكن نجحها الباهر كان في هذا المجال .

تمكن إرسال الغاز بضغط درجة الحرارة . ومعنى إنخفاض درجة حرارة مادة هو نقص متوسط كمية حركة جزيئاتها . وعلى ذلك يتضح أن متوسط حركة جزيء سائل أقل من متوسط طاقة حركة جزيء الغاز الناظر .

ولقد أزيح الستار عن حركة الجزيئات في السوائل أول مرة بما يسمى

« حركة براون » وهي ظاهرة مذهشة . وبدون نظرية الحركة للادة تظل هذه الظاهرة غامضة وغير مفهومة . وقد لاحظ عالم النبات براون هذه الظاهرة لأول مرة ولم تفسر إلا في بداية القرن الحالى أى بعد ثمانين عاماً .

والجهاز الوحيد الذى يلزم لمشاهدة حركة « براون » هو الميكروسكوب ، وليس من الضروري أن يكون الميكروسكوب المستعمل من نوع ممتاز .

وكان براون يشتغل على حبيبات نباتات معينة أى :

« جسيمات ذات حجم كبير بدرجة غير مأثوفة ويتراوح طول الواحدة من $\frac{1}{2}$ إلى $\frac{1}{100}$ من البوصة . » كما يقول براون . وتقتبس مما كتبه براون :

« عند فحص هذه الجسيمات مغموسة في الماء ، لاحظت أن كثيراً منها يتحرك وبعد إعادة المشاهدة مرات عديدة اقتنعت بأن هذه الحركات لم تنشأ عن تيارات في المائع ولا عن تبخره التدريجى وإنما ترجع إلى الجسيم نفسه . »
والذى لاحظته براون هو الإثارة المستمرة للحبيبات عند ما تنعس في الماء ، ويمكن رؤية ذلك بالميكروسكوب . وأنه لنظر يؤثر في النفس .

هل ترتبط هذه الظاهرة بنبات معين فقط ؟ أجب براون على هذا السؤال بإعادة التجربة على نباتات مختلفة كثيرة ووجد أن جميع الحبيبات المختلفة تتحرك حركة مشابهة . وزيادة على ذلك وجد نفس هذا النوع من عدم الاستقرار لا في جسيمات المواد العضوية فقط وإنما لجسيمات المواد غير العضوية أيضاً . وحتى قطعة منيرة مطحونة من تمثال قديم حققت نفس الظاهرة .

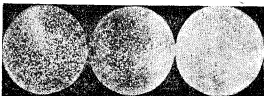
كيف تفسر هذه الحركة ؟ إنها تظهر كأنها تتعارض مع كل ما قبلناه فيما سبق . فملاحظة موضع جسيم معلوم واحد كل نصف دقيقة مثلاً ، تريخ الستار عن مساره العجيب . والشئ الذى يكاد لا يصدق حقاً هو الصفة المستمرة الظاهرة للحركة . إذا وصفنا بندول يتأرجح في ماء فإنه يسكن بعد فترة من الوقت إلا إذا أثرت عليه قوة خارجية أخرى . ووجود حركة مستمرة يبدو متعارضاً مع كل

التجارب السابقة . وتنتلب على هذه الصعوبة بطريقة مدهشة بتطبيق نظرية الحركة للمادة .

إذا استعملنا أقوى الميكروسكوبات التي في حيازتنا ونظرنا إلى الماء فإنه ينعمر علينا رؤية الجزيئات أو حركاتها كما تصورها لنا نظرية الحركة للمادة . وعلى ذلك إذا كانت النظرية التي تنص على أن الماء هو مجموعة جزيئات صحيحة فلا بد وأن يكون حجم هذه الجزيئات أصغر من أصغر حجم يمكن رؤيته بأقوى الميكروسكوبات . بالرغم من ذلك دعنا نعتقد بصحتها وبأنها تعطينا صورة للحقيقة . إن جسيمات براون التي نراها إذا نظرنا بالميكروسكوب تتحرك مندفعة نتيجة لتسلط الجزيئات التي تكون الماء عليها رغم أن حجم هذه الجزيئات أصغر منها . وتنشأ حركة براون إذا كانت الجسيمات المندفعة صغيرة بدرجة كافية . وحركة هذه الجسيمات غير منتظمة لأن تسلط جزيئات السائل عليها غير منتظم ، ولا يمكن إيجاد قيمة متوسطة له نتيجة لعدم انتظامه فالحركة التي نشاهدها هي في الواقع نتيجة للحركة التي يتعدر مشاهدتها . وخواص الجسيمات الكبيرة تعكس إلى حد ما خواص الجزيئات . ويمكن التعبير عن ذلك في صيغة أخرى بأن نقول أن صفات الجسيمات هي صورة مكبرة لصفات الجزيئات بدرجة تجعل في الإمكان ملاحظتها بالنظر في الميكروسكوب ، وخواص مسار جسيم براون غير المنتظم (أي المسار) ، والذي لا يوجد ارتباط بينه وبين الزمن يدل على أن خواص مسارات الجزيئات الصغيرة التي تكون المادة ، تكون غير منتظمة أيضاً بطريقة مشابهة . وعلى ذلك نرى أن الدراسة الكمية لحركة براون تجعل نظرنا يصل إلى أطراف بعيدة من نظرية الحركة . من الواضح أن حركة براون التي نشاهدها تتوقف على حجم وكتلة الجزيئات المتسلطة . ولن تكون هناك حركة ما إذا لم يكن لهذه الجزيئات المتسلطة كمية معينة من الطاقة ، أي إذا لم يكن لها كتلة وسرعة ، لذلك لاندهش إذا علمنا أن دراسة حركة براون قد تؤدي إلى تعيين كتلة الجزيء .

لقد تكونت نظرية الحركة كماً لبحوث نظرية وعملية قاسية والدليل الذي ظهر نتيجة لحركة براون كان أحد الأدلة التي أدت إلى النتائج الكمية ويمكننا

اللوحنة الأولى



(أخذ الصورة ف بيان)

جسيمات براون كما ترى خلال الميكروسكوب



(أخذ الصورة بمرمج وفالبلوف)

أحد جسيمات براون كما صور بتعريض وتغطية سطح



المسار التقريبي مستنتجاً من
هذه الأوضاع المتتالية



أوضاع متتالية لأحد
جسيمات براون

ونلخص ما سبق كما يأتي

« في الميكانيكا يمكن التنبأ بالمسار الذي سيرسمة جسم متحرك إذا علمنا حالته الراهنة والقوى التي تؤثر عليه ، فمثلا يمكننا معرفة المسارات التي ستسير فيها جميع الكواكب في المستقبل . والقوى الفعالة هي قوى نيوتن الجاذبة التي تتوقف على البعد فقط . والتناجح العظيمة للميكانيكا الكلاسيكية تقوى الاعتقاد بإمكان تطبيق وجهه النظر الميكانيكية باستمرار على جميع فروع علم الطبيعة وبأنه يمكن تفسير جميع الظواهر بدلالة قوى تمثل إما الجذب أو الطرد وتتوقف على البعد وتؤثر بين جسيمات لا تتغير .

في نظرية الحركة للمادة ، نرى كيف أن هذا الأنجاه ، الذي نشأ من مسائل ميكانيكية ، يفسر ظاهرة الحرارة ويؤدي إلى رسم صورة ناجحة لتركيب المادة .

الباب الثاني

تداعى وجهة النظر الميكانيكية

- [المانعان الكهربائيان — الموائع المتناطيسية — الصعوبة الجذبة الأولى —
سرعة الضوء — النظرية الجسبية للضوء — لوز اللون — ما هي الموجة؟ —
النظرية الموجية للضوء — هل موجات الضوء طولية أم مستعرضة —
الأثير ووجهة النظر الميكانيكية] .

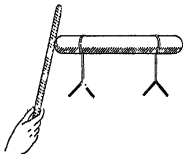
المانعان الكهربائيان :

تحتوى الصفحات التالية على وصف عمل لتجارب في غاية البساطة، مما يسهل على
الأول هو أن وصف التجارب ، دون إجرائها فعلا ، لا يثير الاهتمام ، والثاني
هو أن معنى هذه التجارب لن يتضح حتى تظهره النظرية التي ستصل إليها ، وغرضنا
هو إعطاء مثال جيد يوضح الدور الذي تلعبه النظريات في علم الطبيعة .

١ — قضيب معدني محمول على قاعدة زجاجية ويتصل كل من طرفي القضيب
بواسطة سلك بالكتروسكوب . ماهو الالكتروسكوب ؟ هو جهاز بسيط أجزاءه
الرئيسية هي ورقتان ذهبيتان معلقتان في نهاية قطعة معدنية قصيرة . والمجموعة
محمولة داخل إناء زجاجي بحيث لا يمس المعدن إلا الأجسام غير المعدنية أو المواد
العازلة كما تسمى . فضلا عن الالكتروسكوب والقضيب الزجاجي لدينا قضيب
من المطاط الخشن . وقطعة من قماش الغائلة .

وتجرى التجربة كما يأتي — يتأكد أولا من أن ورقتي الذهب متقاربتان دون
انفراج لأن هذا هو وضعها العادي . إذا فرض أن الورقتين لم تكونا في هذا
الوضع . يمكن إعادتهما إلى الوضع العادي بلمس القضيب المعدني . بعد القيام بهذه
العمليات الأولية ندلك قضيب المطاط بشدة بواسطة قماش الغائلة . ثم نجعله يلامس

المدن . فتفترج الورقتان على الفور . وتبقى الورقتان منفرجتين . حتى بعد إبعاد قضيب المطاط .

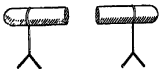


٢ - تجرى تجربة أخرى

باستعمال نفس الجهاز السابق بحيث تكون الورقتان متطبتين عند بدء التجربة . في هذه التجربة نحمل قضيب المطاط يقترب من المدن دون أن يلامسه مرة أخرى فتفترج الورقتان . وإذا

أبعدنا قضيب المطاط عن المدن دون أن يلمسه فإن الورقتين تنطبقان على الفور وتعودان إلى وضعهما العادى على عكس الحالة السابقة التى تبقى فيها الورقتان منفرجتان حتى بعد إبعاد قضيب المطاط .

٣ - في التجربة الثالثة سنحدث تغيراً طفيفاً في الجهاز - نفرض أن القضيب المعدنى يتكون من جزئين متصلين ببعضهما - نذلك قضيب المطاط بقماش القانلة مرة أخرى ، ونقربه من المدن . نشاهد نفس الظاهرة ، أى انفراج ورقتي الذهب فنصل الآن بين جزئى القضيب المعدنى . ثم نبعد قضيب المطاط . نلاحظ أن ورقتي الذهب تبقيان منفرجتين في هذه الحالة بدلا من إنطباقهما كما في التجربة الثانية



يصعب إثارة الاهتمام بهذه التجارب البسيطة الأولى وربما كان الذى يجربها فى المصور الوسطى ينال التأنيب . وهى تبدو لنا مملة وغير منطقية . ويصعب

إعادة هذه التجارب دون لبس بعد قراءة واحدة لهذا الوصف . وقد تفهم هذه التجارب لو علمنا شيئاً عن الموضوع . بل إنه يمكننا أن نقول أن احتمال إجراء مثل هذه التجارب دون فكرة سابقة محددة عن معناها هو احتمال بعيد للغاية .

سنتين الآن الفكرة الأساسية لنظرية بسيطة تفسر جميع الحقائق التي وصفناها
فيما سبق .

. يوجد مائتان كهربائيان يسمى أحدهما موجب (+) والآخر سالب (-) .
وهما يشبهان لحد ما نظرية السيلال التي سبق شرحها فكما في حالة الحرارة يبقى مقدار
هذين المائتين في أية مجموعة معزولة ثابتا رغم ازدياده أو نقصه في أى فرد من أفراد
هذه المجموعة . ولكن يوجد فرق أساسى بين هذه الحالة وبين حالة الحرارة أو المادة
أو الطاقة . لدينا نوعان من السيلال الكهربائى ولا يمكن هنا تشبيه الكهرباء بالعملة
كما فعلنا فيما سبق إلا إذا عمنا هذا التشبيه بعض الشيء . يقال أن جسما متعادلا
كهربائيا إذا كان المائتان الكهربائيان (الموجب والسالب) يلاشى كل منهما الآخر
بالضبط : وإذا كان شخص لا يملك شيئا فإما أن يكون هذا الشخص ليس لديه مال
على الإطلاق وإما أن يكون المبلغ الذى يحفظه في خزائنه يساوى تماما مجموع ما عليه
من الديون ويمكننا مقارنة المبلغ الموجود في خزائنه هذا الشخص بالمائع الكهربائى
الموجب وديونه بالمائع الكهربائى السالب .

والفرض التالى في النظرية هو أن المائتين الكهربائيين اللذين من نوع واحد
يتنافران (يطرد كل منهما الآخر) وإذا كانا من نوعين مختلفين فان كل منهما يجذب
الآخر . ويمكن تمثيل ذلك بالرسم كما يأتى .

ويبقى فرض نظرى ضرورى آخر : يوجد
نوعان من الأجسام ، النوع الأول « الأجسام
الموصلة للكهرباء » يمكن لهذين المائتين الحركة
فيه بحرية ، والنوع الثانى « الأجسام العازلة
للكهرباء » يتعذر على المائتين الحركة فيها .

ويجب ألا يفهم القارىء أن أى جسم هو إما عازل
أو موصل . فالواصل والعازل الثاليلان لا يوجدان إلا في الخيال ولا يمكن الحصول على
أيهما فعلا . فالعازل والأرض وجسم الإنسان كلها توصل للكهرباء ولكن ليس

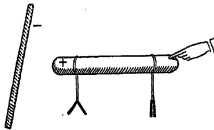
بنفس الدرجة . والزجاج والمطاط والصيني ومماثلها تمزل الكهرباء . أما الهواء فهو يمزل الكهرباء بدرجة محدودة فقط كما يعلم أى شخص يشاهد التجارب التى وصفناها : وقد جرت المادة أن تمزى الناتج السيئة لتجارب الكهرباء الساكنة (التجارب الالكتروستاتيكية) إلى رطوبة الهواء وهو عذر جد مقبول .
تكنى هذه الفروض النظرية لتفسير التجارب التى وصفناها .

١ — قضيب المطاط متعادل كهربائياً فى الظروف العادية مثله فى ذلك مثل جميع الأجسام الأخرى . وهو يحتوى على مقدارين متساوين من المائتين الموجب والسالب . وهذه العبارة اصطلاح محض لأننا نطبق فيها الأسماء التى أوجدتها النظرية لسكى تتسكن من وصف عملية ذلك . ويسمى نوع الكهرباء الذى يزداد مقداره (عن مقدار النوع الآخر) فى قضيب المطاط بعد ذلك سالباً ، ومن المؤكد أيضاً أن هذا الاسم مسألة اتفاق فقط . وإذا دلكتنا قضيباً من الزجاج بفراء قط ، فحسب ما اتفق عليه يكون نوع الكهرباء الزائد موجباً . لنبدأ الآن فى التجربة . نحضر مائماً كهربائياً إلى المعدن وذلك بملاسته للمطاط . وفى المعدن يمكن للمائع الكهربائى أن يتحرك بحرية . وعلى ذلك فإنه ينتشر على سطح المعدن جسيمه بما فيه لإورتقتان الذهبيتان . وحيث أن تأثير الكهرباء السالبة على الكهرباء السالبة هو التنافر فإن كلا من الورقتين تحاول أن تبعد عن الأخرى أكبر مسافة ممكنة وتكون النتيجة هى الانفراج الذى نشاهده . وحيث أن المعدن يستند على زجاج أو أى عازل آخر ، فإن المائع يبقى على الموصل زمناً يطول أو يقصر على حسب — ما تسمح به درجة توصيل الهواء . نفهم الآن لماذا يتحتم لس المعدن قبل البدء فى التجربة . فى هذه الحالة يكون المعدن وجسم الإنسان والأرض موصلاً واحداً هائلاً ، وينتشر المائع الكهربائى على هذا الموصل الهائل ولا يبقى منه شىء يذكر على الالكتروسكوب .

٢ — تبدأ هذه التجربة مثل التجربة السابقة تماماً . ولكن المطاط لا يمس المعدن بل يقترب منه فقط . وحيث أن المائتين الموجودين فى المعدن يمكنهما الحركة بحرية ، فإنهما يتفرقان ويجذب أحدهما بينما يطرد الآخر . ويمتزج المائتان مرة أخرى عندما يبعد قضيب المطاط وذلك لأن المائتين المختلفى النوع يجذب كل منهما الآخر .

٣ - في هذه التجربة تفصل المعدن إلى قسمين وبعد ذلك نعد قضيب المطاط في هذه الحالة يتعد على المائمين أن يمتزجا وعلى ذلك تحتفظ ورقنا الذهب بزيادة من أحد المائمين وتبقيان منفرجتين .

تبدو جميع الحقائق التي ذكرناها فيما سبق مفهومة في ضوء هذه النظرية البسيطة . وتقوم هذه النظرية بأكثر من ذلك ، ففضلا عن الحقائق السابقة ، تمكننا النظرية من فهم حقائق أخرى كثيرة عن الكهرباء الساكنة . الفرض من أية نظرية جديدة هو أن تؤدي إلى اكتشاف ظواهر وقوانين جديدة ، ويتضح ذلك بمثال كالآتي : تصور تنبيراً في التجربة الثانية . افرض أن قضيب المطاط يبق قريباً من المعدن وانك في نفس الوقت تلمس الموصل باصبعك ، ماذا يحدث الآن ؟ وتجبب النظرية على ذلك بأنه يمكن للمائع المطرود (-) أن يهرب عن طريق جسمك وتكون النتيجة أن يبقى مائع واحد هو المائع الموجب . وأوراق



الالكترولوسكوب القريبة من قضيب المطاط هي التي تبقى منفرجة ويمكن التحقق من ذلك بتجربة فعلية .

إذا نظرنا إلى هذه النظرية بمنظار علم الطبيعة الحديث، فنن المؤكد أننا سنجدتها بسيطة بدائية وغير مرضية . وبالرغم من ذلك فهي مثال جيد يبين الخواص التي تتميز كل نظرية طبيعية . ولا توجد نظريات دأمة في العلم فبعض الحقائق التي تتنبأ بها نظرية ما كثيراً ما أثبتت عدم صحتها بالتجربة . ولكل نظرية فترة معينة تنمو فيها تدريجياً وتزدهر ، وقد تتداعى بعد ذلك بسرعة . ونشأة وسقوط نظرية السال

للحرارة هو أحد الأمثلة الكثيرة على ذلك . وسندرس أمثلة أخرى أكثر أهمية وعمقاً فيما بعد .

ويكاد ينشأ كل تقدم علمي عظيم من أزمة في النظرية القديمة وذلك نتيجة للبحث عن مخرج من الصعوبات الموجودة . يجب أن نختبر المبادئ والنظريات القديمة رغم أنها تنتسب إلى الماضي ، لأن هذا هو الطريق الوحيد لفهم أهمية ومدى صحة المبادئ والنظريات الجديدة .

في الصفحات الأولى من هذا الكتاب ، قارنا الدور الذي يقوم به الباحث بعمل المخبر البوليسي الذي يجد الحل الصحيح بالتفكير البحث بعد أن يجمع الحقائق الضرورية . ولكن هذا التشبيه سطحي فقط ولا أساس له . ففي كل من الحياة الواقعية ، والقصص البوليسية تكون الجريمة معروفة . وعلى المخبر البوليسي أن يبحث عن خطابات وبصمات أصابع ورصاص ومسدسات . . ولكنه يعلم تماماً أن جريمة قد ارتكبت . أما حالة العالم فليست كذلك ، وليس من الصعب أن نتخيل شخصاً لا يعلم شيئاً على الاطلاق عن الكهرباء ، فقد عاش أجدادنا حياتهم دون أن يلموعنها شيئاً . لنفرض الآن أن في حوزة هذا الشخص معدن وقصيب من المطاط وقطعة من قماش الفانلة وورقتان من الذهب وزجاجات .. وبالاختصار كل ما نحتاجه لإجراء التجارب الثلاث السابقة ، بالرغم من أن هذا الشخص ذو ثقافة عالية فإنه في الغالب سيستعمل الزجاجات في حفظ الخمر ، وقماش الفانلة في التنظيف ولن يفكر مطلقاً في عمل الأشياء التي وصفناها . أما في حالة المخبر البوليسي فالجريمة معروفة ، أي أن المسألة مصاغة ! من الذي قتل محمد حسن ؟ ويجب على العالم نفسه أن يرتكب الجريمة إلى حد ما ، وأن يقوم بالبحث أينما ، وزيادة على ذلك فإن مهمته ليست مقصورة على تفسير حالة واحدة معينة بل هي تفسير جميع الظواهر التي حدثت والتي قد تحدث فيما بعد .

في المقدمة التي أعطيناها لتوضيح فكرة المائمين ؛ نرى بوضوح تأثير الفكرة الميكانيكية التي تحاول تفسير كل ظاهرة بدلالة المادة وبدلالة القوى البسيطة التي تعمل بينها ، وإذا أردنا أن نبين ما إذا كان من الممكن تطبيق وجهة النظر

الميكانيكية لوصف الظواهر الكهربائية ، فإنه يتحتم علينا دراسة للسألة الآتية :
نفرض أن لدينا كرتين صغيرتين على كل منهما شحنة كهربائية ، أى أن على كل
منهما زيادة معينة من أحد اللاتمين . نعلم أن الكرتين إما أن تتجاذبا أو تتنافرا .
ولكن هل تتوقف إنتوة المؤثرة على البعد فقط ؟ وإذا كان الأمر كذلك فما هى
العلاقة بين القوة والبعد ؟ يبدو أن أبسط تخمين ممكن هو أن العلاقة بين القوة
بين القوة والبعد فى هذه الحالة هى نفس العلاقة بينهما فى حالة قوة الجاذبية التى
فيها على سبيل المثال تنقص القوة إلى تسع قيمتها إذا ازداد البعد إلى ثلاثة أمثاله .
لقد أثبت كولوم صحة هذا القانون بالتجارب التى أجراها . فبعد مائة عام من
اكتشاف نيوتن لقانون الجاذبية وجد كولوم قانوناً مشابهاً يربط بين القوة
الكهربائية والبعد ، وقطعتنا الاختلاف الرئيسيان بين قانونى نيوتن وكولوم هما :

(١) توجد قوى الجاذبية باستمرار بينما لا توجد القوى الكهربائية إلا إذا
كان الجسمان مشحونين بالكهرباء .
(٢) فى حالة الجاذبية توجد قوة جاذبة فقط ولكن القوة الكهربائية قد
تكون جاذبية أو طاردة .

ينشأ هنا نفس السؤال الذى درسناه فى حالة الحرارة : هل للاتمين الكهربائين
وزن أم لا ؟ أو بعبارة أخرى هل وزن قطعة معدنية وهى فى حالة التعادل يساوى
ووزنها وهى مشحونة بالكهرباء ؟ بواسطة الموازين الموجودة لدينا لا تبين أى
فرق فى الوزن فى هاتين الحالتين . وعلى ذلك نستنتج أن اللاتمين الكهربائين
سيالان لا وزن لهما .

يستلزم التقدم فى دراسة نظرية الكهرباء إدخال فكرتين جديدتين . ومرة
أخرى سنتحاشى التعاريف المضبوطة ، مستخدمين بدلا منها طريقة المقارنة بالمبادئ
التي نعرفها جيداً . ونحن نذكر أهمية التمييز بين كمية الحرارة ودرجاتها فى دراسة
ظاهرة الحرارة . يعادل ذلك فى الأهمية ، التمييز بين الجهد الكهربائى والشحنة
الكهربائية . ويتضح الفرق بين هاتين الفكرتين من التناظر الآتى :

درجة الحرارة	الجهد الكهربائى
الحرارة	الشحنة الكهربائية

تقد محتوى موصلان ، كرتان مختلفتا الحجم مثلا ، على شحنتين كهربائيتين متساويتين (أى على زيادة متساوية من أحد المائتين) ولكن جهدهما يختلف ويكون جهد الكرة الصغرى أعلى من جهد الكبرى . ستكون الكثافة السطحية للمائع على الكرة الصغرى أكبر منها على الكرة الكبرى . وحيث أن القوة الطاردة لا بد وأن تزداد بازدياد الكثافة ، فإن الدرجة التى تميل بها الشحنة إلى الهروب تكون أكبر فى حالة الكرة الصغرى منها فى حالة الكرة الكبرى . ويدل ميل الشحنة إلى ترك الموصل على جهد هذا الموصل ، ولكى نبين بوضوح الفرق بين الشحنة والجهد سنصوغ بعض العبارات التى تصف خواص الأجسام الساخنة والعبارات المناظرة فى حالة الموصلات المشحونة بالكهرباء .

الكهرباء

إذا تلامس موصلان وكان جهدهما قبل التلامس مختلفين فإنهما يصلان إلى نفس الجهد بعد فترة زمنية قصيرة جداً .

إذا كان لدينا جسمان مختلفان فى السعة الكهربائية وأعطينا كلا منهما شحنة كهربائية متساوية فإن التغير فى جهدهما يكون مختلفاً .

إذا اتصل الكتروسكوب بموصل فإنه يبين بواسطة انفرجورقتيه الذهبيتين جهد نفسه الكهربائى وبالتالى الجهد الكهربائى للموصل .

الحرارة

إذا تلامس جسمان وكانت درجتا حرارتهما مختلفتين قبل التلامس فإنهما يصلان إلى نفس درجة الحرارة بعد فترة من الزمن .

إذا كان لدينا جسمان مختلفان فى السعة الحرارية وأعطينا كلا منهما مقداراً متساوياً من الحرارة فإن التغير فى درجتى حرارتهما يكون مختلفاً .

إذا لاس ترمومتر جسماً ، فإنه يبين بواسطة طول عموده الزئبقى درجة حرارة الترمومتر وبالتالى درجة حرارة الجسم .

ولكن يجب ألا نذهب بعيداً فى هذا التناظر . والمثال الآتى يبين وجود أوجه اختلاف وأوجه تشابه بين الحرارة والكهرباء . إذا لاس جسم ساخناً

جسماً يارداً فإن الحرارة تسرى من الجسم الساخن إلى الجسم البارد . فترض
أن لدينا موصلين معزولين على كل منهما شحنة متساوية الأولى موجبة والثانية
سالبة . جهدا الموصلين مختلفان . حسب ما اتفق عليه ، يكون جهد الموصل
ذو الشحنة الموجبة أعلى من جهد الموصل ذي الشحنة السالبة . ولكن إذا وصل
الموصلان بسلك فحسب نظرية المائعين الكهربائين تتلاشى شحنة كليهما ، وعلى
ذلك لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي على الإطلاق . يجب أن تتخيل « انسياب »
الشحنة الكهربائية من أحد الموصلين إلى الآخر أثناء الفترة الزمنية القصيرة التي
يتلاشى فيها فرق الجهد . ولكن كيف يكون ذلك ؟ هل ينساب المائع الموجب إلى
الجسم السالب الشحنة ، أم المائع السالب إلى الجسم الموجب الشحنة .

المعلومات المذكورة هنا لا تمكننا من الجزم بأحد هذين الاحتمالين أو بأن
الانسياب يحدث في الاتجاهين في نفس الوقت . والسألة ليست إلا أمراً يتفق
عليه ، ولا يوجد أى مزمى للاختيار لأنه لا توجد لدينا أية طريقة عملية للإجابة
على هذا السؤال . وقد أجابت التطورات التالية ، التي أدت إلى نظرية أكثر تماسكا
للكهرباء على هذا السؤال . وهذه الإجابة تبدو لا معنى لها على الإطلاق إذا صيغت
بدلالة النظرية البسيطة الأولية ، أى نظرية المائعين الكهربائيين . وسنفترض هنا
ما يأتي : ينساب المائع الكهربائي من الموصل ذو الجهد الأعلى إلى الموصل ذو الجهد
الأدنى . وعلى ذلك ففي الحالة الخاصة التي ندرسها تسرى الكهرباء من الموجب
إلى السالب . وهذا التعبير هو مسألة اتفاق فقط وحتى الآن هو اختياري بحث .

وتبين هذه الصعوبة أن التناظر بين الحرارة
والكهرباء ليس كاملاً بأي حال من الأحوال .
لقد رأينا إمكان تطبيق وجهة النظر

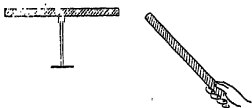
الميكانيكية لوصف الحقائق الأولية في الكهرباء الاستاتيكية . ونفس الشيء يمكن
في حالة الظواهر النماطيسية .



المغناطيسيات :

سنسير هنا بنفس الطريقة السابقة ، فنبداً بحقائق بسيطة للغاية ، ثم نبحث عن تفسيرها النظري .

١ - لدينا قضيبان مغناطيسيان طويلان ، الأول يتحرك بسهولة في مستوى أفقي حول مركزه الثابت والآخر مسموك باليد . تقرب طرفا القضيبين من بعضهما

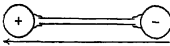


فنلاحظ قوة جاذبة شديدة بينهما . يمكن لإجراء هذه التجربة دائماً . وإذا لم تلاحظ هذه القوة الجاذبية فحاول الطرف الآخر للقضيب المسموك باليد ولا بد أن تلاحظ هذه الظاهرة السابقة إذا كانت القضيبان مغمطين . تسمى نهايتا القضيب قطبيه . لإكمال التجربة السابقة نحرك قضيب المغناطيس المسموك باليد على المغناطيس الآخر . نلاحظ أن قوة الجذب تتناقص إلى أن يصل القضيب إلى منتصف هذا المغناطيس الأخير فلا تشعر بأية قوة جاذبة على الإطلاق . وإذا تحرك القضيب في نفس الاتجاه فإننا نشعر بقوة طاردة تصل إلى نهايتها العظمى عند القطب الثاني للمغناطيس الأفقي .

٢ - تؤدي التجربة السابقة إلى تجربة أخرى . كل مغناطيس له قطبان . هل يمكن عزل أحدهما ؟ الفكرة في غاية البساطة ، يكفي أن نكسر المغناطيس إلى جزئين متساويين . لقد رأينا أنه لا توجد قوة بين قطب المغناطيس الأول ومركز الثاني . ولكن النتيجة التي تحصل عليها من كسر المغناطيس غريبة وغير متوقعة . وإذا كررنا التجربة الأولى على أحد نصفي المغناطيس نحصل على نفس

النتائج السابقة ! يوجد الآن قطب قوى في الموضع الذي لم نلاحظ وجود أية قوة مغناطيسية عنده أولاً .

كيف تفسر هذه الحقائق ؟ يمكننا أن نحاول وضع نظرية للمغناطيسية مشابهة لنظرية الكهرباء السابقة . وذلك لأن قوى الجذب والطرذ تصاحب كلا من الظواهر المغناطيسية والكهربائية . نفرض أن لدينا موصلين كربين عليهما شحنتين كهربائيتين متساويتين في القيمة المطلقة إحداها موجبة والأخرى سالبة ، $+e$ ، $-e$ مثلاً . نفرض أيضاً أن قضيباً عازلاً من الزجاج مثلاً ، يصل بين هاتين

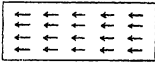


الكربين . يمكن تمثيل هذه المجموعة بسهم متجه من الموصل ذو الشحنة السالبة إلى الموصل ذو الشحنة

الموجبة . تسمى هذه المجموعة مزدوجاً كهربائياً . من الواضح أن مزدوجين كهربائيين من هذا النوع يسلكان نفس سلوك القضيبين المغناطيسيين في التجربة الأولى . وإذا نظرنا إلى هذه المجموعة على أنها تمثل مغناطيسياً حقيقياً فمن الممكن أن نقول (على فرض وجود المائعين المغناطيسيين) أن المائيس ماهو إلا مزدوج مغناطيسي له عند نهايتاه مائعان مغناطيسيان مختلفي النوع .

نستطيع بهذه النظرية البسيطة ، التي حصلنا عليها بتقليد نظرية الكهرباء ، أن نفسر نتائج التجربة الأولى نحصل من هذا التمثيل على قوة جاذبة عند أحد الطرفين وطاردة عن الآخر وعلى قوتين متساويتين ومتعادلتين عند الوسط . ولكن هل نستطيع تفسير نتائج التجربة الثانية أيضاً ؟ بكسر قضيب الزجاج (في حالة المزدوج الكهربائي) نحصل على قطبين متميزين . حسب النظرية الجديدة يجب أن نحصل على نفس النتيجة إذا كسرنا المائيس . ولكن النتائج التي حصلنا عليها من التجربة الثانية تخالف ذلك . يحتم علينا هذا التناقض أن نبحث عن نظرية أفضل . بدلاً من النموذج السابق ، نتخيل أن المائيس مكون من مزدوجات مغناطيسية صغيرة جداً ولا يمكن تفرقة قطبي أي واحد منها بالكسر ، وأجماه جميع هذه المزدوجات واحد هو اتجاه المائيس . يتضح على الفور لماذا يسبب كسر

المغناطيس ظهور قطبين جديدين كما نرى أن هذه النظرية الجديدة توضح حقائق تجريبية ٢٦١ .



وتكفي النظرية الأولى ، دون إدخال أي تعديل عليها ، لتفسير كثير من الحقائق .
فمثلا نعلم أن المغناطيس يجذب قطع الحديد ؟

لماذا ؟ في قطعة الحديد العادية يكون المائمان المغناطيسيان ممتزجين وعلى ذلك لا يكون لها أي تأثير مغناطيسي ، وتقريب قطب موجب من قطعة الحديد يكون بمثابة « أمر بالتفريق » للمائمين ، فيجذب القطب الموجب مائع الحديد السالب ويطرده الموجب . وينتج عن ذلك قوة الجذب بين المغناطيس والحديد . وإذا أبعدنا المغناطيس يعود المائمان إلى حالة تقرب من حالتهم الأولى ، وتمتد درجة اختلاف الحالتين على الدرجة التي يتذكر بها المائمان الصوت الأمر للقوة الخارجية أي على درجة تأثيرهم بالمغناطيس .

ولن نتحدث إلا قليلا عن الجانب الكمي للموضوع . إذا كان لدينا قضبان ممتنطان طويلان فإنه يمكننا بحث تجاذب (أو تنافر) قطبيهما عندما يقترب أحدهما من الآخر . وإذا كان القضبان طويلين بدرجة كافية ، فإن تأثير القطبين البعيدين على بعضهما يكون سميحاً ويمكن إهماله . ماهي العلاقة بين قوة تجاذب أو تنافر القطبين وبين البعد بينهما ؟ لقد أجابت تجربة كولوم على هذا السؤال كما يأتي :
هذه العلاقة هي كما في قانون الجاذبية لنيوتن وقانون كولوم للكهرباء .
الاستاتيكية .

نرى مرة أخرى في هذه النظرية تطبيقاً لوجهة نظر عامة ، ألا وهي : الميل إلى وصف جميع الظواهر بدلالة قوى جاذبة وطاردة تتوقف فقط على البعد بين جسيمات ثابتة لا تتغير وتتؤثر بينها .

وسنشير الآن إلى حقيقة ، معروفة تماما ، وذلك لأننا سنستعملها فيما بعد . وهي أن الأرض هي مزدوج مغناطيسي كبير . ولا يوجد أي شيء يفسر هذه الحقيقة . ويكاد

ينطبق قطبا الأرض الشمالى والجنوبى على قطبيها المغناطيسيين السالب والموجب على الترتيب . وطبعاً ، ليست الأسماء سالب وموجب إلا مسألة اتفاق . ولكن هذه التسمية بعد الاتفاق عليها تمكنا من التمييز بين الأقطاب فى أية حالة أخرى . والابرة المغناطيسية التى تتحرك فى مستواها فى حول منتصفها تطيع أمر القوة المغناطيسية الأرضية . قطبها الموجب يشير نحو قطب الأرض الشمالى أى قطبها المغناطيسى السالب . ورغم أنه يمكننا تطبيق وجهة النظر الميكانيكية باستمرار للظواهر المغناطيسية والكهربائية التى أشرنا إليها هنا فإنه لا يوجد ما يدعو إلى الفخر أو السرور لذلك فمن المؤكد أن بعض نواحي النظرية غير مرضيه إن لم تكن غير مشجعة . فن الضرورى للنظرية إيجاد أجسام سيالة جديدة هى المائمان الكهربائيان والمزدوجات المغناطيسية الأولية . لقد ازداد عدد الأجسام السيالة كثيراً ! .

والتوى التى ظهرت بسيطة ، ويمكن التعبير عن القوى المغناطيسية والكهربائية وقوى الجاذبية بنفس الطريقة . ولكننا ندفع ثمننا غالباً لهذه البساطة ألا وهو إدخال الأشياء السيالة الجديدة والعدمية الوزن . وليست هذه سوى صور مقتلة وغير حقيقية ولا علاقة بينها وبين الأجسام الأصلية وهى المادة .

الصعوبة الجديدة الأولى :

نحن الآن فى حالة تسمح بذكر الصعوبة الجديدة الأولى التى نشأت عن تطبيق وجهة نظرنا الفلسفية العامة . وستثبت فيما بعد أن هذه الصعوبة وأخرى أشد منها هما السبب فى تداعى الاعتقاد بإمكان تفسير جميع الظواهر ميكانيكياً .

لتقديداً التطور العظيم فى الكهرباء كفرع من فروع العلم والهندسة ، باكتشاف التيار الكهربائى . ونجد هنا إحدى اللحظات القلائل فى تاريخ العلم التى تلمب فيها الصدفة دوراً هاماً . وتروى قصة قوة ساق الضفدعة بطرق مختلفة . وبغض النظر عن التفاصيل ، لا يوجد أى شك فى أن اكتشاف جلفانى الذى حدث بالصدفة ، قاد قولنا إلى تصميم ما يعرف ببطارية (عمود) فولتا . ولا يوجد لهذه البطارية أية فائدة عملية الآن ولكنها لازال تعطى مثالا بسيطاً لمصدر تيار كهربائى فى التجارب

المرسية وفي الكتب الدراسية . وفكرة تركيب هذه البطارية بسيطة ، توجد عدة مخبرات تحتوي على ماء مضاف إليه قليل من حامض الكبريتيك وفي كل مخبر توجد قطعتان معدنيتان الأولى من النحاس والثانية من الزنك مغمومتان في المحلول ويتصل لوح النحاس في كل إناء بلوح الزنك في الإناء التالي ؛ أى أن لوح الزنك في الإناء الأول ولوح النحاس في الإناء الأخيرهما اللوحان الوحيدان غير المتصلان . يمكننا أن نستدل على وجود فرق في الجهد الكهربائي بين نحاس الإناء الأول وزنك الإناء الأخير (وذلك باستخدام الكتروسكوب متوسط الحساسية) إذا كان عدد مكونات البطارية ، أى الأوعية التي يحتوي كل منها على لوحى الزنك والنحاس ، كبيراً بدرجة كافية .

لانتبذ بطارية فولتا المكونة من عدة عناصر عن أخرى مكونة من عنصر واحد إلا في سهولة قياس الكميات المتعلقة بها وهذا هو السبب الوحيد الذي من أجله تسكمتنا عن بطارية ذات عناصر كثيرة ، أما فيما يتعلق بمصنوع واحد يكفي تماماً . وجهد النحاس أعلى من جهد الزنك . واستعمال كلمة أعلى هنا يناظر استعمالها عندنا نقول أن $+ 2$ أعلى (أكبر) من $- 2$. إذا اتصل موصل بلوح النحاس وآخر بالزنك فإن كلا من الموصلين يصبح مشحوناً ؛ وتكون شحنة الأول موجبة وشحنة الثاني سالبة . حتى هذه النقطة لم يظهر بعد أى شيء جديد يستحق الملاحظة تقريباً ، ويمكننا محاولة تطبيق أفكارنا السابقة عن فرق الجهد . ولقد رأينا أن الفرق في الجهد بين أى موصلين يتلامس إذا وصلنا بينهما بسلك ، إذ بذلك ينساب مائع كهربائي من أحد الموصلين إلى الآخر . وكانت هذه العملية تشابة عملية تساوى درجتى الحرارة نتيجة لانسياب الحرارة . ولكن هل نحصل على نفس النتيجة في حالة بطارية فولتا ؟ لقد كتب فولتا في تقريره يقول أن اللوحين كانت بهما نفس صفات الموصلات .

« ضعيفا الشحنة يعملان بدون توقف أو أن شحنتهما ترجع إلى قيمتها الأولى بعد كل تفريغ كهربائي أو بمعنى آخر ينتج عن هذا شحنة غير منتهية أو فعلا دائما ينتج - عنه المائع الكهربائي » .

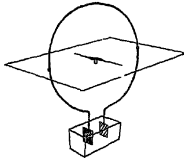
والنتيجة الغريبة لهذه التجربة أنه فرق الجهد بين لوحى النحاس والزنك لا يتلاشى كما في حالة موصلين مشحونين ومتصلين بسلك بل يوجد فرق الجهد باستمرار وحسب نظرية الموائع الكهربائية، لا بد وأن يسبب هذا الفرق في الجهد إنسياباً مستمراً للمائع الكهربائي من الموصل ذو الجهد العالى (لوح النحاس) إلى الموصل ذو الجهد الأدنى (لوح الزنك). لكي نحافظ على نظرية الموائع الكهربائية من الانهيار فنفترض وجود قوة ما ثابتة تؤثر فتوجد فرق الجهد وتسبب انسياب المائع الكهربائي. ولكن الظاهرة كلها مدهشة من ناحية الطاقة إذ تتولد كمية ملحوظة من الحرارة في السلك الذى يحمل التيار لدرجة أن هذا السلك ينصهر إذا كان رقيقاً. وعلى ذلك تتولد طاقة حرارية في السلك. ولكن بطارية فولتا كلها تكون مجموعة مقفلة وذلك لعدم وجود أى مصدر خارجي للطاقة وإذا أردنا أن نحفظ قانون بقاء الطاقة من التداخى، يجب علينا أن نبحت أين يحدث التحويل وعلى حساب ماذا تتولد الحرارة. لا يصعب التحقق من وجود عمليات كيميائية معقدة في البطارية، والمواد التى تتفاعل في هذه العمليات هي الزنك والنحاس والسائل المنعوسين فيه. وهذه هي الكيفية التى تتحول بها الطاقة: طاقة كيميائية ← طاقة المائع للنسب أى التيار الكهربائي ← حرارة. ونتيجة للتغيرات الكيميائية التى تصاحب انسياب الكهرباء تصبح بطارية فولتا غير صالحة للاستعمال بمضى الوقت.

والتجربة التى كشفت فعلا عن الصعوبات الكبرى في تطبيق الأفكار الميكانيكية لا بد وأن تبدو غريبة على أى شخص يسمع عنها للمرة الأولى. وقد أجرى أوردستن هذه التجربة منذ مائة وعشرون عاماً، وجاء في تقريره ما يأتي:

يمكن البرهنة بهذه التجارب على أن الإبرة المغناطيسية تحركت نتيجة لجهاز جلفانى، وذلك عند ما أطفئت الدائرة الجلفانية وليس عند فتحها، كما حاول بعض علماء الطبيعة الأفاضل دون جدوى منذ عدة سنين مضت.»

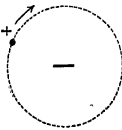
نفرض أن لدينا بطارية فولتا وسلك موصل. وإذا وصلنا السلك إلى لوح النحاس فقط فإنه يوجد فرق في الجهد ولكن لا يوجد تيار. نفرض أن السلك نثني بحيث

يكون دائرة وأنه توجد إبرة مغناطيسية عند مركز السلك وفي مستويه . لا يحدث أى شيء مادام السلك لا يمر لوح الزنك . لا توجد أية قوة مؤثرة ، أى أن فرق الجهد ليس له أى تأثير على وضع الإبرة . أن من الصعب فهم لماذا توقع بعض « علماء الطبيعة الافئذ » . كما سببهم أوردتد ، مثل هذا التأثير .



لنصل السلك الآن بلوح الزنك . يحدث شيء غريب على الفور . تدور الإبرة المغناطيسية وتأخذ وضعاً مخالفاً لوضعها الأول . وإذا كان هذا الكتاب هو مستوى السلك فإن أحد قطبي الإبرة يشير الآن إلى القاري . والذي نلاحظه هو تأثير قوة على القطب المغناطيسي . وتؤثر هذه القوة في اتجاه عمودي على الدائرة . وبمواجهة حقائق هذه التجربة يصعب أن نتحاشى استنتاج اتجاه القوة المؤثرة . هذه التجربة جديرة بالاهتمام لأنها تبين العلاقة بين ظاهرتين مختلفتين هما المغناطيسية والتيار الكهربائي . ويوجد سبب آخر أقوى لأهمية هذه التجربة . لا يمكن أن تقع القوة التي تعمل بين القطب المغناطيسي والأجزاء الصغيرة للسلك الذي يمر فيه التيار على الخطوط الواصلة بين الإبرة والسلك ، أى لا يمكن أن تكون خطوط عمل القوة هي الخطوط الواصلة بين المزدوجات المغناطيسية الأولية وبين جسبات التيار النسب . فالقوة عمودية على هذه الخطوط ! ولأول مرة تظهر قوة تختلف تماماً عن القوى التي قصدنا ، من وجهة النظر الميكانيكية ، أن نسب إليها جميع الأحداث في العالم الخارجي . ونحن نذكر أن قوة الجاذبية والقوى المغناطيسية والكهربائية تتبع قانوني نيوتن وكولوم وتؤثر في المستقيم الواصل بين الجسمين المتجاذبين (أو المتنافرين) .

وقد زادت هذه الصعوبة وضوحاً بتجربة أجراها رولاند بمهارة منذ ستين عاماً ، وإذا تركنا التفاصيل الفنية جانباً فإنه يمكن وصف هذه التجربة كما يلي : تخيل كرة صغيرة مشحونة بالكهرباء . تخيل أيضاً أن هذه الكرة تتحرك بسرعة كبيرة في دائرة يوجد عند مركزها إبرة مغناطيسية . أساس هذه التجربة هو نفس أساس تجربة أوردستد والفرق الوحيد هو أننا نستعاض عن التيار بحركة ميكانيكية للشحنة الكهربائية . وجد رولاند أن النتيجة تشابه النتيجة التي نحصل عليها عندما يمر تيار في سلك دائري أى أن المغناطيس ينحرف بتأثير قوة عمودية . لنفرض الآن أن الشحنة تتحرك بسرعة أكبر . نتيجة لذلك تزداد القوة التي تؤثر على القطب المغناطيس وبذلك يزداد الانحراف عن الوضع الأصلي . تبين هذه النتيجة صعوبة أخرى . ففضلاً عن أن القوة لا تؤثر في الخط الواصل بين



الشحنة والمغناطيس فإن شدتها تتوقف على سرعة الشحنة . لقد بنيت وجهة النظر الميكانيكية جميعها على الاعتقاد بأن جميع الظواهر يمكن تفسيرها بدلالة قوى تتوقف على البعد فقط وليس على السرعة . ومن المؤكد أن نتيجة تجربة رولاند ترمز على هذا الاعتقاد .

ومع ذلك فربما نكون من المحافظين ونحاول أن نبعث عن حل لا يتعارض مع المبادئ السابقة .

كثيراً ما تنشأ في العلم صعوبات مفاجئة وغير منتظرة مثل الصعوبات السابقة ، وهي تضع بذلك عقبات في طريق التطور الناجح لنظرية ما . وفي بعض الأحيان يبدو أن إدخال تعميم بسيط على الأفكار القديمة قد يخلصنا من هذه الصعوبات ولو بصفة مؤقتة . فثلاً قد يبدو في الحالة الحاضرة أن تدخل قوى أخرى عامة تؤثر على الجسيمات الصغيرة . ومع ذلك فكثيراً ما يصعب ترقيع نظرية قديمة ، وتؤدي الصعوبات إلى القضاء على النظرية القديمة ونشأة أخرى جديدة . ولم يكن ساوك الابرة المغناطيسية هو العامل الوحيد في سقوط النظريات الميكانيكية التي (م - علم الطبيعة)

كانت تبدو ناجحة وذات أساس متين . فقد ظهر هجوم شديد آخر من ناحية أخرى مختلفة تماماً . ولكن هذه قصة أخرى سنتقصها فيما بعد .

سرعة الضوء :

في كتاب «علمان جديديان» لجاليليو ، معادثة بين الأستاذ وتلاميذه موضوعها سرعة الضوء :

ساجريديو : ولكن ماهو نوع سرعة الضوء هذه وبأية درجة هي كبيرة ، هل هي آنية أم لحظية أم تحتاج إلى وقت مثل أية حركة أخرى ؟ وهل يمكن تحديد الاجابة على هذه الأسئلة بالتجربة ؟

سيمبليكو : تبين جميع المشاهدات اليومية في الحياة العملية أن انتشار الضوء آنى ، وذلك لأننا نرى لهب قذيفة المدفع على بعد كبير دون مضي أى وقت ولكن دوجها لا يصل إلى الأذن إلا بعد فترة زمنية ملحوظة .

ساجريديو : حسناً ياسمبليكو . النتيجة الوحيدة التى يمكننى استنتاجها من هذه التجربة اللؤلؤفة هي أن صوت القذيفة يصل إلى الأذن بسرعة أصغر من التى يصل بها الضوء إلى العين ، ولكنها لاتبين ماذا كان وصول الضوء آنى أم أنه يحتاج إلى وقت رغم أنه سريع جداً ...

سالقانى : لقد قادتني النتائج البسيطة لهذه المشاهدات وما ماتلها إلى تصميم طريقة يمكن بواسطتها التأكد مما إذا كانت آنية حقاً . . .
ويأخذ سالقانى في شرح طريقة تجربته . ولكي نفهم فكرته سنفرض أن سرعة الضوء صغيرة فضلاً عن فرضنا أنها محدودة ، أى أننا سنفترض أن حركة الضوء قد أبطلت مثل حركة فلم سينمائي بطيء . رجلان أ ، ب يحمل كل منهما مصباح منطى ويقفان على بعد ميل من بعضهما . يضىء الرجل الأول ا مصباحه . لقد اتفق الرجلان على أن يضىء ب مصباحه عند اللحظة التى يرى فيها ضوء مصباح ا . لنفرض في « حركتنا البطيئة » أن الضوء يسير مسافة قدرها ميل في الثانية الواحدة . يرسل ا اشارته برفع النطاء عن مصباحه . يرى ب هذه الإشارة

بعد مرور ثانية واحدة ويجيبها برفع الغطاء عن مصباحه . ولا تصل إشارة ب
إلى إلا بعد مرور ثابنتين من إعطائه (أى ا) إشارته . أى أنه إذا كان الضوء
يسير بسرعة ميل في الثانية فإنه يتحتم أن تمضي ثابنتان بين اللحظة التي يرسل
فيها ا إشارته واللحظة التي يرى فيها إشارة ب ، على فرض أن ب يعد عن ا
مسافة قدرها ميل واحد . وبالعكس إذا كان ا يبجهل سرعة الضوء ولكنه
يفترض أن زميله قد حافظ على الاتفاق السابق وإذا رأى إشارة ب بعد ثابنتين
من لإرسال إشارته فإنه يستنتج أن الضوء يسير بسرعة ميل في الثانية .

وكان احتمال استطاعة جاليليو تعيين سرعة الضوء بهذه الطريقة ضعيفاً جداً
وذلك لسوء حالة الوسائل والأجهزة اللازمة للتجارب العملية في ذلك الوقت .
ولو كانت السافة ميلاً واحداً لوجب عليه أن يقيس فترات زمنية صغيرة مثل
 $\frac{1}{10}$ من الثانية !!

ولقد صاغ جاليليو مسألة تعيين سرعة الضوء ولكنه لم يحلها . وفي أغلب
الأحيان تكون صياغة السؤال أهم من حله ، فقد لا يعتمد الحل إلا على مهارة
رياضية أو تجريبية . وتحتاج صياغة الأسئلة الجديدة أو إثارة الاحتمالات الجديدة
أو النظر إلى المسائل القديمة من وجهة نظر جديدة إلى خيال ممتاز وتفكير مبدع
وهي تسجل تقدماً حقيقياً للعلم بالتفكير في تجارب وظواهر معلومة تفكيراً
جديداً والنظر إليها من وجهات أخرى حصلنا على قاعدة القصور الذاتي وقانون
بقاء الطاقة . وسيجد القارئ في الصفحات التالية أمثلة عديدة من هذا النوع
حيث تبدو أهمية النظر في الحقائق المعروفة من وجهة نظر جديدة وحيث بذلك
تنشأ نظريات جديدة .

نعود الآن إلى المشكلة السهلة نسبياً ألا وهي تعيين سرعة الضوء . إن من
الغريب حقاً أن جاليليو لم يدرك أن من الممكن أن يقوم رجل واحد بإجراء هذه
التجربة بسهولة ودقة . ففي استطاعة الرجل استعمال مرآة في نفس المكان الذي
يقف فيه زميله بدلاً من هذا الزميل . فالرآة تعيد الإشارة أوماتيكياً بمجرد
وصولها .

وبعد حوالي مائتين وخمسين عاماً استعمل فيزو نفس هذه الفكرة ، وهو أول من عين سرعة الضوء بتجارب أجريت على سطح الكرة الأرضية . ولقد عين رومر سرعة الضوء قبل فيزو بكثير باستخدام مشاهدات فلكية ، ولكن النتيجة التي حصل عليها فيزو أدق من التي حصل عليها رومر .

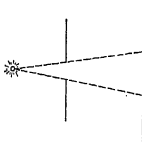
من الواضح أنه نتيجة لكبر سرعة الضوء الهائل ، نازم لقياسها مسافات كبيرة يمكن مقارنتها بالبعد بين الأرض وأحد كواكب المجموعة الشمسية مثلاً ، أو باستعمال أجهزة علمية بعد تحسينها وزيادة درجة دقتها زيادة كبيرة . وقد استعمل رومر الطريقة الأولى وفيزو الطريقة الثانية . ولقد عين العدد الكبير الذي يمثل سرعة الضوء عدة مرات بعد هاتين التجربتين ، وكانت درجة الدقة تزداد كل مرة . وقد اخترع ميكلسون طريقة دقيقة للغاية لتعيين سرعة الضوء في القرن الحالى . ويمكن التعبير عن نتيجة هذه التجارب كما يأتي : سرعة الضوء في الفراغ تساوى :

١٨٦٠٠٠ ميل في الثانية تقريباً أو ٣٠٠٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية .

النظرية الجبسية للضوء :

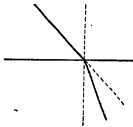
مرة أخرى نبدأ ببعض الحقائق العملية . العدد الذي أعطيناه فيما سبق هو سرعة الضوء في الفضاء الخالى . إذا لم يقابل الضوء عقبات فإنه يسير في الفضاء الخالى بهذه السرعة . والملاحظ أننا نستطيع الرؤية خلال وعاء زجاجى مفرغ من الهواء كما يمكننا رؤية الكواكب والنجوم والسدم رغم أن الضوء يصل إلينا من هذه الأجسام مغترقاً الأثير . وإن إمكان الرؤية خلال وعاء زجاجى سواء أكان بها هواء أم لا ، يبين أن وجود الهواء لا أثر له . ولهذا السبب يمكننا إجراء التجارب الضوئية في حجرة عادية كما لو كانت مفرغة من الهواء دون أن يؤثر ذلك في النتيجة . وإحدى الحقائق الضوئية البسيطة هي أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة . ومنصف تجربة أولية بسيطة توضح ذلك . توضع ستارة بها ثقب أمام نقطة ضوئية . والنقطة الضوئية هي مصدر ضوئى منبهر جداً مثل فتحة صغيرة . في غطاء مصباح . وإذا كان هناك حائط على بعد من الستارة فإن الثقب الموجود

تجها يظهر على الحائط كدائرة مضيئة وسط ظلام ، والرسم التالي يبين العلاقة بين هذه الظاهرة وبين سير الضوء في خطوط مستقيمة . ويمكن بفرض أن الضوء يسير في الفراغ أو في الهواء في خطوط مستقيمة تفسير جميع الظواهر المشابهة التي يظهر فيها الضوء والظل وأشباه الظلام .



لنعتبر الآن مثالا آخر وهو عند ما يسير الضوء خلال مادة . نفرض أن لدينا شماعاً ضوئياً يتحرك في الفراغ ويقابل سطحاً من الزجاج ولتساءل ماذا يحدث في هذه الحالة ؟ والجواب أنه إذا كانت قاعدة سير الضوء في خطوط مستقيمة

صحيحة أيضاً في هذه الحالة فإن مسار الشماع يكون ممثلاً بانحنى التقطع وفي الواقع أن المسار ليس كذلك . يوجد انكسار في المسار كما هو موضح في الشكل ،

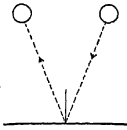


والذي تشاهده هو في الواقع الظاهرة السماة بالانكسار . إذا غمست عصاة في ماء فإنها تظهر كأنها مثنية عند وسطها ، وليست هذه سوى إحدى صور الانكسار العديدة .

تبين هذه الحقائق أن في الإمكان تكوين نظرية ميكانيكية بسيطة للضوء ،

وغيرنا هنا هو أن نبين كيف وجدت السميات « السيال والجسيمات والقوى » طريقها إلى مجال الضوء وكيف أنهارت الفكرة الفلسفية القديمة في النهاية . وتظهر النظرية هنا في صورة بدائية بسيطة . لنفرض أن جميع الأجسام المضيئة تشع جسيمات تقابل العين فتولد إحساساً للضوء . ولقد تعودنا إذا زم الأمر أن ندخل أنواعاً جديدة من المادة للحصول على تفسير ميكانيكي وعلى ذلك فإننا سنقوم بذلك هنا دون تردد . في الفراغ الخالي لا بد وأن تتحرك هذه الجسيمات في خطوط

مستقيمة بسرعة معلومة . وبذلك تصل إلى العين رسالة من الأجسام المشعة .
وجميع الظواهر التي تنتج عن سير الضوء في خطوط مستقيمة تؤيد نظرية الجسيمات ،
وذلك لأن هذا النوع من الحركة بالذات قد أدخل خصيصاً للجسيمات . والنظرية
تفسر أيضاً وبسهولة انعكاس الضوء على المرايا ، كما هو مشاهد في التجربة الميكانيكية
التي يلي فيها بكرات مرنة على حائط والرسم التالي يوضح ذلك .



وتفسير ظاهرة الانكسار أصعب من ذلك
بقليل . وسنبين إمكان التفسير الميكانيكي دون
الدخول في التفصيلات . إذا سقطت الجسيمات على
سطح من الزجاج مثلاً فربما تؤثر عليها جزيئات
المادة بقوة تؤثر (مع غرابة ذلك) في الجوار المباشر
للمادة فقط . وكما نعلم ، كل قوة تؤثر على نقطة
متحركة تغير سرعتها . وإذا كانت القوة المحصلة التي تؤثر على جسيمات الضوء
هي قوة جاذبة عمودية على سطح الزجاج . فإن خط الحركة الجديد يكون واقعاً
بين خط الحركة الأول وبين العمودي على السطح . يبدو أن هذا التفسير يؤدي
نظرية الجسيمات للضوء . ومع ذلك فلتحديد فائدة هذه النظرية ومدى صحتها ،
يتحتم علينا أن ندرس حقائق جديدة أكثر تعقيداً .

لغز اللزج :

مرة أخرى كانت عبقرية نيوتن هي التي فسرت لأول مرة كثيرة الألوان
في السكون . وفيما يلي نقف عن نيوتن وصفاً لإحدى تجاربه :

« في عام ١٦٦٦ (وهو الوقت الذي اشتغلت فيه بصقل زجاجات ضوئية ذات
سطح غير كروي) استعملت منشوراً ثلاثياً من الزجاج لدراسة ظاهرة الألوان
المشهوره . وقد أخذت حجرتي وقت بعمل ثقب صغير في النافذة وذلك لأحصل
على كمية مناسبة من ضوء الشمس . وقد وضعت المنشور عند مصدر الضوء بحيث
ينكسر الضوء ويعمل إلى الحائط المقابل .

ولقد سررت لرؤية الضوء المنكسر الناتج ذى الألوان الزاهية القوية .

وضوء الشمس « أبيض » ولكن بعد المرور خلال المنشور يتحول ضوء الشمس « الأبيض » إلى جميع الألوان الموجودة فى الكون . والطبيعة نفسها تعطينا نفس النتيجة فى قوس قزح الجميل . ومنذ قديم الأزل توجد محاولات لتفسير هذه الظاهرة ، والعقبة الموجودة فى الأنجيل التى تقول بأن قوس قزح هو توقيع الله على مهادنة مع الإنسان هى « نظرية » من وجهة نظر معينة ، ولكنها لا تفسر لماذا يتكرر قوس قزح من وقت لآخر عند زول المطر . ونيوتن هو أول من عالج لنز اللون بأكمله وبطريقة علمية كما أشار إلى حله فى عمله العظيم .

يكون أحد حدّى قوس قزح دائماً أحمر بينما يكون الآخر بنفسجياً وبين هذين اللونين توجد جميع الألوان الأخرى بترتيب معين . وتفسير نيوتن لهذه الظاهرة هو ما يأتى : توجد جميع الألوان فعلا فى الضوء الأبيض . وهذه الألوان تنتقل جميعها بين الكواكب وفى الجو متحدة ببعضها فيكون لها تأثير الضوء الأبيض ، ويمكننا أن نقول أن الضوء الأبيض هو مزيج من جسيمات مختلفة تناظر ألواناً مختلفة . وفى التجربة التى أجراها نيوتن ، يشتت المنشور هذه الألوان المختلفة فى الفضاء . حسب النظرية الميكانيكية للضوء يكون السبب فى الانكسار هو قوى تنتج عن جزيئات الزجاج وتؤثر على جسيمات الضوء . وتختلف القوى التى تؤثر على الجسيمات التى ننسب إلى الألوان المختلفة ، فتكون أشد ما يمكن للون البنفسجى وأضعف ما يمكن للون الأحمر . وعلى ذلك تأخذ الألوان المختلفة مسارات مختلفة بعد انكسارها وتنفرد عند ما يترك الضوء المنشور . وفى حالة قوس قزح تقوم قطرات الماء بعمل المنشور .

لقد أخذت النظرية الجسيمية للضوء صورة أكثر تعقيداً من صورتها الأولى، فبدلاً من نوع واحد فقط لدينا الآن أنواعاً مختلفة من الضوء الجسيمى ، وكل نوع له لون معين . ومع ذلك فيجب إذا كانت هذه النظرية صحيحة ، أن تتفق نتائجها مع المشاهدات .

تسمى مجموعة الألوان الموجودة في ضوء الشمس الأبيض (كما وجدها نيوتن) طيف الشمس ، أو بتعبير أدق طيف الشمس المرئي . ويسمى تحليل الضوء الأبيض إلى مركباته ، كما وصفناه هنا ، تشتت الضوء . وإذا كان التفسير الذى أعطيناه صحيحاً ، فإنه يمكن مزج ألوان الطيف المتفرقة مرة أخرى باستعمال منشور آخر يوضع في وضع معين ، ويجب أن تكون العملية الجديدة عكس العملية الأولى بالضبط . يجب أن نحصل على الضوء الأبيض من الألوان التى تفرقت بالعملية السابقة . والواقع أن نيوتن قد برهن بهذه التجربة البسيطة أنه يمكن الحصول على الضوء الأبيض من طيفه وعلى الطيف من الضوء الأبيض أى عدد المرات . ولقد أيدت هذه التجارب تأييداً قوياً النظرية التى فيها تبدو جسيمات كل لون كجادة غير قابلة للتغيير .

وكتب نيوتن يقول :

« وهذه الألوان ليست ألواناً حديثة التولد ولكنها تظهر نتيجة لتفريقها فقط ، وذلك لأننا إذا مزجناها مرة أخرى فإننا نحصل على لونها قبل التفريق . ولنفس هذا السبب لا يحدث أى تحول حقيقى عند مزج الألوان المتفرقة وذلك لأنه عند تفريق هذه الألوان المتجمعة ثانية تظهر نفس الألوان التى ظهرت عند تشتيت الضوء الأبيض أول مرة . ويمكن تمثيل ذلك بعملية مزج مسحوقين أحدهما أصفر والآخر أزرق مزجاً جيداً . للعين المتجردة يظهر الخليط كأنه ذو لون أخضر رغم أن لون ذرات المسحوقين لم يتغير حقيقة ؛ وباستعمال ميكروسكوب جيد تظهر الذرات متفرقة بلونها الأزرق والأصفر » .

نفرض أننا عزلنا شريحة ضيقة جداً من الطيف . هذا يعنى أننا نسمح للون واحد فقط بأن يمر من شق ضيق طويل بينما تحجز الألوان الأخرى على حاجز . يكون الضوء الذى يمر من هذا الثقب متجانساً ، أى ضوء لا يمكن تحليله إلى مركبات أخرى . والعبارة السابقة تنتج من النظرية وقد تحققت بالتجربة أنه لا يمكن بأى حال من الأحوال تقسيم هذا الشعاع ذى اللون الواحد مرة أخرى . وهناك طرق بسيطة للحصول على مصادر للضوء المتجانس . فمثلاً يشع الصوديوم الساخن

ضوءاً منتظماً ذا لون أصفر . ويكون من الأنسب في أغلب الأحيان إجراء بعض التجارب الضوئية باستعمال ضوء منتظم وذلك لأن النتيجة ، كما ننظر ، تكون أبسط كثيراً .

لنفرض الآن فرضاً غريباً وهو أن الشمس قد بدأت فجأة تشع ضوءاً منتظماً ذا لون معين ، أصفر مثلاً . نتيجة لذلك تختفي جميع الألوان الموجودة في الكون عدا اللون الأصفر . ويكون لون أى جسم إما أصفر أو أسود ! . وليس هنا إلا نتيجة للنظرية الجسيمية للضوء لأنه لا يمكن الحصول على ألوان جديدة من الضوء المنتظم . ويمكن التحقق من صحة ذلك بالتجربة . إذا وضعنا قطعة سوديوم ساخنة جداً في حجرة مظلمة فإن لون أى شيء في هذه الحجرة يكون إما أصفر أو أسود . والواقع أن اختلاف الألوان في الكون يدل على كثرة الألوان التي تكون الضوء الأبيض .

يبدو أن النظرية الجسيمية للضوء تنجح في شرح جميع هذه الحالات تماماً ، رغم أن إدخال أنواع جديدة من الجسيمات بعدد الألوان المختلفة بضايق بعض الشيء . ويبدو أيضاً الفرض بأن جميع جسيمات الضوء تسير بنفس السرعة فرضاً متكلفاً وغير حقيق .

ويمكننا أن نتخيل أن نظرية مختلفة تمام الاختلاف ومبنية على مجموعة من الفروض الأخرى قد تعطي التفسيرات المطلوبة ولا تجد ما يمارضها . وفي الواقع أننا سنشهد في القريب العاجل نشأة نظرية أخرى مبنية على أفكار مختلفة تماماً عن الأفكار السابقة وبالرغم من ذلك فإنها تفسر نفس مجموعة الظواهر الضوئية التي فسرتها النظرية السابقة . وقبل صياغة الفروض التي تعتمد عليها النظرية الجديدة يتحتم علينا أن نجيب على سؤال يتعلق بهذه الاعتبارات الضوئية . يجب علينا أن نمود إلى الميكانيكا ونسأل :

ماهية الموجة ؟

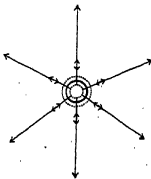
إذا نشأت إشاعة في لندن فإنها تصل إلى أدنبرة بسرعة رغم عدم انتقال أى شخص ممن اشترك في نشرها بين هاتين المدينتين . تصادفنا الآن حركتان مختلفتان ، حركة الإشاعة من لندن إلى أدنبرة وحركة الأشخاص اللذين ينشرون الإشاعة . والريح التي تمر فوق حقل من القمح تسبب موجة تنتشر عبر الحقل كله . مرة ثانية يجب علينا أن تميز بين حركة الموجة وحركة سنابل القمح المختلفة التي لانعاني إلا ذبذبات صغيرة .

كلنا قد رأينا الموجات التي تنتشر في دوائر تتسع تدريجياً عند إلقاء حجر في بركة ماء . حركة الموجة تختلف تماماً عن حركة جسيمات الماء . الجسيمات ترتفع وتنخفض فقط . والحركة الموجية التي نشاهدها هي حركة حالة من حالات المادة وليست حركة المادة نفسها . ويتضح ذلك تماماً من حركة قطعة من الفلين طافية فوق الماء ، فهي تملو وتنخفض فقط تبعاً لحركة الماء بدلاً من أن تسير مع الموجة . ولكي نفهم التركيب الميكانيكي للموجة ، سنعتبر تجربة مثالية أخرى . نفرض أن فراغاً كبيراً مملوء بانتظام بالماء أو الهواء أو أى وسط آخر ، وأنه توجد كرة في موضع متوسط من هذا الفراغ . لنفرض أنه عند بدء التجربة لا توجد حركة على الاطلاق ، وبجأة تبدأ الكرة في « التنفس » توافقياً ، فيزداد حجمها وينقص رغم احتفاظها بشكلها الكروي . ترى ماذا يحدث في الوسط الموجودة فيه الكرة نتيجة لهذه الحركة ؟

نبدأ دراستنا في اللحظة التي تبدأ فيها الكرة في التمدد . تدفع جزيئات الوسط الموجودة في الجوار المباشر للكرة بعيداً ، وعلى ذلك تزداد كثافة قشرة كروية من الماء (أو الهواء) عن قيمتها العادية . بالمثل ، عندما تنقبض الكرة تصغر كثافة جزء الماء الذي يحيط مباشرة . وتنتشر هذه التغيرات في الكثافة خلال الوسط كله . وتعمل الجسيمات المكونة للوسط ذبذبات صغيرة فقط ، ولكن الحركة الناتجة جميعها هي حركة موجة تقدمية . والشئ الأساسي هنا ، هو أننا نعتبر لأول مرة حركة شئ ليس بمادة وإنما هو طاقة متقولة خلال المادة . باستعمال مثال الكرة النابضة يمكننا إدخال فكرتين طبيعيتين عامتين .

الفكرة الأولى هي السرعة التي تتحرك بها الموجة . تتوقف هذه السرعة على الوسط فتختلف في الماء عنها في الهواء مثلا . والفكرة الثانية هي طول الموجة . في حالة الأمواج التي تنشأ على سطح بحر أو نهر يكون طول الموجة هو البعد بين قمتي موجتين متتاليتين أو البعد بين قاهي موجتين متتاليتين . وعلى ذلك يكون طول الموجة في حالة موجات البحر أكبر من طول الموجة في حالة موجات النهر . وفي حالة الموجات التي تحدث نتيجة لسكرة النابضة يكون طول الموجة هو البعد ، عند لحظة معينة ، بين قسرتين كرويتين متجاورتين ، كثاقهما إما نهاية عظمى أو نهاية صغرى . من الواضح أن هذا الطول كما يتوقف على الوسط يتوقف أيضاً على معدل نبض السكرة ، فإذا كان نبض السكرة سريعاً فإن طول الموجة يقصر وإذا كان نبض السكرة بطيئاً فإن طول الموجة يزداد .

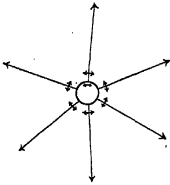
لقد أحرزت فكرة الموجة هذه نجاحاً كبيراً في علم الطبيعة ، ومن المؤكد أنها فكرة ميكانيكية ، إذ تفسر الظواهر بدلالة حركة جسيمات وحسب نظرية الحركة ، تكون هذه الجسيمات المادة . وعلى ذلك يمكن على العموم اعتبار أية نظرية تستخدم فيها فكرة الموجة نظرية ميكانيكية . فمثلاً أساس تفسير الظواهر الصوتية هو هذه الفكرة . فالأجسام المتذبذبة - مثل الأوتار الصوتية وأوتار القيثارة - هي مصادر للموجات الصوتية التي تنتشر في الهواء بنفس الطريقة التي شرحناها في حالة السكرة النابضة . وعلى ذلك يمكننا أن نضم جميع الظواهر الصوتية إلى الميكانيكا باستعمال فكرة الموجة .



لقد وضحنا أنه يجب التمييز بين حركة الجسيمات وبين حركة الموجة نفسها التي هي حالة للوسط . ورغم أن الحركتين مختلفتان فإنه من الواضح في مثال السكرة النابضة أن الحركتين تكونتان . في نفس المستقيم . تتذبذب جسيمات الوسط في أجزاء صغيرة خطية ، ويزداد الكثافة وتقص دورياً مع هذه الحركة . والاتجاه الذي تنتشر فيه

الموجه هو نفس الخط الذي تقع عليه الذبذبات . ويسمى هذا النوع من الموجات موجات طولية . ولكن هل هذا هو النوع الوحيد من الموجات ؟ من المهم لدراستنا التالية أن نذكر إمكان وجود نوع آخر من الموجات يسمى بالموجات المستعرضة .

فلنغير مثالنا السابق . نتمس الكرة هذه المرة في وسط من نوع آخر ، مثلاً القراء بدلا من الماء أو الهواء . وبدلاً من أن تنبض الكرة سنجعلها تدور زاوية صغيرة في اتجاه واحد ثم تعود ثانية على أن تكون الحركة توافقية دائماً وحول محور معين . يلتصق القراء بالكرة وعلى ذلك تجبر أجزاء القراء المتعلقة على أن تقلد الحركة ، وهذه الأجزاء تجبر كذلك الأجزاء الموجودة على بعد صغير منها على أن تقلد نفس الحركة ، وهكذا . بذلك تكون موجة في الوسط ، وإذا تذكرنا



التمييز بين حركة الوسط وحركة الموجه فإننا نرى أنهما لا يقفا على نفس الخط في هذه الحالة . تنتقل الموجه في اتجاه نصف قطر الكرة بينما يتحرك الوسط عمودياً على هذا الاتجاه . بذلك تكون موجة مستعرضة قد تولدت ..

والموجات التي تنتشر على سطح الماء

هي موجات مستعرضة . إذ أنه بينما

تنتشر الموجه في مستوى أفقي ، تتحرك قطعة من الفلين طافية رأسياً إلى أعلى وإلى أسفل . أما الموجات الصوتية فهي أكثر الأمثلة المألوفة للموجات الطولية .

وثمة ملاحظة أخرى أخيرة : الموجه النابضة عن كرة نابضة أو متذبذبة هي موجة كرية وسبب هذه التسمية هو أنه بغند أي لحظة معينة تسلك جميع النقاط الموجودة على سطح كرة محيطة بمصدر الموجه نفس السلوك . نعتبر قطعة من كرة مثل هذه على بعد كبير من المصدر . كلما كانت القطعة صغيرة وبعيدة كلما كانت تشبه قطعة مستوية ، ويمكننا أن نقول دون أن ندعى درجة كبيرة

في الدقة ، أنه لا يوجد فرق أساسي بين قطعة مستوية وبين قطعة من كرة نصف قطرها كبير جداً ، وفي كثير من الأحيان تسمى الأجزاء الصغيرة من موجات كرية بعيدة جداً عن المصدر موجات مستوية . وكلما كان الجزء المظلل في الرسم



بعيداً عن المركز والزاوية المحصورة بين نصفي القطرين صغيرة ، كلما كان تمثيل الموجة المستوية أفضل . وفكرة الموجة المستوية ، مثل كثير من الأفكار الطبيعية الأخرى ، ليست إلا حياًلاً يمكن تحقيقه إلى درجة محدودة من الدقة فقط . ومع ذلك فهي فكرة مفيدة سنحتاج إليها فيما بعد .

النظرية المرهبة للضوء :

دعنا نتذكر لماذا توقفنا عن وصف الظواهر البصرية . كان غرضنا هو إدخال نظرية جديدة للضوء تختلف عن نظرية الجسيمات ولكنها تفسر الحقائق التي سبق ذكرها . وللقيام بذلك ، اضطررنا إلى أن نقطع قصتنا وندخل فكرة الموجات . والآن يمكننا أن نعود إلى هذا الموضوع .

وكان هيجنز - أحد معاصري نيوتن - هو الذي وضع نظرية جديدة تماماً للضوء ؛ وقد كتب هيجنز في مؤلفه عن الضوء يقول :

وإذا كان الضوء يستغرق وقتاً لا يتناهى (وهي المسألة التي سنبحثها الآن) فإنه ينتج أن هذه الحركة - الدخيلة على مادة الوسط - متوالية وعلى ذلك فهي تنتشر على هيئة سطوح كرية مثل الموجات الصوتية . وأنا أسميها موجات ، للتشابه الموجود بينها وبين الموجات التي تتكون في الماء عندما ما يلقى حجر فيه والتي تنتشر على

هيئة دوائر متتالية رغم أن الموجات في الحالة الأخيرة توجد جميعها في مستو واحد .

وفي رأى هيجنز أن الضوء هو موجة ، أى هو انتقال للطاقة لا للمادة . ولقد رأينا أن نظرية الجسيمات تفسر كثيراً من الحقائق المشاهدة . هل تؤدى النظرية الموجية نفس المهمة ؟ يجب أن نسأل نفس الأسئلة التى أجيب عليها بواسطة نظرية الجسيمات وذلك لكي نرى هل يمكن الإجابة عليها بواسطة النظرية الموجية أيضاً . وسنعمل ذلك هنا فى صورة حوار بين هـ ، هـ حيث هـ شخص يعتقد بصحة نظرية نيوتن ، هـ شخص يعتقد بصحة نظرية هيجنز . ولن يستعمل أيهما أى نتائج حصل عليها بعد انتهاء عمل هذين العالمين الفذين :

هـ — فى نظرية الجسيمات يوجد معنى محدد تماماً لسرعة الضوء ، فهى السرعة التى تسير بها الجسيمات فى الفراغ المطلق . ولكن ماذا نعنى بسرعة الضوء فى النظرية الموجية ؟

هـ — فى النظرية الموجية تكون سرعة الضوء هى سرعة موجة الضوء ، فمن المعلوم أن كل موجة تنتشر بسرعة معينة . وهذا يسرى على موجة الضوء أيضاً . هـ — رغم أن هذا الكلام يبدو بسيطاً فهو ليس كذلك . فموجات الصوت تسير فى الهواء ، وموجات المحيط تسير فى الماء ولا بد لكل موجة من وسط مادى تسير فيه ولكن الضوء يسير فى الفراغ المطلق رغم عدم إمكان سير الصوت فيه . وفى الواقع أن فرض سير الموجة فى الفراغ المطلق يعنى عدم فرض وجود موجات على الإطلاق .

هـ — نعم هذه صعبة ولكنها ليست جديدة على . لقد فكر أستاذى فيها جيداً ووجد أن الطريقة الوحيدة للتخلص من هذه الصعوبة ، هو : نفرض وجود شيء مادى « الأثير » شفاف وينفذ خلال الكون كله . وبمجرد أن توجد لدينا الشجاعة لإدخال هذه الفكرة فإن كل شيء آخر يصبح واضحاً ومقنعاً . هـ — ولكنى أعترض على مثل هذا الفرض . فأولا بهذا الفرض ندخل

شيئاً مادياً جديداً مع أن لدينا كثيراً من هذه الأشياء في علم الطبيعة . و يوجد سبب آخر للاعتراض . فأت دون شك تمتد بوجود تفسير كل شيء ، بدلالة الميكانيكا ، ولكن ماذا عن الأثير ؟ هل يمكن الإجابة على السؤال البسيط الآتي : كيف يتركب الأثير من جسيمات صغيرة أولية وكيف يظهر في الظواهر الأخرى ؟ ه — من المؤكد أن اعتراضك الأول وجيه . ولكن يادخال الأثير الذي لا وزن له ، وهو مصطنع إلى حد ما ، نتخلص على الفور من فكرة جسيمات الضوء وهي فكرة أكثر بعداً عن الحقيقة ، ويصبح لدينا شيء واحد بدلاً من عدد لا نهائي من هذه الموجودات التي تناظر العدد الكبير من الألوان الموجودة في الطيف . ألا تظن أن هذا تقدم حقيقي ؟ على الأقل تكون جميع الصعوبات قد تركزت في نقطة واحدة . بهذا الفرض نستغنى عن الفرض الغريب وهو أن جسيمات ألوان الضوء المختلفة تسير بنفس السرعة في الفراغ المطلق . وحجتك الثانية صحيحة أيضاً . لا يمكن إعطاء تفسير ميكانيكي للأثير . ولكن لا يوجد أدنى شك في أن الدراسة المستفيضة للظواهر العنوية وغيرها من الظواهر الأخرى ستكشف عن تركيب الأثير . وفي الوقت الحالى يجب علينا أن نتنظر تجارب جديدة ونتأمل جديدة ، وأخيراً أرجو أن نوفق في التغلب على صعوبات تفسير التركيب الميكانيكي للأثير .

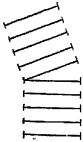
ه — لتترك هذا السؤال الآن لعدم إمكان الإجابة عليه إجابة محددة . أود أن أعلم كيف تمكن بواسطة نظريتك من تفسير الظواهر التي تتضح ويمكن فهمها بواسطة نظرية الجسيمات . اعتبر مثلاً ظاهرة سبر أشعة الضوء في الفراغ أو في الهواء في خطوط مستقيمة . إذا وضعنا ورقة أمام شحنة فإن ظلها يكون واضحاً وحاداً تماماً . إذا كانت النظرية الموجبة للضوء صحيحة ، فإنه يتعذر الحصول على ظلال محددة ، وذلك لأن الموجات تنتش حول أحرف الورقة وتشوه الظل . وكما تعلم لا يعتبر قارب صغير عقبة أمام أمواج البحر ، فعلى تنتش حوله ببساطة دون أن تحدث ظلاً .

ه — ليست هذه بحجة مقنعة . اعتبر حالة موجات قصيرة على مهب تقابل

جانب سفينة كبيرة . لا تظهر الموجات الناشئة على أحد جانبي السفينة في الجانب الآخر . وإذا كانت الموجات صغيرة والسفينة كبيرة بدرجة كافية فإنه يظهر ظل واضح . ومن المحتمل جداً أن الضوء يظهر فقط كأنه يسير في خطوط مستقيمة لأن طول موجته صغير جداً بالنسبة إلى حيز الأجسام العادية والثقوب المستخدمة في التجارب . ومن الجائز أن يظهر الظل إذا أمكننا إيجاد عقبة صغيرة صغراً كافياً . وسنقابل صعوبات عملية كبيرة إذا حاولنا تصميم جهاز يبين ما إذا كان الضوء ينحني أم لا . ومع ذلك فإنه إذا أمكن تصميم مثل هذه التجربة فلها تكون تجربة حاسمة بين النظرية الموجية ونظرية الجسيمات للضوء .

هـ — قد تؤدي النظرية الموجية إلى حقائق جديدة في المستقبل ، ولكني لا أعلم عن أية أحصائيات وجدت بالتجربة تتفق مع هذه النظرية بطريقة مقنعة . ومادم لم يثبت بالتجربة إمكان انحناء الضوء فإنني لا أجد ما يمنع الاعتقاد بصحة نظرية الجسيمات ، وهي في نظري أبسط من النظرية الموجية ، وعلى ذلك فهي أفضل . سنقطع هذه المحادثة عندهذه النقطة رغم أن الموضوع لا يزال يستوجب الدراسة . يبقى أن نبين كيف تفسر النظرية الموجية انكسار الضوء والألوان المختلفة . وكانعلم ، تمسكنا نظرية الجسيمات من تفسير هذه الظواهر . سنبدأ أولاً بالانكسار وسيكون من المفيد أن نعتبر مسألة لا علاقة لها بعلم البصريات .

اعتبر رجلين يسيران في طريق ممتد وبمحلان عصاً مستقيمة بينهما . ونفرض أن الرجلين كانا يسيران أولاً بنفس السرعة إلى الأمام . مادامت سرعة الرجلين واحدة ، صغيرة كانت أم كبيرة ، فإن العصا تعانى لإزاحات متوازية ، أى أن اتجاهها لا يتغير . وتكون جميع أوضاع العصا موازية لوضعها الابتدائي . نفرض أن حركة الرجلين اختلفت في فترة زمنية معينة (قد تكون هذه الفترة صغيرة مثل جزء من الثانية) . ماذا يحدث ؟ من الواضح أن العصا تدور في أثناء هذه الفترة . أى أن إزاحتها لاتكون موازية لوضعها الأول . وإذا سار الرجلان مرة أخرى بسرعة واحدة فإن اتجاه العصا الجديد يكون مخالفاً لاتجاهها الأول .



والرسم يبين ذلك بوضوح . وقد حدث التغير في الاتجاه أثناء الفترة الزمنية التي اختلفت فيها سرعة الرجلين .

سيمكثنا هذا المثال من فهم معنى انكسار الموجة . لنفرض أن موجة مستوية تسير في الأثير قد قابلت لوحاً من الزجاج . نرى في الرسم التالي موجة لها جبهة عريضة نسبياً ، أثناء انتشارها . وجبهة الموجة هي مستوى تكون حالة جميع أجزاء الأثير عليه واحدة عند أى لحظة معينة .

وحيث أن السرعة تعتمد على الوسط الذي يمر فيه الضوء فإن سرعة الضوء

في الزجاج تختلف عن سرعته

في الفراغ الطلق . وفي خلال

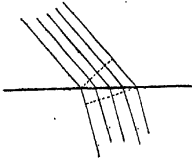
الفترة الزمنية القصيرة جداً

التي تدخل فيها جبهة الموجة

الزجاج ، تختلف سرعة الأجزاء

المتختلفة من هذه الجبهة . إذ أنه

من الواضح أن الجزء الذي يكون



قد دخل الزجاج يسير بسرعة الضوء في الزجاج بينما يسير الجزء الباقي بسرعة الضوء

في الأثير . ونتيجة لاختلاف سرعة أجزاء جبهة الموجة خلال فترة « الانفاس »

في الزجاج يتغير اتجاه الموجة نفسها .

على ذلك نرى أن النظرية الموجية ، مثل نظرية الجسيمات ، تؤدي إلى تفسير

لظاهرة الانكسار . بالتمعن في الدراسة مع الاستعانة بعلم الرياضة تبين أن تفسير

النظرية الموجية أبسط وأفضل وأن نتائجها تتفق تماماً مع المشاهدات . وفي الواقع

تمكثنا الطرق الكمية المنطقية من استنتاج سرعة الضوء في وسط يكسره

إذا علمنا الكيفية التي ينكسر بها الشعاع عند مروره في الوسط .

تبقى الآن مسألة اللون .

يجب أن نتذكر أن ما يميز موجة هـا عددان ، سرعتها ولولول موجتها . والفرض الأساسي في النظرية الموجية للضوء هو أن أطوال الموجات المختلفة تناظر ألواناً مختلفة . فيختلف طول موجة الضوء الأحمر عن طول موجة الضوء البنفسجي . وهكذا بدلاً من الفرض الذي يصعب قبوله والذي يقول بأن كل لون له جسيمات معينة ، لدينا الآن الاختلاف الطبيعي في أطوال الموجات . على ذلك نستطيع وصف تجارب نيوتن في تشتت الضوء بلمتتين مختلفتين ، لغة نظرية الجسيمات ، ولغة النظرية الموجية ، فثلاً :

لغة الموجة

الأشعة التي أطوال موجاتها مختلفة والتي تشير إلى مختلف الألوان تسير بنفس السرعة في الأثير وسرع مختلفة في الزجاج .

يتركب الضوء الأبيض من جميع الأمواج ذات الأطوال المختلفة وتفرق هذه الموجات في الطيف .

لغة الجسيمات

تسير جسيمات الألوان المختلفة بسرعة واحدة في الفراغ وبسرع مختلفة في الزجاج .

يتركب الضوء الأبيض من جسيمات الألوان المختلفة وتفرق هذه الجسيمات في الطيف .

ويدو أنه من المستحسن تجنب الالتباس الناشء من وجود نظريتين مختلفتين لنفس الظواهر وذلك باختيار واحدة منهما بعد دراسة مزاي وأخطاء كلا منهما جيداً . وتبين لنا الحادثة بين هـ ، هـ أن هذا العمل ليس سهلاً على الاطلاق . ويكون القرار عند هذه النقطة مسألة اختيارية تختلف من شخص لآخر ولن يكون ناتجاً عن اقتناع علمي ، وقد فضل أغلب العلماء في عهد نيوتن وبعد بأكثر من مائة عام نظرية الجسيمات .

وبعد ذلك بزمن طويل ، في منتصف القرن التاسع عشر جاء حكم التاريخ في صالح النظرية الموجية ضد نظرية الجسيمات . لقد قال هـ في محادثته مع هـ أن

اللوحه الثانيه



(أخذ الصورة ف . ارکاډيف)

في الصورة الفوتوغرافية العليا نرى بقعتين ضوئيتين نتجتا عن مرور حزمتين من الأشعة خلال ثقبين ديبوس على التوالي . (أى أن أحد الثقبين فتح أولاً ثم غطى بعد ذلك وفتح الآخر) . في الصورة السفلى نرى شرائح رأسية نتجت عن مرور الضوء في وقت واحد خلال الفتحتين .



(أخذ الصوران ف . ارکاډيف)



حيود الضوء المار خلال
ثقب صغير

حيود الضوء بانثناؤه
حول عقبة صغيرة

الحسم بين النظريتين بالتجربة ممكن من ناحية البدء . فنظرية الجسيمات لا تسمح للضوء بالانحناء وتتطلب وجود ظلال حادة . أما حسب النظرية الموجية فإن عقبة صغيرة صفراً كافياً لا تسبب ظلاً ، وقد حقق يونج وفرينيل هذه الحقيقة عملياً كما حصلوا على نتائج نظرية .

سبق أن وصفنا تجربة بسيطة للغاية ، يوضع فيها حاجز به ثقب أمام مصدر ضوئى وبذلك يظهر ظل على الحائط . سنسبب التجربة أكثر وذلك بفرض أن المصدر الضوئى يشع ضوءاً متجانساً ، ولكى نحصل على نتائج جيدة يجب أن يكون المصدر الضوئى قوياً . لنفرض الآن أن الثقب الموجود فى الستارة قد أخذ يصغر تدريجياً . إذا استعملنا مصدراً ضوئياً قوياً وأفلحنا فى جعل الثقب صغيراً بدرجة كافية فإننا نشاهد ظاهرة جديدة غريبة لا يمكن تفسيرها بنظرية الجسيمات . لن نجد أى تحديد ظاهر بين الضوء والظلام . سنشاهد حول البقعة المضيئة أن الضوء يخفت تدريجياً فى المنطقة المظلمة مع ظهور سلسلة من الحلقات المضيئة والمظلمة . وظهور الحلقات هو من أخص مميزات أية نظرية موجية . ويتضح تفسير توالى المناطق المضيئة والمظلمة من تجربة أخرى تختلف بعض الشيء عن التجربة السابقة . نفرض أن لدينا ورقة مظلمة بها ثقباً دبوس يمكن للضوء المرور منهما . إذا كان الثقبان قريبين من بعضهما وصغيرين جداً ، وكان مصدر الضوء التجانس قوياً فإن كثيراً من الشرائط المضيئة والمظلمة تظهر على الحائط وتختفت تدريجياً فى الظلام عند الجوانب . وتفسير ذلك بسيط ، يوجد الشريط المظلم فى المكان الذى يقابل فيه قاع موجة منبعثة من الثقب الأول قمة موجة منبعثة من الثقب الثانى وذلك لأنهما يتعادلان . ويوجد الشريط المضىء فى المكان الذى يتقابل فيه قمتان (أو قاعان) من التبتين ، إذ تتويان بعضهما . وتفسير الحلقات المضيئة والمظلمة فى حالة وجود ثقب واحد أكثر تعقيداً منه فى المثال السابق ، ولكن الفكرة واحدة . ويجب أن نذكر ظهور الشرائط المضيئة والمظلمة فى حالة وجود الثقبين والحلقات المضيئة والمظلمة فى حالة وجود ثقب واحد جيداً وذلك لأننا سنعود إلى دراسة هاتين الصورتين المختلفتين فيما بعد .

والتجربة التي وصفناها هنا تبين حيود الضوء أى الانحراف عن السير في خطوط مستقيمة عند مقابلة موجة الضوء لثقوب أو عقبات صغيرة .

بالاستعانة بقليل من الرياضة ، يمكن أن نذهب إلى أبعد من ذلك بكثير فمن الممكن تحديد درجة صغر طول الموجة التي نحصل بها على نموذج معين للحلقات . وعلى ذلك تمكننا التجارب التي شرحناها هنا من قياس طول موجة الضوء المتجانس المستعمل كمصدر . ولكي نعطي القارىء فكرة عن درجة صغر هذه الأعداد سنذكر طول موجتى الضوء الأحمر والبنفسجى وهما اللوان المهددان لطيف الشمس:

طول موجة الضوء الأحمر ٠٠٨ ٠٠٠ سم

» » البنفسجى ٠٠٤ ٠٠٠ سم

يجب ألا ندهش لصغر هذه الأعداد ، ونحن نشاهد ظاهرة الظل المحدد (أى ظاهرة سير الضوء في خطوط مستقيمة) في الطبيعة لأن حيز العقبات والثقوب يكون في المادة كبيراً جداً بالنسبة إلى طول موجة الضوء . ولا تظهر الصفات الموجية للضوء إلا باستعمال عقبات وثقوب صغيرة جداً .

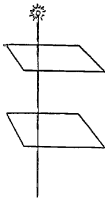
ولكن يجب ألا يعتقد القارىء أن قصة البحث عن نظرية الضوء قد انتهت . لم يكن حكم القرن التاسع عشر نهائياً ، فلا تزال مشكلة الجسم بين الجسيمات والوجات موجودة بأكلها أمام عالم الطبيعة الحديث ، والمشكلة الآن أكثر عمقاً وتداخلًا . فلنقبل هزيمة نظرية الجسيمات للضوء إلى أن نرى المشاكل التي تنتج عن انتصار النظرية الموجية .

هل موجات الضوء طولية أم مستعرضة ؟

تؤيد جميع الظواهر البصرية التي تكلمنا عنها النظرية الموجية . وأقوى حجبتين تؤيدان هذه النظرية هما انحناء الضوء حول العقبات الصغيرة وتفسير الانكسار . ولكن تبقى مشكلة أخرى لم تحل بعد ، ألا وهى تحديد الخواص الميكانيكية للأثير . ولحل هذه المشكلة يجب أن نعلم هل موجات الضوء في الأثير طولية أم مستعرضة . ويمكن أيضاً وضع هذا السؤال كما يأتى : هل انتقال الضوء يماثل انتقال الصوت ؟

هل تحدث الموجة نتيجة لتغيرات في كثافة الوسط وبذلك تكون ذبذبات الجسيمات في اتجاه سير الضوء ؟ أم هل يشبه الأثير مادة غروية مرنة وبذلك لا تنشأ فيه إلا موجات مستعرضة وتسير جسيماته في اتجاه عمودي على اتجاه سير الموجة ؟ قبل دراسة هذه المسألة ، سنحاول أن نفكر في الحل المناسب الذي سنختاره . من الواضح أننا نكون أسعد حظاً لو كانت موجات الضوء طولية ، وذلك لأن صعوبات تكون أثير ميكانيكي تكون أبسط في هذه الحالة . ومن الجازم جداً أن تكون الصورة التي ترسمها للأثير شبيهة بالصورة الميكانيكية للغازات وهي الصورة التي تفسر انتقال موجات الصوت . وتخيل وجود موجات مستعرضة في الأثير أصعب من ذلك بكثير . وليس من البهل تكوين صورة لمادة غروية مكونة من جسيمات بحيث تنشأ عنها موجات مستعرضة . وكان هيجنز يميل إلى الاعتقاد بأن الأثير يشبه « الهواء » أكثر من « الفراغ » ، ولكن الطبيعة لا تهتم كثيراً بما نطلبه ونحدده . هل أشفتك الطبيعة في هذه الحالة بلباء الطبيعة اللذين يحاولون فهم جميع الأحداث من وجهة نظر ميكانيكية ؟ للإجابة على هذا السؤال تلزم دراسة تجارب جديدة .

سندرس بالتفصيل تجربة واحدة فقط من بين التجارب الكثيرة التي تستطيع أن تجيبنا على هذا السؤال . نفرض أن لدينا لوحاً رفيع جداً من التورمالين المتبلور ومقطع بشكل معين لا داعي لوصفه هنا . يجب أن يكون اللوح المتبلور رفيعاً لنتسكن من رؤية الضوء خلاله . خذ الآن لوحين من هذا النوع وضعهما بين العينين وبين الضوء . ماذا ننتظر أن ترى ؟ مرة أخرى نقطة ضوئية إذا كان اللوح رفيعاً بدرجة كافية . في أغلب الأحيان تحقق التجربة ما ننتظره ، أي أننا نرى النقطة الضوئية خلال البلورتين . تغير بعد ذلك وضع إحدى البلورتين بإدارتها . وطبعاً لا يتحدد معنى هذه العبارة إلا إذا عين محور الدوران . سنأخذ الشماع الساقط محوراً للدوران . ويكون معنى الدوران أننا تغير موضع نقط البلورة ما عدا النقط الواقعة على المحور . يحدث شيء غريب ! يخفت الضوء



تدرجياً إلى أن يتلاشى في النهاية ، ثم يظهر ثانية إذا استمر الدوران ونستعيد المنظر الأول عندما نصل إلى الوضع الابتدائي . يمكننا أن نسأل السؤال الآتي دون أن ندخل في تفاصيل هذه التجربة وما يشابهها من التجارب : هل يمكن تفسير هذه الظواهر إذا كانت موجات الضوء طولية ؟ في حالة الموجات الطولية تتحرك جسيمات الأثير في اتجاه المحور، مثلها في ذلك مثل الشماع . إذا أديرنا البلورة حول المحور لا يتغير أي شيء على هذا المحور . التقط

الموجودة على المحور لا تتحرك ولا يعاني الجوار المباشر للمحور إلا إزاحة صغيرة جداً . وإذن في حالة الموجة الطولية ، لا يمكن أن يحدث تغيير واضح مثل اختفاء وظهور الصورة . ويمكن تفسير هذه الظاهرة ومثيلاتها من الظواهر الأخرى إذا فرضنا أن موجات الضوء مستعرضة وليست طولية ! أي إذا فرضنا أن للأثير صفة المواد الغروية .

وهذا أمر يؤسف له ، ويجب أن نستعد لمواجهة صعوبات كبيرة في محاولتنا وصف الأثير ميكانيكياً .

الأثير ووجهة النظر الميكانيكية :

إن دراسة جميع محاولات فهم الخواص الميكانيكية للأثير كوسط يمر الضوء فيه تحتاج إلى وقت طويل . ومعنى التركيب الميكانيكي كما نعلم هو أن الشيء المادي يتكون من جسيمات تؤثر في الخلطوط الواصلة بينها قوى تتوقف على البعد فقط . ولكن يوضع تصميم للأثير كشيء مادي شبيه بالنراء ، كان على علماء الطبيعة أن يفرضوا فروضاً جرد مفتعلة وغير طبيعية . ولن نذكر هذه الفروض هنا فهي تنسب إلى الماضي البعيد . ولكن النتيجة كانت هامة وذات مغزى . لقد كانت الصفات الغريبة لجميع هذه الفروض وضرورة الأخذ بكثير منها كل مستقل عن الآخر ، كافياً لزعة الاعتقاد في وجهة النظر الميكانيكية .

ولكن هناك اعتراضات أخرى ضد الأثير أبسط من صعوبة تكوينه . يتحتم أن يوجد الأثير في كل مكان إذا كنا نريد تفسير الظواهر البصرية ميكانيكياً . وإذا كان الضوء لا يسير إلا في وسط فإنه لا يوجد في أى فراغ خالى . ولكننا نعلم من الميكانيكا أن الفراغ الموجود بين المجموعة الشمسية لا يقاوم حركة الأجسام المادية . فمثلاً تتحرك الكواكب خلال الأثير التروى دون أن تصادف مقاومة على خلاف ما يحدث عندما تتحرك في أى وسط مادي آخر . وإذا كان الأثير لا يقاوم حركة المادة فإننا نستنتج أنه لا يوجد تفاعل بين جسيمات الأثير وجسيمات المادة . يمر الضوء خلال الأثير كما يمر خلال الزجاج والماء ، ولكن سرعته تتغير في المادتين الأخيرتين ؛ فكيف يمكن تفسير هذه الحقيقة ميكانيكياً ؟ من الواضح أنه لا يمكن تفسيرها إلا بفرض وجود تفاعل ما بين جسيمات الأثير وجسيمات المادة . ولكننا رأينا منذ برهة ، أنه في حالة حركة الحرة يجب أن نفترض عدم وجود مثل هذا التفاعل . أى أنه يوجد تفاعل بين الأثير والمادة في الظواهر الضوئية ولا يوجد أى تفاعل بينهما في الظواهر الميكانيكية ؛ ومن المؤكد أن هذه نتيجة تناقض نفسها .

يبدو أن هناك طريقاً واحداً للخلاص من هذه الصعوبات . في جميع مراحل تطور العلم حتى القرن العشرين ، نجد أنه لمحاولة فهم ظواهر الطبيعة على أساس ميكانيكى لا بد من إدخال كثير من المواد المصطنعة وغير الواقعية مثل الموائع الكهروإتائية والمغناطيسية وجسيمات الضوء والأثير . ونتيجة لهذا تتركز جميع الصعوبات في عدد قليل من النقاط الأساسية ، مثل الأثير في حالة الظواهر الضوئية ، إذ يبدو هنا أن جميع المحاولات غير المثمرة لتفسير الأثير تفسيراً بسيطاً وكذلك الاعتراضات الأخرى تشير إلى أن الخطأ ناشئ عن الفرض الأساسى بإمكان تفسير جميع أحداث الطبيعة من وجهة النظر الميكانيكية . ولم ينجح العلم في إتمام البرنامج الميكانيكى بطريقة مرضية ، ولا يوجد الآن عالم من علماء الطبيعة يعتقد بإمكان إتمامه .

في استعراضنا للأفكار الطبيعية الأساسية قابلتنا بعض المشاكل التي لم نحل ، وصعوبات وعقبات شبطت همتنا في محاولة تكوين صورة منتظمة متماسكة

لظواهر العالم الخارجى . فثلاً فى الميكانيكا الكلاسيكية ، كان هناك الدليل الذى لم يلاحظ وهو تساوى كتلتى القصور الذاتى والجاذبية ، كما كانت هناك الصفة المصطنعة للموائع الكهربائية والمغناطيسية ، والقوة التى تؤثر بين التيار الكهربائى والإبرة المغناطيسية وهى صعوبات لم تحل ، ويذكر القارىء أن هذه القوة لم تؤثر فى الخط الواصل بين السلك والقطب المغناطيسى وأنها كانت تتوقف على سرعة الشحنة المتحركة . وكان القانون الذى يعبر عن قيمتها واتجاهها معقداً للغاية . وأخيراً كانت هناك عقبة الأثير الكبرى .

لقد هاجم علم الطبيعة الحديث جميع هذه المشاكل وحلها . ولكن أثناء صراعه لحلها ، نشأت مشاكل جديدة وعويصة . فكما أن معلوماتنا الآن أوسع وأشمل من معلومات علماء الطبيعة فى القرن التاسع عشر فإن صعوباتنا وشكوكنا أكثر .

نتائج :

نلاحظ فى نظرية الموائع الكهربائية القديمة وفى نظرية الجسيمات والنظرية الموجية محاولات أخرى لتطبيق وجهة النظر الميكانيكية . ولكننا هابل صعوبات شديدة فى تطبيق وجهة النظر الميكانيكية للظواهر الكهربائية والبصرية . إذا أثرت شحنة متحركة على إبرة مغناطيسية فإن القوة بدلاً من أن تتوقف على البعد فقط تعتمد أيضاً على سرعة الشحنة . والقوة ليست جاذبة ولا طاردة وإنما تؤثر فى اتجاه عمودى على الخط الواصل بين الشحنة والإبرة .

فى علم البصريات يجب علينا أن نقرر تفضيل النظرية الموجية على نظرية الجسيمات للصوء . من التوكيد أن فكرة انتشار الموجات فى وسط يتكون من جسيمات تؤثر بينها قوى هى فكرة ميكانيكية . ولكن ماهو الوسط الذى ينتشر فيه الضوء وما هى خواصه الميكانيكية ؟ ليس هناك أى أمل فى اختصار الظواهر الضوئية إلى ظواهر ميكانيكية دون الإجابة على هذا السؤال . ولكن صعوبات الإجابة على هذا السؤال عظيمة جداً ولذلك سنضطر إلى تركه وترك وجهة النظر الميكانيكية أيضاً .

الباب الثالث

المجال - النسبية

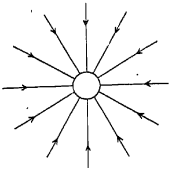
[المجال كوسيلة لتمثيل الواقع - دعامتنا نظرية المجال - وانعكاس المجال - المجال والأثير - السقالة الميكانيكية - الأثير والحركة - الزمن والمسافة والنسبية - نظرية النسبية والميكانيكا - متصل الزمان والمكان - النسبية العامة - خارج وداخل الصعد - المنتهية والتجربة - النسبية العامة وتحققها - المجال والمادة] .

المجال كوسيلة لتمثيل الواقع :

لقد أدخلت أفكار جديدة وثورية في علم الطبيعة خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر . وقد مهدت هذه الأفكار الطريق إلى اتجاه فلسفي جديد يختلف عن وجهة النظر الميكانيكية . ولقد ولدت مبادئ جديدة نتيجة لأبحاث فاراداي ومكسويل وهيرتز وكونت هذه المبادئ صورة جديدة للحقيقة .

ومهمتنا الآن هي وصف الأثر الذي أحدثته هذه المبادئ الجديدة في العلم ، وأن نبين كيف قويت واتضحت هذه المبادئ . وسنحاول شرح تطور هذه الأفكار بطريقة منطقية دون أن نهتم كثيراً بالترتيب التاريخي .

لقد نشأت المبادئ الجديدة عن الظواهر الكهربائية ولكن من الأبسط أن ندخلها عن طريق الميكانيكا . إذا كان لدينا جسيماً فإننا نعلم أنهما يجذبان بعضهما وأن قوة الجذب هذه تتناسب عكسياً مع مربع البعد . يمكننا تمثيل هذه الحقيقة بطريقة جديدة ، وسنعمل ذلك رغم صعوبة فهم سميات ذلك . تمثل الدائرة الصغيرة في الرسم جسماً جاذباً ، الشمس مثلاً . والواقع أن هذه المجموعة هي مجموعة فراغية وليست رسماً في مستو . فالدائرة الصغيرة تمثل كرة في الفراغ الشمسي مثلاً .



إذا وجد جسم (يسمى جسم اختبار) في جوار الشمس فإنه يتجذب لها بقوة خط عملها هو الخط الواصل بين مركزى الجسمين . وعلى ذلك تمثل الخطوط الموجودة في الرسم اتجاه قوة جذب الشمس لأوضاع جسم الاختبار المختلفة . ويبين السهم الموجود على

كل خط أن القوة متجهة نحو الشمس . تسمى هذه المستقيمات خطوط قوة مجال الجاذبية ، وسنعتبر هنا في الوقت الحاضر إسماعاً ولاداعي لبحث هذه التسمية الآن . وتوجد خاصية مميزة للرسم السابق سنوضح أهميتها فيما بعد وهي أن جميع خطوط القوة موجودة في الفراغ حيث لا توجد مادة . ومؤقتاً تبين جميع خطوط القوة أو المجال كيف يسلك جسم الاختبار إذا اقترب فقط من الكرة (صاحبة المجال) -

في هذا التمثيل الفراغي ، جميع الخطوط عمودية على سطح الكرة . وحيث أنها جميعاً تنفرق من نقطة واحدة ، فإنها تكون كثيفة بالقرب من الكرة ويقل تكاثفها كلما زاد البعد عن الكرة . وإذا ازداد البعد عن الكرة إلى ضعفه أو ثلاثة أمثاله فإن تكاثف الخطوط في التمثيل الفراغي (رغم عدم صحة ذلك في الشكل المستوي) يقل إلى الربع أو التسع على التوالي . أى أن هذه الخطوط تؤدي غرضين . فهي تبين اتجاه القوة المؤثرة على الجسم الموجود في جوار الكرة التي تمثل الشمس ، كما أن تكاثف هذه الخطوط في الفراغ يبين العلاقة بين القوى والبعد . وإذا فسر المجال تفسيراً صحيحاً فإنه يمثل اتجاه قوة الجاذبية وعلاقتها بالبعد . ويمكن للإنسان أن يقرأ قانون الجاذبية من مثل هذا الرسم كما يقرأه من الوصف بالكلام أو بلغة الرياضة المضبوطة الاقتصادية . قد يكون التمثيل بالمجال وانحاً وذا أهمية ، ولكن لا يوجد أى سبب يجعلنا نعتقد أنه يدل على أى تقدم حقيقي . ومن الصعب جداً إثبات فائدة هذا التمثيل في حالة الجاذبية . وقد يجد البعض أنه من

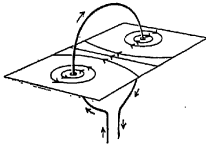
المفيد عدم اعتبار هذه الخطوط على أنها رسوم فقط وأن يتخيلوا التأثير الحقيقي للقوى التي تعمل فيها . يمكن القيام بذلك ولكن يتحتم الفرض بأن التأثير في هذه الخطوط له سرعة لانهاية . فحسب قانون نيوتن لا تتوقف القوة إلا على البعد فقط ولا علاقة لها بالزمن . أى أن القوة يجب ألا تحتاج إلى وقت لتصل من جسم لآخر . ولكن حيث أن الحركة بسرعة لانهاية لا تعنى أى شئ* بالنسبة إلى شخص مدرك فإن محاولة اعتبار الرسم السابق شيئاً أكثر من نموذج لا تؤدي إلى شئ* بالرة .

ونحن لا نريد بحث مسألة الجاذبية الآن . وهى فقط مقدمة تبسط شرح الطرق الماثلة في نظرية الكهرباء .

سنبداً بدراسة التجربة التى ولدت صعوبات جديدة في تفسيرنا الميكانيكي . كان لدينا تيار ينساب في سلك دائرى حول إبرة منطاطيسية في مركز السلك . وفى اللحظة التى بدأ التيار فيها فى الانسياب ، ظهرت قوة جديدة تؤثر على القطب المغناطيسى وعمودية على جميع الخطوط الواصلة بين السلك والقطب وفى الحالة التى نشأت فيها هذه القوة عن الحركة الدائرية لشحنة كهربائية ، بينت تجربة رولاند أن القوة تتوقف على سرعة الشحنة . هذه الحقائق التى حصل عليها بالتجربة تناقض وجهة النظر الفلسفية التى تقول أن القوة لا بد. وأن تؤثر فى الخط الواصل بين الجسمين وأنها تتوقف على البعد بينهما فقط .

إن التعبير المضبوط الذى يمثل القوة التى يؤثر بها التيار على قطب منطاطيسى معقد للغاية ، والتعبير الناظر فى حالة الجاذبية أبسط منه بكثير . ومع ذلك فيمكننا محاولة النظر إلى الموضوع كما فعلنا فى حالة قوة الجاذبية تماماً . والسؤال الذى أمامنا الآن هو : ماهى القوة التى يؤثر بها التيار على قطب منطاطيسى قريب منه ؟ من الصعب وصف هذه القوة بالكلام . وحتى الصيغة الرياضية تكون معقدة للغاية . وأفضل شئ هو تمثيل ما نعلمه عن القوى المؤثرة بالرسم أو بنموذج كلاي يحتوى على خطوط القوى . وتوجد صعوبة سببها أن القطب المغناطيسى لا يوجد إلا مع قطب مغناطيسى آخر فى مزدوج مغناطيسى . ومع ذلك فيمكننا دائماً أن

تتصور أن الإبرة المغناطيسية طويلة بدرجة تجعلنا لا نأخذ في حسابنا إلا القوى المؤثرة على القطب القريب من التيار . ويكون القطب الثانى بعيداً بدرجة تمكننا من إهمال القوة المؤثرة عليه . ولتحاشي الالتباس سنفرض أن القطب المغناطيسى القريب من السلك هو القطب الموجب . يمكننا قراءة خواص القوة المؤثرة على القطب المغناطيسى الموجب من الرسم التالى .



أولاً نلاحظ سهمها بجوار السلك يبين اتجاه التيار من الجهد الأعلى إلى الجهد الأدنى . وجميع الخطوط الأخرى هي خطوط قوة تخص هذا التيار واقعه في مستو معين . وإذا رسمنا هذه الخطوط جيداً ، فإنها تدل على

اتجاه متجه القوة الذى يمثل تأثير التيار على قطب موجب معلوم ، كما تعطينا فكرة عن طول هذا التجه . القوة هي متجه كما نعلم ، ولتعيين هذا التجه يجب أن نعلم كلا من اتجاهه وطوله . والذى يهمننا أكثر من غيره هو اتجاه القوة المؤثرة على قطب . والسؤال الذى أمامنا هو كيف نعلم من الرسم اتجاه القوة المؤثرة على قطب عند أى نقطة في الفراغ .

والقاعدة التى نعين بها اتجاه القوة من مثل هذا النموذج ليست ببساطة مناظرتها في المثال السابق الذى كانت خطوط القوة فيه مستقيمة . الرسم التالى يبين خط قوة واحد وذلك لإيضاح القاعدة . يقع متجه القوة على المماس لخط القوة كما هو موضح .



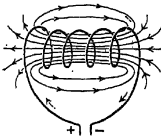
وسهم متجه القوة والأسهم الموجودة على خط القوة تشير جميعاً إلى نفس الاتجاه . أى أن هذا هو الاتجاه الذى تؤثر فيه القوة على القطب المغناطيسى عند هذه النقطة .

والرسم الجيد ، أو النموذج المضبوط (وهذا تعبير أدق) يعطينا أيضاً فكرة عن طول متجه

القوة عند أى لحظة . يجب أن يكون هذا المتجه أطول عند ما تكون خطوط القوة أكثف ، أى بالقرب من السلك ، وأقصر عندما تكون الخطوط أقل تكاثفاً أى بعيداً عن السلك .

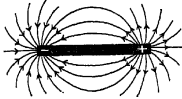
بهذه الطريقة ، تمكنا خطوط القوة أو المجال بمباراة أخرى ، من تعيين القوى المؤثرة على قطب منطائيسى عند أى نقطة فى الفراغ . وفى الوقت الحالى يكون هذا هو البرر الوحيد لهذا التصميم التعب للمجال . وحيث أننا نعلم ماذا يمثل المجال ، فإننا سندرس خطوط القوة المناظرة للتيار دراسة أعمق . هذه الخطوط هى دوائر تحيط بالسلك وتقع فى المستوى العمودى على مستواه . وبقراءة خواص القوة من الرسم ترى مرة ثانية أن القوة تؤثر فى اتجاه عمودى على أى مستقيم واصل بين السلك والقطب . وذلك لأن المماس لدائرة يكون دائماً عمودى على نصف القطر . يمكن تلخيص كل ما نعلمه عن القوة المؤثرة فى نموذج المجال . ونحن نضيف فكرة المجال إلى فكرة التيار والقطب المنطائيسى ونستعين بها جميعاً لتمثيل القوة المؤثرة بطريقة بسيطة .

يوجد مجال منطائيسى يناظر كل تيار ، أى تؤثر قوة على قطب منطائيسى عند اقترابه من سلك ينساب فيه تيار . ونشير هنا إلى أن هذه الخاصية تمكنا من تصميم أجهزة حساسة تدل على وجود التيار أو عدم وجوده . بمجرد أن نعرف كيف نقرأ خواص القوى المنطائيسية من نموذج المجال لتيار ما ، نرسم دائماً المجال المحيط بالسلك الذى ينساب فيه التيار وذلك لتمثيل تأثير القوى المنطائيسية عند أى نقطة فى الفراغ . ومثالنا الأول هى مايسمى «الملف الحلزوني» ، وهو ملف من السلك كما هو مبين فى الشكل ، وغرضنا هو أن نعلم بالتجربة كل ما يمكننا عن المجال



المنطائيسى الخاص بتيار ينساب فى ملف حلزوني وأن نجمع هذه المعلومات لعمل المجال . والرسم التالى يمثل النتيجة . خطوط القوى المنحنية مقفلة وتحيط باللف الحلزوني بالطريقة التى تميز المجال المنطائيسى للتيارات .

ويمكن عمل مجال قضيب مغناطيسي بنفس طريقة عمل مجال كهربائي .
والشكل التالي يبين ذلك . تتجه خطوط القوى من القطب الموجب إلى السالب



دأماً . ويقع متجه القوة على
المماس لخط القوة دأماً ويكون
أطول ما يمكن بالقرب من القطبين
وذلك لأن تكاثف خطوط
القوة يكون أكبر ما يمكن عند

هاتين النقطتين . يمثل متجه القوة تأثير المغناطيس على قطب مغناطيسي موجب .
في هذه الحالة ، ينشأ المجال عن المغناطيس لا عن التيار .

يجب أن نقارن الشكلين الأخيرين بدقة . في الشكل الأول يوجد المجال
المغناطيسي لتيار ينساب في ملف حلزوني ، وفي الثاني مجال قضيب مغناطيسي .
فلنهمل كلا من الملف الحلزوني والقضيب ونلاحظ المجالين الخارجين فقط . نلاحظ
على الفور أن كلا من المجالين له نفس الخواص تماماً . في كل من الحالتين تتجه
خطوط القوة من أحد طرفي الملف أو القضيب إلى الطرف الآخر .

هذه هي أولى نماذج تمثيل المجال ! فإنه ليصعب جداً ملاحظة تشابه قوى بين تيار
ينساب في ملف حلزوني وبين قضيب مغناطيسي إذا لم نعلم بعمل المجال .

يمكننا الآن اختبار فكرة المجال اختبأراً أسمى من ذلك بكثير . سنرى في
التقريب العاجل ما إذا كانت هذه الفكرة تمثيلاً جديداً للقوى المؤثرة أم أنها تعني
شيئاً آخر فضلاً عن ذلك . يمكننا أن نستعمل المنطق الآتي : افترض مؤقتاً أن المجال
يتميز جميع الأحداث التي تحددها مصادره بطريقة وحيدة . وليس هذا إلا تخميناً ، وهو
يعني أنه إذا كان لكل من الملف الحلزوني والقضيب نفس المجال ، فإن جميع تأثيراتهما
تكون واحدة ، أيضاً . ويكون معنى ذلك أن خواص ملفين حلزونيين يحملان
تيارين كهربائيين هي نفس خواص قضيب مغناطيسين وأنهما يتجاذبان أو يتنافران
على حسب وضعهما النسبي كما في حالة القضيبين . وهذا يعني أيضاً أن قضيباً
مغناطيسياً وملفاً حلزونياً يتجاذبان أو يتنافران بنفس الطريقة التي يتجاذبان أو يتنافران بها

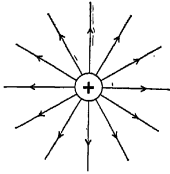
قضياناً مغناطيسيان . وبالاختصار يكون معنى ماسبق أن جميع تأثيرات ملف حلزوني يمر فيه تيار هي نفس تأثيرات مغناطيس مناظر وذلك لأن المجال وحده هو المسئول عن هذه التأثيرات والمجال في كل من الحالتين له نفس الخواص . والتجربة تحقق تخميناتنا تماماً !

يستطيع القارئ أن يتخيل صعوبة الحصول على هذه الحقائق بدون فكرة المجال ! أن تعبير القوة المؤثرة بين سلك ينساب فيه تيار وبين قطب مغناطيسي معقد للغاية . وفي حالة ملفين حلزونيين يجب علينا دراسة القوى التي يؤثر بها تياران كل على الآخر . ولكن إذا قمنا بذلك مع الاستمانة بالمجال فإننا نلاحظ فوراً خواص هذه التأثيرات بمجرد أن نتحقق من تشابه مجال الملف الحلزوني ومجال القضيب المغناطيسي .

من حقنا الآن أن نعتبر المجال شيئاً آخر يزيد عن فكرتنا الأولى عنه . ويبدو لنا أن خواص المجال وحده هي التي تهتم في وصف الظواهر ، أما اختلاف مصدر المجال فلا يهم . وتظهر أهمية فكرة المجال عندما تؤدي إلى حقائق عملية جديدة . لقد أثبتت فكرة المجال فائدتها الكبيرة . وقد بدأت هذه الفكرة كشيء يوجد بين المصدر والإبرة المغناطيسية لوصف القوة المؤثرة وكان ينظر للمجال على أنه وكيل للتيار تحدث جميع تأثيرات التيار عن طريقه . ولكن يقوم الآن هذا الوكيل بدور المترجم الذي يترجم القوانين إلى لغة بسيطة واضحة يسهل فهمها .

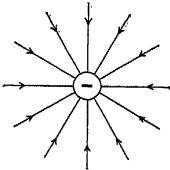
إن النجاح الأول للتمثيل بالمجال يجعلنا نظن أن من المناسب دراسة جميع تأثيرات التيارات والمغناطيسات والشحنات بطريقة غير مباشرة ، أي بمساعدة المجال كفسر .

ويمكن اعتبار المجال كشيء يصاحب التيار دائماً ، فالمجال يوجد رغم عدم وجود قطب مغناطيسي نختبر به وجوده (أي المجال) . فلنحاول تتبع هذا الدليل الجديد باستمرار .



ويمكن دراسة مجال موصل مشحون بنفس الطريقة التي درسنا بها مجال الجاذبية أو مجال التيار أو المغناطيس و مرة أخرى نجد أبسط الأمثلة لعمل مجال كرة مشحونة يجب أن نعلم أى نوع من القوى يؤثر على جسم اختبار صغير موجب الشحنة عند اقترابه من

مصدر المجال أى من الكرة المشحونة . واختيار جسم اختبار موجب الشحنة لا سالبها هو مسألة اتفاق فقط لتحديد اتجاه الأسهم الموجودة على خطوط القوة . والنموذج في هذه الحالة يشابه مجال الجاذبية (ص ٩٠) وذلك لتشابه قانونى كولوم ونيوتن ، والفرق الوحيد بين هذين النموذجين هو أن الأسهم تشير فى اتجاهين متضادين . وفى الواقع نعلم أن شحنتين موجبتين تتنافران وأن كشتين تتجاذبان . ومع ذلك فإن مجال كرة سالبة الشحنة يكون مطابقا لمجال الجاذبية وذلك لأن جسم الاختبار الصغير الموجب الشحنة سيجذب إلى مصدر المجال .



إذا كان لدينا قطبان ساكنان أحدهما كهربائى والآخر مغناطيسى فإنه لا توجد قوة جذب أو طرد بينهما ويمكن التمييز عن هذه الحقيقة بلغة المجال كما يأتى : المجال الكهربائى الاستاتيكي لا يؤثر على المجال المغناطيسى وبالعكس . والمجال الكهربائى

الاستاتيكي هو المجال الكهربائى الذى لا يتغير بمرور الزمن . تبقى المغناطيسات والشحنات ساكنة بجانب أية فترة زمنية إذا لم تؤثر عليها قوة خارجية . كل من المجال الكهربائى والمغناطيسى ومجال الجاذبية يختلف تماما عن الآخرين ولا تترج هذه المجالات ويحتفظ كل منها بذاته ولا يتأثر بالآخرين .

نمود الآن إلى الكرة الكهربائية التي بقيت حتى الآن ساكنة . نفرض أن هذه الكرة بدأت تتحرك نتيجة لتأثير قوة خارجية . تتحرك الكرة المشحونة . بلغة المجال تقرأ الجملة السابقة كما يأتي : يتغير مجال الكرة المشحونة بتغير الزمن . ولكننا نعلم من تجربة رولاند أن حركة هذه الكرة المشحونة تكافئ تياراً كهربائياً . وأيضاً نعلم أن مجالاً مغناطيسياً يصاحب كل تيار . وعلى ذلك تكون لدينا السلسلة الآتية :

حركة شحنة ← تغير في مجال كهربائي .



تيار ← مجال المغناطيسي المصاحب .

وعلى ذلك نستنتج أن : التغير في المجال الكهربائي الناتج عن حركة الشحنة يصطحب دائماً بمجال مغناطيسي .

تعتمد هذه النتيجة على تجربة أورستد ولكنها تشمل أكثر من ذلك . فهذه النتيجة تحوى الاعتراف بأن مصاحبة مجال مغناطيسي لمجال كهربائي يتغير مع الزمن حقيقة أساسية لدراستنا القادمة .

إذا ماطلت شحنة ما ساكنة فإنه لا يوجد سوى مجال الكهروستاتيكي ولكن يظهر مجال مغناطيسي بمجرد أن تبدأ الشحنة في الحركة . ويمكننا أن نذهب إلى أبعد من ذلك . يكون المجال المغناطيسي الذي تولده حركة الشحنة أشد إذا كانت الشحنة أكبر وإذا تحركت أسرع . هذه الحقيقة هي أيضاً نتيجة لتجربة رولاند . مرة أخرى باستعمال لغة المجال يمكننا أن نقول : كلما كان تغير المجال الكهربائي أسرع كلما كان المجال المغناطيسي المصاحب أشد .

لقد حاولنا هنا ترجمة بعض الحقائق المعروفة من لغة الواضع التي نشأت من وجهة النظر الميكانيكية القديمة إلى لغة المجالات الجديدة . وسنرى فيما بعد وضوح وبعد مدى لفتنا الجديدة .

وغامتا نظرية المجال :

« يصاحب تغير المجال الكهربائي مجالاً مغناطيسياً ». إذا بادلنا كلمتي كهربائي ومغناطيسي كلا محل الأخرى فإن الجملة السابقة تصبح : « يصاحب تغير المجال المغناطيسي مجالاً كهربائياً ». لا يمكن الجزم بصحة أو خطأ هذه العبارة إلا عملياً بالتجربة ولكن لغة المجال هي التي تمنحنا فكرة صياغة هذه المسألة .

منذ أكثر من مائة عام بقليل أجرى فارادى تجربة نتج عنها الاكتشاف العظيم للتيارات المنتجة بالتأثير .

والتجربة بسيطة للغاية . نحتاج فقط إلى ملف حلزوني أو أية دائرة كهربائية أخرى ، وقصيب مغناطيس وأحد الأجهزة التي تدلنا على وجود التيار . عند الابتداء يكون القصيب المغناطيسي ساكناً بالقرب من الملف الحلزوني الذي يكون دائرة مغلقة . لا يمر أي تيار في السلك وذلك لعدم وجود مصدر له . يوجد مجال للمغناطيس الساكن وهو مجال لا يتغير بمرور الزمن . ونجأة يغير وضع المغناطيس إما بإبعاده كلية أو بتقريبه من الملف الحلزوني ، وذلك حسب رغبتنا . في هذه اللحظة يظهر تيار لفترة زمنية قصيرة جداً ، ثم يتلاشى بعد ذلك . ويظهر التيار كلاتنير موضع المغناطيس ، ويمكن



التحقق من وجود التيار بواسطة جهاز حساس . ولكن التيار حسب نظرية المجال يعني وجود مجال كهربائي يعمل على انسياب الإلكترونات الكهربيين

خلال السلك . وعلى ذلك يتلاشى كل من التيار والمجال الكهربائي عندما يسكن المغناطيس ثانية .

تحليل مؤقتاً أن لغة المجال غير معروفة وأنه يجب وصف نتائج هذه التجربة كياً ونوعياً بلغة الميكانيكا القديمة ؛ على ذلك تبين هذه التجربة أنه نتيجة لحركة المزدوج المغناطيسي ولدت قوة جديدة تحرك المائع الكهربائي في السلك . ويكون

السؤال التالى كما يأتى : ما الذى تتوقف عليه هذه القوة ؟ وتكون الإجابة على هذا السؤال فى غاية الصعوبة . فيكون من المهم علينا أن ندرس علاقة القوة بسرعة المغناطيس وشكله وبشكل الدائرة . وزيادة على ذلك ، فإننا إذا عبرنا عن هذه التجربة باللغة القديمة فإنها لا تعطينا أية إشارة على الإطلاق للدلالة على ما إذا كان من الممكن إنتاج تيار بالتأثير بتحريك دائرة كهربائية أخرى تحمل تياراً بدلاً من تحريك قضيب مغناطيسى .

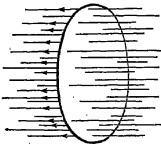
تختلف الحالة تماماً إذا استعملنا لثة المجال وفرضنا مرة أخرى أن المجال هو الذى يحدد جميع التأثيرات . نرى على الفور أن الملف الحزوني الذى يمر فيه تيار يقوم مقام قضيب المغناطيس تماماً . يبين الشكل ملفين اسطوانيين الأول صغير يمر فيه تيار ، والثانى وهو الأكبر نختبر به وجود التيار الناتج بالتأثير . يمكننا



أن نحرك الملف الحزوني كماحركنا قضيب المغناطيس من قبل . كما يمكننا بدلاً من تحريك الملف الصغير أن نولد مجالاً

مغناطيسياً ونلاشيه بتوليد التيار وملاشاته ، أى بفتح وقفل الدائرة . مرة أخرى ثبت عملياً صحة حقائق جديدة نتجت عن نظرية المجال .

فلنعتبر مثلاً أبسط من ذلك . لدينا سلك مقفل ولا يوجد أى مصدر للتيار . بالقرب من هذا السلك يوجد مجال مغناطيسى . وليس من المهم معرفة مصدر هذا المجال الذى قد يكون دائرة أخرى يمر فيها تيار أو قضيب مغناطيسى . يبين



الشكل الدائرة المغلفة وخطوط القوة المغناطيسية . إن الوصف السكى والنوعى لظاهرة إنتاج التيارات بالتأثير بسيط جداً إذا استخدمنا لثة المجال . وكما هو مبين فى الشكل ثمر بعض خطوط القوة خلال السطح المحدود بالسلك .

ويجب علينا دراسة خطوط القوى التي تقطع ذلك الجزء من المستوى الذي يخط به . الساك . لا يوجد أى تيار كهربائى مادام المجال لا يتغير مهما كانت شدته . ولكن يبدأ تيار فى المرور فى السلك بمجرد أن يتغير عدد خطوط القوة التي تخترق السطح المحاط بالسلك . وبمعنى التيار تماماً بالتغير فى عدد خطوط القوة التي تخترق السطح مهما كان السبب فى حدوث هذا التغير . والتغير فى عدد خطوط القوة هو الشيء الوحيد الضرورى لوصف التيار المنتج بالتأثير كميّاً أو نوعياً . «عدد خطوط القوى يتغير» . يعنى أن تكاليف الخطوط يتغير ، وهذا كما يذكر القارىء يعنى أن شدة المجال تتغير .

وهذه هى الحقائق الهامة فى سلسلتنا المنطقية : تفسير فى مجال مغناطيسى .
— تيار منتج بالتأثير — « حركة شحنة » وجود مجال كهربائى . وعلى ذلك : يصطحب المجال المغناطيسى التغير بمجال كهربائى .

بذلك وجدنا أهم دعامتين لنظرية المجال الكهربائى والمغناطيسى . الدعامة الأولى هى العلاقة بين المجال الكهربائى المتغير والمجال المغناطيسى . وقد ظهرت هذه العلاقة من تجربة أورستد على انحراف الإبرة المغناطيسية وأدت إلى النتيجة الآتية : يصطحب المجال الكهربائى التغير بمجال مغناطيسى . أما الدعامة الثانية فهى تربط بين المجال المغناطيسى المتغير وبين التيارات المنتجة بالتأثير وقد ظهر هذا الارتباط من تجربة فارادى . وقد كانت كل من هاتين العلاقتين أساساً . للوصف السكى .

مرة أخرى يظهر المجال الكهربائى الذى يصاحب المجال المغناطيسى المتغير كأنه شيء حقيقى . ونحن فى سبقي أن المجال المغناطيسى يكون موجوداً رغم عدم وجود قطب الاختبار . بالمثل يجب أن نقول هنا أن المجال الكهربائى يوجد رغم عدم وجود السلك الذى يدل على وجود التيار المنتج بالتأثير .

وفى الواقع يمكن اختصار هاتين الدعامتين إلى دعامة واحدة ألا وهى نتيجة تجربة أورستد فمن الممكن استنتاج نتيجة تجربة فارادى من تجربة أورستد وقانون بقاء الطاقة . ولقد استخدمنا الدعامتين لفرض التوضيح والاقتصاد فقط .

يجب ذكر نتيجة أخيرة للوصف بالجمال . نفرض أن لدينا دائرة يمر فيها تيار ، ونفرض أن مصدر التيار هو بطارية فولتا مثلاً . نفرض أن الاتصال بين السلك وبين مصدر التيار قد قطع فجأة . طبعاً لا يوجد تيار الآن ! . ولكن أثناء فترة قطع الاتصال الصغيرة تحدث عملية متداخلة معقدة ، وهي عملية من الممكن التنبأ بها من نظرية المجال . قبل قطع التيار كان يوجد مجال مغناطيسي . يتغير عدد خطوط القوة التي تخترق السطح المحدد بالسلك سريعاً جداً . ولكن هذا التغير السريع مهما كان السبب في حدوثه ، لا بد وأن يولد تياراً بالتأثير . والذي يهم في الواقع هو التغير في المجال المغناطيسي . والتيار المتنج بالتأثير يكون أشد كلما ازداد هذا التغير . هذه النتيجة هي اختبار جديد للنظرية . يجب أن يصاحب قطع التيار ظهور تيار شديد ولحظي منتج بالتأثير . ومرة أخرى يتحقق ذلك عملياً . وكل شخص قطع دائرة كهربائية لا بد وأن يكون قد لاحظ ظهور شرارة . تدل هذه الشرارة على الفرق الكبير في الجهد الذي يسببه التغير في المجال المغناطيسي . ويمكننا النظر إلى هذه العملية من وجهة نظر أخرى هي وجهة نظر الطاقة .

اختق مجال مغناطيس وتولدت شرارة . الشرارة تمثل طاقة وإذن فلا بد أن يمثل المجال المغناطيسي طاقة . وإذا كنا سنستعمل فكرة المجال ولغته باستمرار فلا بد وأن نعتبر المغناطيس كستودع للطاقة . فهذه الطريقة وحدها تمكن من وصف الظواهر الكهربائية والمغناطيسية دون أن تناقض قانون بقاء الطاقة .

إن المجال الذي بدأ كنموذج معين أخذ يزداد واقعية . لقد ساعدنا على فهم حقائق قديمة وقادنا إلى حقائق جديدة . وإن ربط الطاقة بالمجال لهو خطوة إلى الأمام في الطور الذي أخذنا فيه نهتم بفكرة المجال وتحطم فكرة السيل أو التامع الضرورية لوجهة النظر الميكانيكية .

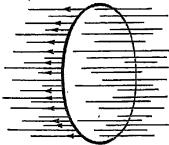
واقعية المجال :

يمكن تلخيص الوصف الكمي والرياضي لقوانين المجال في المعادلات السبعة بمعادلات ماكسويل . ولقد أدت الحقائق التي ذكرناها فيما سبق إلى مسيافة هذه

المعادلات ومع ذلك فهي تدل على أكثر مما أمكننا الإشارة إليه . وبساطة هذه المعادلات تخفى عمقها الذي لا يظهر إلا بالدراسة الدقيقة . وتمتد سياغة هذه المعادلات أهم حدث في علم الطبيعة منذ عهد نيوتن . والسبب في ذلك هو أنه فضاءً عن اتساع مجالها فهي تكون نموذجاً لنوع جديد من القوانين . ويمكن تلخيص معادلات ماكسويل (التي تظهر في جميع معادلات علم الطبيعة الحديث الأخرى) في جملة واحدة . معادلات ماكسويل هي قوانين تمثل تركيب المجال .

لماذا تختلف معادلات ماكسويل في الشكل والصفات عن معادلات الميكانيكا الكلاسيكية؟ وماذا نعى بقولنا أن هذه المعادلات تصف تركيب المجال؟ وكيف يمكننا باستعمال نتائج تجريبي أورستد وفارادى تكوين نوع جديد من القوانين تثبت أهميته البالغة في التطورات التالية لعلم الطبيعة؟

لقد رأينا من تجربة أورستد كيف ينتج مجال مغناطيسى حول مجال كهربائى متغير . ورأينا من تجربة فارادى كيف ينتج مجال كهربائى حول مجال مغناطيسى متغير . سنوجه اهتمامنا مؤقتاً إلى إحدى هاتين التجريبتين ، إلى تجربة فارادى مثلاً ، لنحصل على بعض الخواص المميزة لنظرية ماكسويل . سنعتبر مرة أخرى الشكل الذى يمثل نشأة تيار متنتج بالتأثير من مجال مغناطيسى متغير . نعلم أن التيار



ينتج بالتأثير إذا تغير عدد خطوط القوة التي تخترق السطح المحدد بالسلك . على ذلك يظهر التيار المتنتج بالتأثير إذا تغير المجال أو إذا تغير شكل الدائرة أو إذا تحركت الدائرة . وإذا راعيننا جميع

هذه الاحتمالات ودرسنا التأثيرات التي تنتج عن كل منها فن المؤكد أن ذلك يؤدي إلى نظرية ممتدة جداً . ولكن ألا يمكننا تبسيط هذه المسألة؟ دعنا نحذف من دراستنا كل ما يتعلق بشكل الدائرة وطولها والسطح المحدد بالسلك

لنتخيل أيضاً أن الدائرة في الشكل السابق تصغر تدريجياً إلى أن تصبح دائرة كهربائية صغيرة جداً حول نقطة معينة في الفراغ . في هذه الحالة لا يكون لشكل الدائرة أو حجمها أى تأثير على دراستنا . في هذه العملية النهائية التى يؤول فيها المنحنى المقفل إلى نقطة يختنئ كل من الشكل والحجم أوتوماتيكياً من دراستنا ونحصل على قوانين تربط بين التنير في المجال المغناطيسى والكهربائى عند نقطة اختيارية في الفراغ وعند لحظة اختيارية .

وعلى ذلك نكسكون هذه هى إحدى الخطوات الأساسية المؤدية إلى معادلات ماكسويل . ومرة أخرى هذه هى تجربة مثالية تجرى في الخيال بتكرار تجربة فارادى على دائرة صغيرة تؤول في النهاية إلى نقطة .

يجب علينا أن نسمى ماسبق نصف خطوة بدلاً من خطوة كاملة . حتى الآن كان اهتمامنا موجهاً إلى تجربة فارادى . ولكن يجب دراسة دعامة المجال الثانية البنية على تجربة أورستد بطريقة مشابهة وبنفس الدرجة من الدقة . في هذه التجربة تلتف خطوط القوة المغناطيسية حول التيار . إذا جعلنا الخطوط الدائرية للقوة المغناطيسية تصغر وتؤول إلى نقطة نحصل على النصف الثانى للخطوة . وتعطينا الخطوة كلها علاقة بين التنير في كل من المجالين الكهربائى والمغناطيسى عند نقطة اختيارية في الفراغ ، وعند لحظة اختيارية .

ولكن نلزم خطوة أخرى أساسية . حسب تجربة إرادى يجب أن يوجد سلك يدل على وجود المجال الكهربائى كما يجب أن يوجد قطب مغناطيسى أو إبرة مغناطيسية لاختبار وجود مجال مغناطيسى في تجربة أورستد . ولكن نظرية ماكسويل الجديدة تذهب إلى أبعد من هذه الحقائق العملية . فحسب نظرية ماكسويل المجال الكهربائى والمغناطيسى أو بالاختصار المجال الكهرومغناطيسى هو شىء حقيقى واقعى . فالمجال المغناطيسى التنير يولد مجالاً كهربائياً بصرف النظر عن وجود أو عدم وجود سلك يدل على وجود هذا المجال ، والمجال الكهربائى التنير يولد مجالاً مغناطيسياً بصرف النظر عن وجود أو عدم وجود قطب مغناطيسى للدلالة على وجوده .

أى أن هناك خطوتين قد أدتا إلى معادلات ماكسويل . الخطوة الأولى : عند دراسة تجرېتي أورستد ورولانديكان من الضروري أن يصغر كل من خط المجال المغناطيسى الدائرى اللتف حول التيار والمجال الكهربائى المتغير ويؤول إلى نقطة ، وعند دراسة تجربة فارادى كان من الضروري أن يصغر خط المجال الكهربائى الدائرى اللتف حول المجال المغناطيسى المتغير ويؤول إلى نقطة . والخطوة الثانية هى النظر إلى المجال على أنه شىء حقيقى واقعى ، فالمجال الكهرومغناطيسى بمجرد تولده يؤثر ويتغير حسب قوانين ماكسويل .

ومعادلات ماكسويل تصف تركيب المجال الكهرومغناطيسى . وتطبق هذه المعادلات عند أى نقطة فى الفراغ على عكس القوانين الميكانيكية التى لاتطبق إلاحيث توجد مادة أو شحنات .

ونحن نذكر كيف كانت الحالة فى الميكانيكا . إذا علمت القوة المؤثرة على جسيم عند أى لحظة وسرعة وموضع الجسيم عند لحظة واحدة فقط فإن من الممكن التنبأ بمسار الجسيم . وفى نظرية ماكسويل إذا علمنا المجال عند لحظة واحدة فقط يمكننا باستخدام معادلات النظرية استنتاج الكيفية التى يتغير بها المجال عند أية لحظة وعند أى نقطة فى الفراغ . تمكنا معادلات ماكسويل من تتبع تاريخ المجال كما تمكنا المعادلات الميكانيكية من تتبع تاريخ الجسيمات المادية .

ولكن لايزال هناك فرق أساسى بين القوانين الميكانيكية وقوانين ماكسويل . إذا قلنا قوانين نيوتن للجاذبية وقوانين ماكسويل للمجال تتضح بعض الخواص المميزة التى تعبر عنها هذه المعادلات .

بمساعدة قوانين نيوتن يمكننا استنتاج حركة الأرض من القوة المؤثرة بين الشمس والأرض وهذه القوانين تربط بين حركة الأرض وبين تأثير الشمس (البعيدة جداً) عليها . فالأرض والشمس رغم كبر البعد بينهما تمثلان معاً فى مسرحية القوى .

فى نظرية ماكسويل لا يوجد ممثلون ماديون . تعبر المعادلات الرياضية لهذه النظرية عن القوانين التى يتبهما المجال الكهرومغناطيسى ، وهى ، على خلاف

قوانين نيوتن ، لا تربط بين حديتين بعيدين جداً . فهي لا تربط بين ما يحدث هنا بالظروف هناك . فالجمال في مكان ما في لحظة معينة يتوقف على المجال في الجوار المباشر عند اللحظة السابقة . إذا علمنا ما يحدث عند نقطة معينة الآن فإن معادلات ما كسويل تمكننا من التنبؤ بما سيحدث في الجوار المباشر لهذه النقطة بعد زمن قليل . تمكننا هذه المعادلات من زيادة معلوماتنا عن المجال بخطوات قصيرة . ويمكننا استنتاج ماذا يحدث هنا من الذي حدث في مكان بعيد ، بجمع هذه الخطوات القصيرة جداً ، أما في نظرية نيوتن فلا يسمح إلا بخطوات كبيرة تربط بين أحداث بعيدة . ويمكن الحصول مرة ثانية على نتائج تجريبية فارادى وأورستد من نظرية ما كسويل عن طريق واحد هو جمع خطوات صغيرة كل منها يتبع معادلات ما كسويل . تبين الدراسة الرياضية الدقيقة لمعادلات ما كسويل أنه يمكن استنتاج نتائج جديدة وغير متوقعة . ويمكن اختبار النظرية اختباراً قاسياً لأن النتائج النظرية لها الآن صفة كمية ويكشف عنها بواسطة سلسلة كاملة من الحجج المنطقية .

لنتخيل مرة أخرى تجربة مثالية . قوة خارجية تؤثر فتجعل كرة مشحونة بالكهرباء تذبذب بسرعة بحيث تكون حركتها مثل حركة البندول . كيف سنستخدم معلوماتنا عن تغيرات المجال في وصف كل ما يحدث هنا بلغة المجال ؟

نحدث ذبذبة الشحنة مجالاً كهربائياً متغيراً ، وهذا يصطحب دائماً بمجال مغناطيسي متغير إذا وضع سلك يكون دائرة مغلقة بالقرب من الشحنة فإن المجال المغناطيس المتغير يصطحب بتيار كهربائي في الدائرة . ليس كل هذا إلا تكراراً لحقائق معلومة ، ولكن دراسة معادلات ما كسويل تجعلنا نعلم النظر في مسألة الشحنة الكهربائية المتذبذبة . بتطبيق معادلات ما كسويل رياضياً يمكننا العثور على صغائر المجال المحيط بشحنة متذبذبة ، وعلى تركيبه بالقرب من المصدر وبعيداً عنه ، وعلى تغيرات هذا المجال بمرور الزمن . ونتيجة هذا التطبيق هو الموجة الكهرومغناطيسية . الشحنة المتذبذبة التي تتحرك بسرعة معينة في الفراغ تشع طاقة ولكن تحويل الطاقة ، أي حركة حالة من حالات المادة ، يميز جميع الظواهر الموجية .

تقد درسنا أنواعا مختلفة من الأمواج . كان لدينا الموجات الطولية التي تنتج عن الكرة النابضة حيث تنتقل تغيرات الكثافة خلال الوسط . وكان لدينا أيضاً الوسط الغروي الذي تنتشر فيه الموجات المستعرضة . ماهو نوع التغيرات التي تنتشر في حالة الموجة الكهرومغناطيسية ؟ مجرد تغيرات المجال الكهرومغناطيسي ! كل تغير في مجال كهربائي ينتج مجالاً مغناطيسياً ، وكل تغير في مجال مغناطيسي ينتج مجالاً كهربائياً ، كل تغير في . . . وهكذا . وحيث أن المجال يمثل طاقة فإن جميع هذه التغيرات المنتشرة في الفراغ بسرعة معينة تنتج موجة . وكما نستنتج من النظرية ، تقع جميع خطوط القوة الكهربائية والمغناطيسية دائماً في مستويات عمودية على اتجاه الانتشار . على ذلك تكون الموجة الناتجة مستعرضة . لا تزال الصفات الأصلية لصورة المجال التي كونها من تجرئتي أورستد وفارادى محتفظاً بها ولكننا نتحقق الآن من أن لها معنى أعمق .

تنتشر الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ المطلق . ومرة أخرى هذه نتيجة للنظرية . إذا توقفت الشحنة المتذبذبة فجأة عن الحركة فإن المجال يصبح مجالاً الكهروستاتيكية . ولكن سلسلة الأمواج التي ولدتها حركة الشحنة تستمر في الانتشار . ويكون للموجات وجود مستقل ويمكن تتبع تاريخها كما تتبع تاريخ أى شيء مادي آخر .

نفهم الآن لماذا تنشأ الصورة التي كونها للموجة الكهرومغناطيسية التي تنتشر بسرعة معينة في الفراغ والتي تتغير مع الزمن من معادلات ماكسويل . السبب الوحيد لذلك هو أن هذه المعادلات تصف تركيب المجال الكهرومغناطيسي عند أى نقطة في الفراغ وعند أية لحظة .

هناك سؤال آخر في غاية الأهمية . ماهي السرعة التي تنتشر بها الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ المطلق ؟ تعطينا النظرية بمساعدة بعض الاحصائيات التي نحصل عليها من تجارب بسيطة لاعلاقة لها بالانتشار الفعلي للأمواج ، إجابة واضحة : سرعة الموجة الكهرومغناطيسية تساوي سرعة الضوء .

لقد كونت تجربتنا أورستد وفارادى الأساس الذى بنيت عليه قوانين ماكسويل وجميع النتائج التى حصلنا عليها حتى الآن نتجت عن الدراسة الدقيقة لهذه القوانين معبراً عنها بلغة المجال . ويمد الاكتشاف النظرى الذى يعين السرعة التى تنتشر بها الموجة الكهرومغناطيسية على أنها سرعة الضوء من أعظم الاكتشافات فى تاريخ العلم .

وقد حققت التجربة ما تنبأت به النظرية . فنذا أكثر من خمسين عاماً ، أثبت هرتز بالتجربة لأول مرة وجود الموجات الكهرومغناطيسية وحقق عملياً أن سرعتها تساوى سرعة الضوء . وفى هذه الأيام يشاهد ملايين الناس الموجات الكهرومغناطيسية ترسل وتقبل . والواقع أن أجهزتهم أعقد بكثير جداً من ذلك الذى استعمله هرتز ، وهى تشع بوجود الموجات على بعد آلاف الأميال من مصدرها بدلاً من مجرد ياردات قليلة .

المجال والظهير :

تعرف الموجة الكهرومغناطيسية بأنها موجة مستعرضة تنتشر فى الفضاء بسرعة الضوء . ويوحى إلينا وجود سرعة واحدة للأمواج الضوئية والكهرومغناطيسية بضرورة وجود علاقة قوية بين الظواهر الضوئية والكهرومغناطيسية نفسها .

وعند ما كان علينا أن نفاضل بين نظرية الجسيمات والنظرية الموجية ، فضلنا النظرية الموجية لنجاحها فى شرح ظاهرة الحيود . فإذا فرضنا الآن أن الموجة الضوئية هى فى الحقيقة موجة كهرومغناطيسية فإن هذا الفرض لن يؤثر البتة فى تفسيرنا للظواهر الضوئية ، بل على العكس يمكننا من استخلاص نتائج جديدة أخرى . وإذا كان هذا الفرض صحيحاً فلا بد من وجود ارتباط ما بين الخواص الضوئية والكهربائية للعادة ، يسهل استنتاجه من النظرية . ويعتبر إيجاد هذا الارتباط وتحقيقه بالتجارب نصراً مبيناً للنظرية الكهرومغناطيسية .

ويعتبر هذا النصر أيضاً انتصاراً للنظرية المجال ، إذ قد أمكننا تمثيل فرعين

من العلوم مختلفين عن بعضهما بنظرية واحدة . فنظرية ماكسويل تشرح مثلاً ظاهرة التأثير الكهربائي وظاهرة انكسار الضوء . وينحصر الاختلاف بين الأضواء التي تشعر بها العين وبين الأمواج الكهرومغناطيسية الأخرى في أن طول الموجة في الحالة الأخيرة قد يقصر حتى يصل إلى أطوال الأضواء الأولى وقد يزداد كثيراً كما هي الحال في الأمواج التي يستقبلها المذياع . أى أن الاختلاف فقط هو في أطوال الموجات .

وقد كانت النظرية الميكانيكية القديمة تهدف إلى شرح جميع الظواهر الطبيعية على أساس وجود قوى بين الجسيمات المادية . وعلى هذا الأساس ابتدعت فكرة السيلال الكهربائي ، إذ كان من المسير على علماء القرن التاسع عشر تصور فكرة المجال ، فكانوا لا يفكرون إلا في المادة وتطوراتها وكل ما يتعلق بها .

وقد كان الغرض من استحداث فكرة الأثير في بدء الأمر هو المساعدة في فهم الظواهر الطبيعية على الأساس الميكانيكي المادى ، فحاولوا مثلاً شرح القوة الموجودة بين جسيمين مشحونين بالكهرباء بأسباب خاصة بالجسيمين . أما الآن فإنه يجب علينا — طبقاً للرأى الحديثة الخاصة بالمجال — أن نعتبر المجال الموجود بين الشحنتين ، لا الشحنتين نفسيهما ، إذا أردنا دراسة تأثيرها . وقد أخذ الاعتقاد بنظرية المجال يزداد قوة ووضوحاً وأخذت النظرية الميكانيكية في الاضمحلال وأدرك العلماء أن علم الطبيعة قد أشرف على فجر عهد جديد تحتل فيه نظريات المجال مكاناً كبيراً وأصبحنا الآن مثلاً ننظر إلى المجال الكهرومغناطيسى كنظرنا إلى شيء ملموس تماماً مثل الكتب الذى يجلس إليه .

ومن الإنصاف أن نذكر أن نظرية المجال الحديثة لم تقض على كل آثار النظرية الميكانيكية بل لأنها قد أظهرت بعض محاسن هذه النظرية الأخيرة فضلاً عن مواطن الضعف فيها . ولسنا نقصد في كلامنا هذا نظريات السيلال والمجال الكهربائيين فقط بل كل الظواهر الطبيعية ، فما زلنا مثلاً نعتز بوجود الشحنة الكهربائية نفسها رغمًا عن اعتقادنا — حسب نظرية المجال — بأن الشحنة ما هي إلا مصدر للمجال الكهربائي . وكذلك أيضاً ما زلنا نعتقد في صحة قانون كولوم واحتواء

معادلات ماكسويل له . وهكذا يمكننا استخدام بعض المعتقدات القديمة في حدود
لا يجب أن تتعدها .

ولكن نفهم حقيقة هذا التنوير يجب أن نذكر أن تكوين نظرية جديدة
لا يشبه عدم كوخ حدير وبناء ناطحة سحاب بدلاً منها بل أقرب شياً بحال
رجل يتسلق جبلاً فيتسع أفق نظره ويرى آفاقاً جديدة كلما ازداد ارتفاعه ، ويرى
طرقاً ومسالك جديدة تصل بين البقاع الموجودة في سفح الجبل مما كان يتعذر
عليه رؤيتها لو لم يبرح هذا السفح .

وفي الحقيقة أنه قد مضى زمن طويل قبل أن يستطيع الناس فهم الكنه
الحقيقي لمعادلات ماكسويل ، فكان العلماء أولاً يشبهون المجال بالمادة ويحاولون
استخدام فرض الأثير لفهم هذه المعادلات . ولكن الزمن كان خير كفيلاً بأنجح
فكرة المجال فسرعان ما تعاقبت انتصاراتها وزاد إيمان الناس بها وقصدت تبعاً
لذلك نظرية الأثير الكثير من بهائتها وروثها وأخذ الناس في الانصراف عنها .
وهكذا أصبح علينا الآن أن نسلم بأن الفراغ له خاصية السماح للأمواج
الكهرمغناطيسية بالمرور . وقد يحدث بين الحين والآخر أن نذكر عرضاً كلمة
الأثير ، وإن معنى هذه الكلمة أكثر من الصفة الطبيعية التي ذكرناها الآن
والتي تميز الفراغ . وزى من هذه التطورات الكثيرة التي لازمت فكرة الأثير
منذ ولادتها فلم يصبح الآن معنى وسطاً مكوناً من جسيمات مادية بل مجرد صفة
طبيعية للفراغ .

وللأثير دور كبير أيضاً في نظرية النسبية سنتكلم عنه فيما بعد .

السكان الميكانيكية :

لنرجع الآن قليلاً إلى الوراء ونعتبر قانون جاليليو للقصور الذاتي :
كل جسم يظل في حالة سكون أو حركة منتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر
عليه قوة خارجية .

لنتصور أنفسنا الآن نشاهد عالماً يريد تحقيق صحة هذا القانون أو عدمها بواسطة التجارب العملية . سيدفع العالم كرات صغيرة على سطح منضدة أقيية ملساء ، وسيلحظ أن حركة الكرات تصبح أكثر انتظاماً كلما قل مقدار الاحتكاك بين الكرة وسطح المنضدة . لنضع الآن العالم يجرى تجاربه ولنتصور أن الحجر قد أخذت في الدوران فجأة في مستوى أفقى حول محور في وسطها . سيلاحظ العالم أن الكرة ذات الحركة المنتظمة أخذت في حركتها تقترب من طرف المنضدة الأكثر قرباً من جدران الحجر أى الأكثر بعداً عن مركز الحجر ومحور الدوران . بل إن العالم نفسه سيشعر بقوة غريبة تدفعه نحو جدران الحجر ، سيسبح بنفس الشعور الذى يمانيه ركبوا القطار عند ما يتحرك هذا الأخير في مسار دائرى ، أو كشعور ركب الأرجوحة السريعة الدوران . وفي هذه الحالة سيجد العالم أنه لا مندوحة من نبد قانون القصور الذاتى وجميع القوانين الميكانيكية في عالمه — أى حجرته — السريعة الدوران حول المحور . فإذا تصورنا شخصاً ولد وقضى كل حياته داخل هذه الحجر الدائرة فإن قوانين الحركة التى سيلاحظها داخل الحجر ستختلف تمام الاختلاف عن القوانين التى تخضع لها الأجسام خارج الغرفة . ولكن إذا دخل امرؤ الحجر وهو عالم تماماً بحركتها الدورانية ولم بقوانين الطبيعة فإنه سيفسر عدم صلاحية القوانين الميكانيكية داخل الحجر بأنه راجع لهذا الدوران ، ويمكنه إجراء بعض تجارب لمعرفة هذه الحركة الدورانية .

ولعلك تتساءل عن سبب اهتمامنا بالحجرة السريعة الدوران ؟ والجواب على ذلك هو أننا — نحن معشر سكان الكرة الأرضية — في نفس وضع العالم الذى قضى عليه بالبقاء داخل الحجر الدائرة طيلة حياته ، إذ أننا قد أدركنا منذ عهد كوبرنيكوس أن الأرض تدور حول نفسها وحول الشمس أيضاً في نفس الوقت فإذا كان العالم الطبيعى لم يستطع إثبات قوانين الميكانيكا داخل الحجر الدائرة فإننا أيضاً لن نستطيع تحقيقها على سطح الأرض ولكن حيث أن حركة الأرض الدورانية بسيطة نسبياً فإن تعديل قوانين الميكانيكا سيكون طفيفاً . وهناك تجارب

كثيرة ندلنا على وجود اختلاف بسيط في قوانين الميكانيكا مما يدلنا على صحة الفرض بحركة الأرض الدورانية .

ومما يدعو إلى الأسف أنه ليس في استطاعتنا اختيار مكان بين الشمس والأرض يمكننا البقاء به لاختبار صلاحية قوانين الميكانيكا وحتى نرى بأعيننا حركة الأرض الدورانية . وإذن فلا مفر من أن نجري تجاربنا على سطح الأرض التي تقضى حياتنا فيها ، ويمكننا التعبير عن هذه الحقيقة رياضياً بقولنا إن الأرض هي محاورنا الاحداثية .

ولكي نفهم معنى هذه العبارة الرياضية سنذكر المثال التالي : إذا ألقينا حجراً من قمة برج عال فإنه يمكننا تعيين ارتفاع هذا الحجر عن سطح الأرض عند أى لحظة أثناء سقوطه ، وذلك بتثبيت مقياس كبير بجوار البرج نستطيع بواسطته تعيين هذه الارتفاعات . والفروض طبعاً أن البرج والمقياس ليسا مصنوعين من المطاط أو أى مادة يحتمل أن يتغير شكلها أثناء التجربة . وفي الحقيقة أن ما نحتاج إليه لإجراء هذه التجربة — أى تعيين ارتفاعات الحجر أثناء سقوطه — لا يعدو المقياس المتماك وساعة دقيقة فقط . فإذا توفر لدينا ذلك أمكننا تجاهل شكل البرج ، بل وحتى مجرد وجوده . وعند إجراء هذه التجربة لا نذكر عادة وجود المقياس والساعة حيث أن وجودهما مفروض بالبديهية ولا بد منه لتحقيق قانون جاليليو للأجسام الساقطة . وبفضل هذا الجهاز البسيط — أى المقياس والساعة — يمكننا تحقيق هذا القانون الميكانيكي لدرجة معينة من الدقة . وسنرى أن هناك فرقاً بين النتائج المستنتجة نظرياً من القانون الميكانيكي وبين النتائج العملية الناتجة من استخدام المقياس والساعة وذلك بسبب دوران الأرض . ويمكننا التعبير عن ذلك رياضياً أيضاً بقولنا : إن قوانين الميكانيكا ، على الصورة التي سبق ذكرها ، لا تتحقق تماماً في المحاور الاحداثية المثبتة في سطح الأرض .

ومن الطبيعي أنه يلزمنا في جميع التجارب الميكانيكية على الإطلاق تعيين أما كن نقط مادية عند لحظات معينة ، كما حدث عند دراستنا للجسم الساقط من قمة البرج . ولكن يجب ألا يغيب عن بالنا أن موضع الجسم الساقط في أية لحظة

يجب أن ينسب إلى شيء ما كالبرج أو المقياس مثلاً ، إذ لا بد من وجود إحداثيات تشير إليها كسقالة ميكانيكية حتى نستطيع تعيين أماكن الأجسام . وهذا ما يحدث عند تعيين أماكن الأفراد والمباني في مدينة ما إذ تكون شبكة الطرق والمباني مجموعة احداثيات تشير إليها . وعند ما ذكرنا قوانين الميكانيكا فيما سبق لم نهم بتعيين الاحداثيات ، لأننا بسبب وجودنا على سطح الأرض لن نجد أية صعوبة في اختبار إحداثيات ما وثبتها على سطح الأرض .

ولم نشر بشيء إلى الاحداثيات الثبته في جميع القوانين والفروض الطبيعية التي سبق ذكرها حتى الآن ، بل حتى تجاهلنا مجرد وجودها . فمثلاً عندما ذكرنا « يتحرك الجسم بانتظام » كان يجب علينا أن نكتب « يتحرك الجسم بانتظام بالنسبة إلى احداثيات معينة » . ولا غرو فقد علمتنا تجربة الحجره السريعه الدوران أن نتائج التجارب الميكانيكية قد تتوقف على الاحداثيات المختارة .

وإذا فرضنا أن لدينا مجموعتين من الإحداثيات تدور كل منهما بالنسبة للأخرى فإن قوانين الميكانيكا لن تتحقق في كليهما معاً . فإذا أخذنا سطح الماء الساكن في حوض سباحة مثلاً أساساً لأحداثياتنا فإن سطح الماء في حوض سباحة آخر — يتحرك حركة دورانية سريعه بالنسبة للأول — لن يكون أفقياً في هذه الأحداثيات ، بل يتخذ الشكل الذي يأخذه سطح اللبن في كوب عند ما نحركه بواسطة ملعقة صغيرة .

وعند ما بدأنا بصياغة قواعد الميكانيكا فإنا أن نذكر شيئاً مهماً ، ألا وهي الاحداثيات التي تتحقق فيها هذه القوانين . لنسرع بالمرور على هذه النقطة ولنقدم الفرض التقريبي بأن هذه القوانين تتحقق في كل الاحداثيات الثبته في سطح الأرض . وبذلك نتحدد جميع نتائجنا بالنسبة إلى أحداثيات معينة . هذا على الرغم من أن سطح الأرض لا يصلح تماماً لكي نتخذها كأساس لمجموعة احداثيات .

لنفرض إذن أن لدينا مجموعة من الأحداثيات تتحقق فيها قوانين الميكانيكا ، ولنتساءل الآن عما إذا كانت هذه المجموعة هي الوحيدة ؟ لنحاول اتباع أحداثيات

أخرى كقطار أو سفينة أو طائرة مثلا متحركة بالنسبة للأرض ولتبحث الآن فيما إذا كانت قوانين الميكانيكا ستظل نافذة بشكلها المألوف في هذه الأحداثيات الجديدة . وتدلنا أمثلة القطار المتحرك في مسار منحني أو السفينة المدفوعة بعامفة أو الطائرة التي تدور حول نفسها على أن قوانين الميكانيكا هذه لن تكون صحيحة على الإطلاق . لنبدأ الآن بدراسة تجربة بسيطة تعتبر فيها مجموعة أحداثية معينة متحركة بسرعة منتظمة بالنسبة لأحداثياتنا المفروضة ، أى التي تتحقق فيها قوانين الميكانيكا ؛ أى كقطار أو سفينة تتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم . تدلنا المشاهدات العملية في مثل هذه الأحوال على أن التجارب التي ستقوم بها في القطار أو السفينة ستعطينا نفس النتائج التي نحصل عليها لو أجرينا هذه التجارب على سطح الأرض . ولكن إذا وقف القطار على حين غرة أو ازدادت سرعته فجأة أو إذا اشتد هياج البحر فإننا نشاهد حدوث ظواهر غريبة . فنشاهد سقوط الحقايب والأمتعة في القطار ، ويحتل توازن الموايد والقاعد وتتناثر هنا وهناك فوق السفينة ويشعر المسافرون بدوار البحر . وبدلنا ذلك كله من الناحية الطبيعية العملية بأن قوانين الميكانيكا لا يمكن أن تتحقق أو تطبق على مثل هذه الأحداثيات ، أى أن هذه الأحداثيات تعتبر غير ملائمة .

ويمكننا التعبير عن هذه النتيجة بنظرية جاليليو النسبية : إذا كانت قوانين الميكانيكا صحيحة في أحداثيات معينة ، فإنها ستظل متحققة في أية أحداثيات أخرى متحركة بسرعة منتظمة بالنسبة للأولى . فإذا كان لدينا مجموعتان من الأحداثيات تتحركان بغير انتظام بالنسبة لبعضهما فإن قوانين الميكانيكا لا يمكن أن تتحقق في كليهما . وتسمى الأحداثيات التي تتحقق فيها قوانين الميكانيكا بأحداثيات القصور الذاتي .

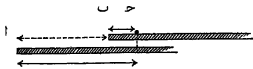
لنعتبر الآن مجموعتين احداثيتين في نقطة معينة ، لنفرض أن إحداها بدأت تتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة للأخرى ، كقطار أو سفينة تتحرك بالنسبة إلى سطح الأرض مثلا . سنجد أننا نستطيع تحقيق قوانين الميكانيكا لنفس الدرجة من الدقة في كل من الأرض والقطار أو السفينة المتحركين بانتظام . ولكن إذا وقع

حدث ما ، وحاول مشاهدان كل منهما في مجموعة أحداثية مختلفة ، تسجيل نتائجها فإن المسألة تصبح أكثر تعقيداً . فلنفرض الآن أننا حاولنا دراسة حركة نقطة مادية من مجموعتين أحداثيتين مختلفتين كالأرض وقطار متحرك بسرعة منتظمة مثلاً . نظراً إلى أن هاتين المجموعتين هما من نوع أحداثيات القصور الذاتي ، فإنه يكفي أن نعلم النتائج التي سجلها أحد المشاهدين والسرعة النسبية ، وأما كني المجموعتين عند لحظة معينة لكي نستطيع أن نوجد النتائج التي سيجدها المشاهد الآخر . إذ أنه من المهم جداً لوصف الأحداث أن نعرف كيف تنتقل من مجموعة أحداثية إلى أخرى ، حيث أنهما متكافئتان ومناسبتان لوصف أحداث الطبيعة ، وبذلك نستطيع معرفة النتائج التي يحصل عليها مشاهد في إحدى المجموعتين من تلك التي يجدها آخر في المجموعة الثانية .

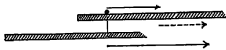
لندرس الآن المسألة من الناحية المجردة دون ذكر سفينة أو قطار أو غيره ، ولنعتبر الحركة في خطوط مستقيمة . سنفرض أن لدينا مقياساً متماسكاً وساعة دقيقة . وفي حالة الحركة في خط مستقيم سيكون المقياس هو مجموعتنا الأحداثية ، كما كان مقياس البرج في تجربة جاليليو . ومن الأسهل دائماً أن نعتبر مجموعتنا الأحداثية في حالة الحركة في خط مستقيم كقضبان مقياس متماسكة ، وفي حالة الحركة في الفراغ ، كسقالة متماسكة مصنوعة من قضبان رأسية وأفقية .

لنفرض أن لدينا مجموعتين من الأحداثيات ، أي مقياسين متماسكين ولنمثلهما بخططين مستقيمين أحدهما فوق الآخر ، ولنطلق عليهما الأحداثيات العليا والسفلى ولنفرض أيضاً أن هاتين المجموعتين تتحركان بسرعة نسبية معينة كل بالنسبة للآخر أو بعبارة أخرى أن أحد المستقيمين ينزلق فوق الآخر . ولعله من الأنسب أن نفرض أن هذين المقياسين لها طولان لانهائيان ، وأنه ليس لدينا سوى ساعة واحدة ، حيث أن الزمن يسير بمعدل واحد في كلا المجموعتين . ولنفرض أنه عند بدء التجربة كانت نقطتا ابتداء المقياسين منطبقتين ، أي أنه عند هذه اللحظة كانت لهما نفس أرقام التدرج ولكن هذه الأرقام ستختلف عند الحركة بالطبع . لنفرض الآن أن هناك نقطة مادية مثبتة في المقياس العلوي وإذن فسيكون الرقم المحدد

لموضعها على المقياس العلوى ثابتاً لا يتغير بمرور الزمن في حين أن الرقم المعين لموضعها على المقياس السفلى سيتغير باستمرار . دعنا نستبدل العبارة « الرقم المعين لموضع النقطة على المقياس » باللفظ الرادف « أحداثها » .



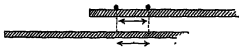
وكما هو مبين في الشكل يمكننا القول بأن أحداث الجسيم المادى في المجموعة الأحداثية السفلى (أى الطول h) يساوى أحداث الجسيم في المجموعة العليا (أى b) مضافاً إليه أحداث نقطة الابتداء، (أى a) . أى أننا يمكننا دائماً تقدير موضع جسيم في مجموعة أحداث معينة إذا عرفنا موضعه في مجموعة أخرى . ولهذا السبب يجب علينا أن نعرف الأوضاع النسبية للمجموعتين الأحداثيتين في كل لحظة . ولبعدنا القارى لهذا الإسهاب في هذه النقطة البسيطة ولذلك لغائده فيما سيلي بعد ذلك . ويجدر بنا أن نلاحظ الفرق بين تعيين مكان نقطة ما ووقت وقوع حدث معين ، إذ أن لكل شاهد مقياسه الخاص به (أى مجموعته الأحداثية) في حين أن ليست هناك سوى ساعة توقيت واحدة ، أى أن الزمن يبدو كشيء مطلق واحد بالنسبة لجميع المشاهدين في المجموعات المختلفة .



وسنذكر الآن مثلاً آخر : يتجول رجل على سطح سفينة كبيرة يعمل ثلاثة أميال في الساعة ، أى أن هذه هي سرعته النسبية بالنسبة إلى السفينة ، أو بعبارة أخرى بالنسبة إلى أحداث ثابتة في السفينة فإذا كانت سرعة السفينة ثلاثين ميلاً في الساعة بالنسبة إلى الشاطئ وإذا كان اتجاه سرعة السفينة وحركة الرجل المنتظمين في نفس الاتجاه فإن سرعة الرجل تكون ثلاثة وثلاثين ميلاً في الساعة بالنسبة إلى مشاهد قابع بالشاطئ أو ثلاثة أميال بالنسبة إلى شاهد جالس على ظهر السفينة . أى أننا يمكننا التعبير عن هذه الظاهرة بشكل عام كما يلي « تكون سرعة

نقطة مادية بالنسبة للأحداثيات السفلى مساوية لسرعتها بالنسبة للأحداثيات العليا مضافاً إليها أو مطروحاً منها سرعة الأحداثيات العليا على حسب ما إذا كانت السرعتان في اتجاه واحد أو اتجاهين مختلفين « وإذن فليست الأوضاع فقط بل وكذلك السرعة هي التي يمكننا دائماً تحويل قيمها من أحداثيات معينة إلى أخرى إذا علمنا سرعة المجموعتين الإحداثيتين النسبية . أى أن الأماكن والسرعة هي أمثلة للكميات التي تختلف قيمها باختلاف الأحداثيات وترتبط ببعضها بواسطة قوانين تحويل .

ومع ذلك فهناك كميات لا تتغير قيمها في كلا المجموعتين الإحداثيتين وإذن فلا تحتاج إلى قوانين تحويل . لنعتبر مثلاً نقطتين مثبتتين على المقياس العاوى ولنقس المسافة بينهما . ستكون هذه المسافة هي الفرق بين إحداثيي النقطتين اللتين تنحصر بينهما . وإذا أردنا تعيين أماكن هاتين النقطتين بالنسبة لإحداثيات أخرى فاننا سنحتاج إلى استخدام قوانين تحويل . ولكن حينما نهتم بالفرق بين موضعي النقطتين فإن تأثير الأحداثيات المختلفة يتلاشى كما هو موضح في الرسم . وإذن فالسافة بين نقطتين هي « كمية لامتغيرة » أى أنها لا تتوقف على طريقة اختيار الأحداثيات .



والمثال الثاني للكمية التي لا تتوقف على الأحداثيات هو التغير في السرعة وهي كمية مألوفة في الميكانيكا . سنفرض مرة أخرى أن لدينا مشاهدين يلاحظان حركة نقطة مادية في خط مستقيم . سيكون التغير في سرعة هذه النقطة بالنسبة لسلك مشاهد في مجموعته ، هو فرق بين سرعتين وبذلك سيفتحن كل أثر للسرعة النسبية المنتظمة للمجموعتين ، عند حساب هذا الفرق . وإذن ينتج أن التغير في السرعة هو كمية « لامتغيرة » على أساس الفرض بأن الحركة النسبية للمجموعتين منتظمة . أما في الحالة التي تكون فيها السرعة النسبية متغيرة فإن التغير في السرعة

سيختلف في كلا من المجموعتين بسبب اختلاف السرعة النسبية بين المقياسين المثلين للمجموعتين الاحداثيتين .

وهاك المثال الأخير : لنفرض أن لدينا نقطتين ماديتين بينهما قوة تتوقف فقط على المسافة بينهما . في حالة السرعة النسبية المنتظمة . ستظل المسافة بين النقطتين وكذلك القوة ثابتة ، وحيث أن قانون نيوتن يربط بين القوة والتغير في السرعة ، فإننا نستنتج أن هذا القانون سيتحقق في كلا المجموعتين . أى أننا قد توصلنا مرة أخرى إلى النتيجة التي حققها المشاهدات اليومية وهي : إذا تحققت قوانين الميكانيكا في مجموعة احداثية فإنها تستمر كذلك في جميع الاحداثيات المتحركة بسرعة منتظمة بالنسبة للمجموعة الأولى .

وقد استخدمنا في أمثالتنا السابقة الحركة في خط مستقيم حيث يمكننا تمثيل المجموعات الاحداثية بمقاييس متساكة ، ولكن النتائج التي حصلنا عليها صحيحة وعمامة ويمكننا تلخيصها فيما يلي :

١ - ليست لدينا أية وسائل لايجاد مجموعات احداثية قاصرة فاننا نستطيع تكوين عدد لانهاى منها ، حيث أن كل المجموعات الإحداثية التي تتحرك بانتظام بالنسبة لبعضها تصبح احداثيات قاصرة ، إذا كانت إحداها كذلك .

٢ - زمن وقوع حدث ما ثابت في جميع المجموعات الاحداثية ، ولكن الاحداثيات والسرع مختلف على حسب قوانين التحويل بين الاحداثيات .

٣ - على الرغم من اختلاف السرع والإحداثيات عند تحويلها من مجموعة إلى أخرى ، فإن القوة والتغير في السرع وبالتالي قوانين الميكانيكا تظل ثابتة بالنسبة إلى قوانين التحويل .

وسنطلق على قوانين التحويل الخاصة بالاحداثيات والسرع في الميكانيكا الكلاسيكية : قوانين التحويل الكلاسيكية أو باختصار «التحويل الكلاسيكي» .

الأيثر والحركة :

تعتبر نظرية جاليليو النسبية صحيحة بالنسبة للظواهر الميكانيكية ، أى أن قوانين الميكانيكا تتحقق فى جميع المجموعات الإحداثائية القاصرة المتحركة بالنسبة لبعضها . ولعلنا تتساءل عما إذا كان من الممكن تعميم تلك النظرية لى تشمل أيضا الظواهر غير الميكانيكية ولاسيما تلك التى يلعب فيها المجال دورا كبيرا . وسيؤدى بنا البحث لإجابة هذا السؤال إلى مبادئ النظرية النسبية .

فن المعلوم مثلا أن سرعة الضوء فى الفراغ أو بعبارة أخرى فى الأثير تبلغ ١٨٦٠٠٠ ميللا فى الثانية وأن الضوء هو عبارة عن مجموعة من الموجات الكهرمغناطيسية تنتشر خلال الأثير . ونعلم كذلك أن المجال الكهرمغناطيسى مصحوب دائما بقدر معين من الطاقة يمكننا إدراكها بمجرد اشعاعها .

وعلى الرغم من أننا نعلم حق العلم المصاعب العديدة التى تكثف كنه التركيب الميكانيكى للأثير فإننا سنستمر مؤقتا فى الاعتقاد بأن الأثير هو وسط تنتشر فيه الأمواج الكهرمغناطيسية .

نفرض الآن أننا جلوس فى حجرة زجاجية مغلقة معزولة عن العلم الخارجى فلا يمكن للهواء أن يتسرب منها أو إليها ، ثم أخذنا فى تبادل الأحاديث ، أى أننا أخذنا فى توليد وإرسال أموجا صوتية تنتشر من مصادرها (أفواهنا) بسرعة الصوت فى الهواء . فإذا لم يوجد الهواء بين الفم المتحدث والأذن المنصتة ، فإننا لن نسمع أبدا أى صوت . وقد أثبتت التجارب العملية أن سرعة الصوت ثابتة فى جميع الاتجاهات إذا كان الهواء ساكنا فى المجموعة الاحداثائية التى اخترناها .

نفرض أن الحجره أخذت الآن فى التحرك بسرعة منتظمة خلال الفضاء وأن هناك شاهدا خارج الغرفة يرى من خلال جدرانها الزجاجية كل ما يحدث داخلها ، وأن هذا المشاهد سيجاول قياس سرعة الصوت الصادر فى الغرفة المتحركة بالنسبة إلى احداثيات مثبتة فى مكان وجوده . أى أننا سنعود مرة أخرى إلى

الكلام عن كيفية تعيين السرعة في أحداثيات معينة إذا كانت معروفة في مجموعة أخرى . سيدعى المشاهد الداخلى (أى داخل الغرفة) أن سرعة الصوت بالنسبة إليه ثابتة في جميع الاتجاهات في حين أن المشاهد الخارجى سيقدر أن سرعة الصوت الصادر في الحجره المتحركة ، والتي ثابتت في مجموعته الاحداثية ، ايسث ثابتة في كل الاتجاهات ، إذ أن قيمتها ستزيد عن القيمة القياسية لسرعة الصوت في اتجاه حركة الغرفة وستقل في الاتجاه المضاد .

ومن السهل الوصول إلى هذه النتائج بواسطة التحولات الكلاسيكية (يمكننا تحقيقها أيضاً بالتجربة) . إذ أن الحجره تحمل معها الوسط المادى . أى الهواء - الذى تنتشر فيه أمواج الصوت وإذن ستختلف سرعة الصوت بالنسبة للمشاهدين الداخلى والخارجى .

ويمكننا استخلاص نتائج أخرى من نظرية الصوت باعتباره كموجات تنتشر خلال وسط مادى . فمثلاً يمكننا إيجاد طريقة - ليست الوحيدة دون شك - للهرب من سماع كلام لآنود سماعه ، وذلك بأن نبتعد عن التكلم بسرعة أكبر من سرعة الصوت بالنسبة للهواء المحيط به . وبذا لن نتمكن موجات الصوت غير المرغوب فيها من اللحاق بنا . وكذلك إذا سعى علينا التنبه لكلمة سبق أن قيلت ونود معرفتها ، علينا أن نجري بسرعة أكبر من سرعة الصوت كي نتمكن من اللحاق بالموجات التى تكون الكلمة المراد سماعها . وليس في هذين المثالين ما يصعب تصديقه سوى أن علينا أن نجري بسرعة تبلغ أربعائة ياردة في الثانية ، ولا شك أن التطور الصناعى الحديث سيجعل تحقيق ذلك في حيز الإسكان . وتتعلق الرصاصة من فوهة نندقية بسرعة أكبر من سرعة الصوت ، فإذا تحرك شخص مامع هذه الرصاصة بسرعتها فإنه لن يسمع صوت انطلاقها من البندقية على الإطلاق .

وتتميز جميع هذه الأمثلة بطابع ميكانيكى بحت ، ولذا فقد ينظر بياننا أن نضع الآن هذه الأسئلة المهمة ا يمكننا إجراء تجارب مشابهة لتلك التى قنا بها في حالة الأمواج الصوتية مع أمواج الضوء ؟ وهل تنطبق نظرية جاليليو النسبية والتحويل الكلاسيكى على الظواهر الضوئية والكهربائية ؟ ولعله من المظاهرة أن

نجيب على هذه الأسئلة ببساطة بقولنا « نعم » أو « لا » قبل أن نتفهم هذه المسائل حق الفهم .

في حالة الموجات الصوتية الصادرة داخل الحجرة المتحركة بانتظام ، بيننا وتأمنجا على الاعتبارات الآتية :

تحمل الحجرة معها ما بداخلها من الهواء الذي تنتشر فيه أمواج الصوت .
ترتبط السرعتان المشاهدتان في مجموعتين إحدائيتين - تتحرك كل منهما بسرعة منتظمة بالنسبة للأخرى - بقوانين التحويل الكلاسيكية .

فإذا اعتبرنا الآن الأمواج الضوئية بدلاً من الأمواج الصوتية فإن الحالة تتغير إذ أن الشخصين لن يتكلموا بل سيتراسلا بواسطة الأشارات أو الموجات الضوئية المنتشرة في جميع الاتجاهات . فلنفرض إذن أن مصادر الضوء مثبتة في الحجرة باستمرار وأن الموجات الضوئية تنتقل في الأثير كما تنتقل أمواج الصوت في الهواء .

ولكن هل يتحرك الأثير مع الحجرة كما فعل الهواء ؟ وبما أنه ليس لدينا صورة ميكانيكية عن الأثير فإنه من الصعب جداً الإجابة على مثل هذا السؤال . إذا كانت الغرفة منقلقة فإن ما بداخلها من الهواء سيتحرك معها . ومن الواضح أنه ليس هناك أى معنى لمعاملة الأثير بالمثل ، حيث أن الأثير يخترق جميع الأجسام المادية ، فليسب هناك حواجز تقف دونه . وفي هذه الحالة ستمثل الحجرة المتحركة مجموعة أحداثيات متحركة مثبت بها مصدر ضوئى . ومع ذلك فليس هناك ما يمنعنا من أن نتصور أن الحجرة المتحركة والحاملة لمصدر الضوء ، تحمل أيضاً معها الأثير ، تماماً كما كانت الحجرة المنقلقة تحمل معها مصدر الصوت والهواء . ولكن يمكننا أيضاً تصور العكس ؛ أى أن الحجرة تتحرك خلال الأثير تماماً كما تتحرك سفينة خلال بحر عديم المقاومة للحركة ، فلا تحمل معها أى جزء من الوسط بل تتحرك خلاله فقط . ففي الحالة الأولى تحمل الحجرة الأثير مع مصدر الضوء وبذا تصبح الحالة مشابهة تماماً للحالة الصوتية وبذلك سنحصل على نتائج مشابهة . أما في الحالة الثانية فإن الغرفة المتحركة الحاملة لمصدر الضوء لن تحمل معها الأثير وبذلك

ستقدم المشابهة مع الحالة الصوتية ولا يمكننا إذن تطبيق نتائج الحالة الصوتية على حالة الأمواج الضوئية . وهاتان الحالتان هما الاحتمالان النهائيان . وطبيعى أنه يمكننا الاسترسال في الخيال فنفرض وجود الحالة الصلبة التى فيها تعطى الحجرة الحاملة للمصدر حركة جزئية للأثير . ولكن ليس هناك ما يجعلنا ندرس هذه الحالات المتقدمة قبل أن نبحث فيها إذا كانت التجارب العملية تؤيد إحدى الحالتين النهائيتين البسيطتين .

وسنبداً الآن بدراسة إحدى هاتين الحالتين فنفرض أن الغرفة المتحركة تحمل معها الأثير وأن مصدر الضوء مثبت داخلها . فإذا كانت قاعدة التحويل سرعات الموجات الصوتية صحيحة فإننا يمكننا معاملة الموجات الضوئية بالمثل . وليس هناك ما يدعو إلى الشك فى صحة قوانين التحويل التى تنص على أن السرعة تضاف إلى بعضها فى حالات وتطرح من بعضها فى أخرى . فنفرض إذن أن الأثير يتحرك مع الحجرة وأن قوانين التحويل صحيحة . فإذا ضغطنا الآن مثلاً زر كهربائى لإضاءة مصدر الضوء الموجود بالحجرة . فإن موجات الضوء ستتحرك بسرعة ١٨٦٠٠٠ ميلاً فى الثانية . وبما أن المشاهد الخارجى سيلاحظ حركة الحجرة ، وبالتالي كذلك حركة المصدر ، المثبت فيها والأثير - الذى يحمل موجات الضوء - والذى تدفعه الحجرة على الحركة معها ، فإن استنتاجاته ستكون بأن سرعة الضوء - مقاسة فى أية مجموعة أحداثية خارجية - ستختلف باختلاف اتجاه الحركة . وستكون قيمة السرعة أكبر من القيمة القياسية إذا قيست فى اتجاه الحركة وأقل منها إذا قيست فى الاتجاه المضاد . أى أننا فى حالة الحجرة المتحركة والمثبت بها مصدر الضوء والذى تحمل معها الأثير قد توصلنا إلى النتيجة الآتية : تتوقف سرعة الضوء على سرعة المصدر نفسه ، إذا فرضنا صحة قوانين التحويل . أى أن سرعة الضوء الذى يصلنا من مصدر متحرك تكون أكبر من السرعة القياسية إذا كانت حركة المصدر فى اتجاهنا وأقل منها إذا كانت فى الاتجاه البتدعنا .

إذا أمكن لسرعتنا أن تزيد عن سرعة الضوء فإنه يصبح فى إمكاننا الهروب من إشارة ضوئية مقتربة منا . ويمكننا كذلك رؤية أحداث ماضية عند لحاقنا

بالأمواج الضوئية التي سبق إرسالها من قبل . وسنرى هذه الحوادث بترتيب عكسي لنظام حدوثها إذ أننا سنلحق أولاً بالموجات المرسله حديثاً ثم المرسله قبلها وهكذا . وستظهر أماننا سلسلة الحوادث التي وقعت على سطح الأرض كصور فلم سينأى بدءه في عرضه من نهايته إلى أوله . وتنتج جميع هذه النتائج من الفرض بأن مجموعة الاحداثيات المتحركة تحمل معها الأثير وبأن قوانين التحويل الميكانيكية تتحقق دائماً ؛ أى أن التشابه بين الضوء والصوت يكون تاماً في هذه الحالة .

ولكن ليس هناك ما يؤيد صحة هذه الاستنتاجات ، بل إن جميع التجارب التي أجريت بقصد تحقيقها قد أنت بنتائج عكسية على خط مستقيم وبشكل لا يمحتمل الشك . هذا على الرغم من كون هذه التجارب غير مباشرة بسبب الصعوبات الفنية اللمة الناتجة من كبر قيمة سرعة الضوء . أى أن نتائج هذه التجارب كلها هي : « لسرعة الضوء نفس القيمة في جميع الاحداثيات ، غير متوافقة البتة على حركة مصدر الضوء وكيفيةها » .

ولن ندخل هنا في وصف تفصيلي للتجارب المعدينة التي تمكنتنا من الوصول إلى هذه النتيجة ، ولكن يمكننا ذكر بعض الاعتبارات التي وإن لم تثبت أن سرعة الضوء لا تتوقف على سرعة المصدر فإنها تجعل هذه الحقيقة مستساغة ومقنعة . تتحرك الكرة الأرضية وزميلاتها من سيارات المجموعة الشمسية في حركة دورانية حول الشمس . ولم تعرف حتى الآن أية مجموعة فلكية شبيهة بالمجموعة الشمسية ، ولكن يوجد عدد كبير مما يسمى بالنجوم المزدوجة . والنجم المزدوج هو عبارة عن نجمين يتحركان حول نقطة تسمى بمركز ثقلهما . وقد أثبتت مشاهدة حركة هذه النجوم المزدوجة صحة قانون نيوتن للجاذبية . دعنا نفرض الآن أن سرعة الضوء تتوقف على سرعة مصدره ، فيستنتج من ذلك أن الإشارة أو الشعاع الضوئي القادم من النجم سيتحرك بسرعة أو يبطء حسب قيمة سرعة النجم عند لحظة إرسال الشعاع . وفي هذه الحالة تصبح الحركة (كما نشاهدها) مضطربة ، ويصبح من المستحيل في حالة النجوم المزدوجة تحقيق قانون الجاذبية التي تسير بمقتضاه مجموعتنا الشمسية .

ولنتبر تجربة أخرى مبنية على فكرة بسيطة . لتتصور عجلة تدور بسرعة كبيرة ، فطبقا لافتراضنا سيتحرك الأثير مع العجلة المتحركة . فإذا صرنا الآن موجة ضوئية قريبا من العجلة الدائرة فإن سرعتها ستتوقف على ما إذا كانت العجلة ساكنة أو متحركة ، حيث أن سرعة الضوء في الأثير الساكن تختلف عن قيمتها في الأثير الذي تدفعه العجلة على الدوران معها ، تماما كما تختلف سرعة الصوت عندما يكون الهواء ساكنا عن قيمتها عند ما تهب رياح عاصفة . ولكننا لم نتمكن علما من ملاحظة أى فرق في سرعة الضوء مهما أعدنا من تجارب دقيقة وكانت النتيجة باستمرار ضد الفرض بحركة الأثير . ويمكننا الآن ذكر النتائج التالية التي تؤيدها جميع الاعتبارات والأدلة العلمية .

لا تتوقف سرعة الضوء على حركة مصدر الضوء .

لا يصح لنا أن نفرض أن الأجسام المتحركة تحمل الأثير المحيط بها .

وإذن يجب علينا أن نبتذ جانبنا فكرة التشابه بين أمواج الصوت وأمواج الضوء ، وأن نبدا بدراسة الاحتمال الثانى الذى ينص على أن المادة تتحرك خلال الأثير الذى لا يتأثر بتأثرتا بحركة الأجسام . أى أننا سنفرض وجود بحر من الأثير يحوى كل الاحداثيات سواء أكانت ساكنة أم متحركة بالنسبة إليه . ولنهمل الآن مؤقتا السؤال عما إذا كانت التجارب العملية قد أثبتت صحة هذا الفرض أو عدم صحته ، إذ أنه من الأفضل أن نفهم معنى هذا الفرض الجديد والنتائج التي يمكننا استخلاصها منه .

وهناك مجموعة احداثيات ساكنة بالنسبة إلى هذا البحر الأثيرى . ولا يمكننا - فى الميكانيكا - التفرقة بين مجموعة وأخرى من بين المجموعات الإحداثية التي تتحرك بانتظام بالنسبة لبعضها ، وإذن تعتبر جميع هذه المجموعات متشابهة فى كل شيء . وإذا كان لدينا مجموعتان احداثيتان متحركتان بالنسبة لبعضهما بسرعة منتظمة فإنه ليس هناك معنى فى الميكانيكا للتساؤل عن أيهما المتحرك وأيها الساكن حيث أن السرعة النسبية هى التي يمكننا مشاهدتها فقط . ولن نستطيع التحدث عن الحركة المنتظمة المطلقة بسبب قاعدة جاليليو النسبية . ما هو معنى القول بأن

للحركة المطلقة - فضلا عن الحركة النسبية - وجود ملموس ؟ الجواب ببساطة هو أن هناك مجموعة احداثية تكون فيها القوانين الطبيعية مختلفة عن مثيلاتها في المجموعات الاحداثية الأخرى ، وتعنى كذلك أن المشاهد يستطيع أدراك ماإذا كانت مجموعته الاحداثية متحركة أم لا بمقارنة القوانين المتحققة في مجموعته بمثيلاتها في مجموعة الاحداثيات الوحيدة التي يمكننا اتخاذها كمجموعة قياسية . وتعتبر هذه الاعتبارات غير مألوفة في الميكانيكا الكلاسيكية حيث ليس هناك أى معنى للكلام عن الحركة المنتظمة المطلقة بتمتضى قانون جاليليو للقصور الذاتى .

« ماهى الاستنتاجات التي يمكننا الحصول عليها من ظواهر المجال ، إذا فرضنا الحركة في الأثير ؟ وهذا يعنى أن هناك مجموعة احداثية واحدة مميزة وثابتة بالنسبة للبحر الأثيرى . ومن الطبيعى أنه يجب أن تأخذ بعض قوانين الطبيعة صوراً مختلفة في هذه المجموعة وإلا فلا معنى للعبارة « الحركة خلال الأثير » وإذا كانت قاعدة جاليليو النسبية صحيحة فلن يكون هناك معنى للحركة خلال الأثير ؛ إذ أن التوفيق مستحيل بين الفسكرتين . فإذا وجدت مجموعة احداثية خاصة مثبتة في الأثير فإنه يحق لنا الكلام عن الحركة أو النسكون المطلقين .

وفي الحقيقة أنه ليس من حقنا أن نختار ، فقد حاولنا جاهدين إنقاذ قاعدة جاليليو النسبية بفرض أن المجموعات الأحداثية تحمل الأثير معها في حركتها ، ولكن ذلك أدى إلى التعارض مع التجارب العملية ، فلم يصبح أمامنا إذن سوى أن ننبذ قاعدة جاليليو النسبية ونعتبر الفرض القائل بأن جميع الأجسام تتحرك خلال البحر الأثيرى الساكن .

وسندرس الآن بعض الاستنتاجات المعارضة لقاعدة جاليليو النسبية والتي تؤيد فكرة الحركة خلال الأثير ، وستخيل الآن بعض تجارب نجرها على هذه الاستنتاجات ، بغض النظر عن الصعوبات العملية التي تحول دون تحقيق هذه التجارب ، حيث أن ما يعيننا الآن هى النظريات وليست الصعوبات العملية .

سنعود الآن مرة ثانية إلى حجرتنا السريعة الدوران وإلى المشاهدين الخارجى والداخلى . من الطبيعى أن يتخذ المشاهد الخارجى البحر الأثيرى كمجموعة

أحداثياته ، وهى المجموعة المميزة التى تبلغ فيها سرعة الضوء قيمتها القياسية .
وسترسل جميع المصادر الضوئية - الساكنة والمتحركة فى البحر الأثيرى -
الضوء منتشراً بنفس السرعة القياسية . لنفرض أن الحجره وبها المشاهد الداخلى
تتحرك خلال الأثير وبأن جدرانها شفافة بحيث تمكن المشاهدين الخارجى
والداخلى من قياس سرعة الضوء عند توليد إشارة ضوئية وسط الحجره . فإذا
سألنا كلا المشاهدين عن نتائج قياسهما لاقتربت إجابتهما مما يلى :

المشاهد الخارجى : حيث أن مجموعة أحداثياتى مثبتة فى البحر الأثيرى فإن
الضوء سيكون له نفس السرعة القياسية ، ولن يعينى ما إذا كان مصدر الضوء
متحركاً أم لا ، حيث أن الأثير ثابت لا يتحرك . إن أحداثياتى مميزة عن جميع
الأحداثيات الأخرى ويجب أن يكون لسرعة الضوء فيها القيمة القياسية بغض
النظر عن اتجاه الأشعة أو حركة المصدر .

المشاهد الداخلى : تتحرك حجرتى خلال البحر الأثيرى ولذلك فإن أحد
جدران حجرتى سيبعد عن الضوء المشع فى حين يقترب منه الجدار المقابل . فإذا
كانت حجرتى متحركة فى الأثير بسرعة الضوء نفسه فإن الإشارة الضوئية
الصادرة من مركز الحجره لن تصل أبداً إلى الجدار المبتعد بسرعة الضوء عن
الإشارات الضوئية المنبعثة . أما إذا تحركت الحجره بسرعة أقل من سرعة الضوء
فإن موجة صادرة من وسط الحجره ستصل إلى أحد جوانبها قبل الأخرى ، إذ
أن الضوء سيصل إلى الجانب المقرب منه قبل أن يلقى بالجانب المتراجع أمامه
من الناحية الأخرى . وإذن على الرغم من أن مصدر الضوء مثبت فى مجموعة
أحداثياتى فإن سرعة الضوء لن تكون لها نفس القيمة فى جميع الاتجاهات أى
أنها ستكون أصغر . قيمة فى اتجاه حركة الحجره بالنسبة إلى البحر الأثيرى لأن
الجدار فى هذه الحالة سيكون مبتعداً عن الضوء المنبعث ، وستكون قيمتها أكبر
فى الاتجاه المضاد لأن الجدار سيقرب من موجات الضوء متلهفاً على لقائها .

ومن ذلك نستنتج أن سرعة الضوء سيكون لها نفس القيمة فى جميع
الاتجاهات فقط فى حالة المجموعة الأحداثية المميزة والثابتة فى البحر الأثيرى ، أما

في باقي المجموعات المتحركة بالنسبة إلى البحر الأثيري فإن السرعة ستوقف على الاتجاه الذي تقاس فيه السرعة .

وإجراء مثل هذه التجربة السابقة يمكننا من اختبار صحة نظرية الحركة خلال الأثير .

وقد سهلت علينا الطبيعة الأمر بأن وضعت تحت تصرفنا مجموعة متحركة بسرعة مرتفعة جداً ، ونعني بذلك الكرة الأرضية في حركتها السنوية حول الشمس . فإذا كانت نظريتنا صحيحة وجب أن نكون سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض مختلفة عنها في الوضع العكسي . وفي إمكاننا تقدير هذا الفرق في السرعة وإعداد تجارب عملية لتقدير قيمته . ومن الطبيعي أن مثل هذه التجارب يجب أن تكون غاية في الدقة بسبب صغر الفترات الزمنية التي يجب علينا قياسها . وقد توافرت شروط الدقة في تجربة ميكلسون ومورلي التي وضعت لقياس الاختلاف في سرعة الضوء بالنسبة لحركة الأرض في مدارها . وقد كانت نتيجة هذه التجربة قاضية على نظرية البحر الأثيري الساكن الذي تتحرك خلاله الأجسام ، إذ لم يظهر وجود أية علاقة بين سرعة الضوء واتجاه حركة المصدر . وليست سرعة الضوء هي السكينة الوحيدة التي يجب أن تتوقف على حركة المجموعة الأحداثية ، على أساس نظرية البحر الأثيري الساكن ، بل هناك كميات مجالية أخرى . وقد باءت بالفشل جميع التجارب التي أجريت بقصد إدراك وجود أي فرق في سرعة الضوء ولم تصب أي نجاح على الإطلاق في إظهار ما يثبت وجود أي تأثير لحركة الكرة الأرضية على الفواهر الطبيعية .

وقد أصبحنا الآن في موقف حرج لا فقد حاولنا وضع فرضين ، ينص الأول على أن الجسم المتحرك يحمل الأثير معه ، ولكن عدم توقف سرعة الضوء على حركة مصدره يناقض هذا الفرض ؛ وكان الفرض الثاني يقول بوجود مجموعة أحداثية مميزة وبأن الأجسام المتحركة لا تحمل الأثير معها . بل تتحرك خلال بحر أثيري ساكن ، وقد أدى هذا الفرض إلى عدم صحة قاعدة جاليليو النسبية وبأن

سرعة الضوء لا يمكن أن تكون لها نفس القيمة في كل المجموعات الأحادية .
ولكن هذا يتعارض أيضاً مع التجارب العملية .

وقد ظهرت بعد ذلك نظريات كثيرة بنيت على الاعتقاد بأن الحقيقة قد تكون
في فرض ينحصر بين الفرضين السابقين ، ويتلخص في أن الأثير يتحرك جزئياً
فقط مع الأحاديات المتحركة . ولكن جميع هذه الفروض باءت بالفشل ! ولم
تنجح كل المحاولات التي بذلت لشرح الظواهر الكهرومغناطيسية في المجموعات
الأحادية سواء أكان ذلك بفرض حركة الأثير أو بكل الفرضين معاً .

وأدى ذلك كله إلى أن أصبح العلم في موقف يعتبر من أحرج المواقف التي
مرت عليه في تاريخه الطويل ، إذ أن جميع فروض الأثير لم تؤد إلى نتيجة ما !
وكانت أحكام التجارب العملية دائماً ضد جميع الافتراضات والتأويلات . وإذا
أمعنا النظر الآن فيما سبق بسطه من تطورات علم الطبيعة فإننا نرى أن الأثير
— عقب ولادة فوراً — قد أصبح مصدر تعب للعائلة الطبيعية . فقد أسبغ عليه
العلماء الوصف الميكانيكي أولاً ، ولكن سرعان ما نبذ . ثم رأينا بعد ذلك كيف
فقدنا الأمل في نجاح الفرض بوجود بحر أثيري ساكن وتمييز مجموعة أحادية
تمسكنا من تعريف الحركة المطلقة فضلاً عن الحركة النسبية المعروفة ، وقد كانت
هذه تكفي لتبرير فرض وجود الأثير (فضلاً عن وظيفته في حمل الأمواج) .
وهكذا فشلت جميع المحاولات لجعل الأثير حقيقة ، فلم نلص له أية خواص
ميكانيكية ولم نستطع اكتشاف أو تعريف الحركة المطلقة . ولم يبق لدينا من جميع
الصفات التي أضفيت على الأثير سوى تلك التي اخترع من أجلها ، ألا وهي مقدرته
على حمل وإرسال الموجات الكهرومغناطيسية . ولعل المصاعب التي لا قناها بسبب
الأثير تدفعنا إلى أن نطرده من غيبتنا ونحرم على أنفسنا حتى مجرد ذكره .
وستقول بعد ذلك أن فضاء كوننا له الخاصية الطبيعية التي تمسكنا من إرسال
الأمواج ، وبهذه الطريقة تجنب أنفسنا استخدام الكلمة التي قرأنا حذفها .
ومن الطبيعي أن حذف كلمة من قاموسنا ليس علاجاً ، فتابعنا في الحقيقة تبلغ
من الفداحة حداً لا يحمله مثل هذه الطريقة .

ولنسجل الآن الحقائق التي أثبتت التجارب محتها دون أن نحفل بعد ذلك بتأناً بمتاعب الأثير :

١ - تبلغ سرعة الضوء دائماً قيمتها القياسية ، ولا تتوقف على حركة مصدر الضوء أو جهاز استقباله .

٢ - تتحقق جميع القوانين الطبيعية في مجموعتين أحداثيتين متحركتين بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضهما ، ولا توجد هناك طريقة لتمييز الحركة المنتظمة المطلقة .

وهناك تجارب كثيرة لتأييد هاتين النتيجةين ولكن ليست هناك تجربة واحدة لنقضهما . وتعتبر النتيجة الأولى عن استمرار ثبوت سرعة الضوء ، وتعمم الثانية قاعدة جاليليو النسبية - التي وضعت لظواهر الميكانيكية - لكي تشمل جميع الظواهر الطبيعية .

وقد رأينا في الميكانيكا إذا كانت سرعة النقطة المادية تبلغ قدراً معيناً بالنسبة لمجموعة أحداثية فإن قيمتها بالنسبة لمجموعة أخرى متحركة بسرعة منتظمة بالنسبة للأولى تصبح مختلفة . وهذا ناتج من قواعد التحويل الميكانيكية البسيطة . ومن السهل الاهتمام إلى هذه القواعد بالفطرة (حركة بحار بالنسبة إلى سفينة ثم بالنسبة إلى الشاطئ) . وقد يحيل إلينا أن هذا القانون ليس به أى خطأ ولكنه في الحقيقة يتعارض مع ثبوت سرعة الضوء . أى أننا إذا أضفنا النتيجة التالية :

٣ - يمكن تحويل الأوضاع والسرع من مجموعة أحداثية إلى أخرى بواسطة قانون التحويل الكلاسيكي . فإن التناقض يصبح واضحاً ، إذ أننا لا يمكننا أن نجمع بين النتائج (١) ، (٢) ، (٣) .

ووضوح التحويل الكلاسيكي وبساطته يستبعدان أى محاولة لتغييره ، حتى نستطيع القضاء على التناقض الموجود بين (١) ، (٢) من جهة أخرى .

وقد سبق أن رأينا كيف عارضت التجارب العملية أى تفسير في النتيجةين (١) ، (٢) ، حيث أن جميع النظريات المتعلقة بحركة الأثير تطلبت تغيير هذين

النتيجتين . وهكذا نلص مرة أخرى فداحة مصاعبنا وأتأ في حاجة ماسة إلى دليل يهدينأ إلى الطريق القويم . ويبدو أن هذا الطريق هو أن تقبل الفرضين الأساسيين (١) ، (٢) ونبذ — على الرغم مما قد يبدو من غرابة ذلك — الفرض الثالث . ويبدأ هذا الطريق الجديد من تحليل المعتقدات الأولية والأساسية ، وسنرى كيف يضطرنا هذا التحليل إلى تغيير آرائنا القديمة ويمكننا من التغلب على مصاعبنا .

الزمن والمافة والنسبية :

لنضع الآن الفرضين التاليين :

١ — لسرعة الضوء في الفراغ نفس القيمة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بالنسبة لبعضها بسرعة منتظمة .

٢ — القوانين الطبيعية واحدة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها .

وتبدأ نظرية النسبية بهذين الفرضين ، ولن نستخدم فيما يلي التحويلات الكلاسيكية لأننا نعلم مما سبق أنها تتعارض مع فرضينا .

ومن الضروري هنا كما هي الحال في العلم دائماً أن نتخلص من تمييزنا إلى نظرية بالذات . ونظراً إلى أننا رأينا أن أى تغيير في (١) ، (٢) يؤدي إلى التعارض مع التجارب العملية فإنه يجب أن تكون لدينا الشجاعة لكي نعلن صحة هذين الفرضين ، ثم نركز بعد ذلك جل اهتمامنا بنقطة الضعف المحتملة ، ألا وهي الطريقة التي تتحول بها الأوضاع والسرع من مجموعة إحداثية إلى أخرى . وسنمضى الآن في استخراج بعض النتائج من (١) ، (٢) ثم دراسة تعارض الفرضين السابقين مع التحويلات الكلاسيكية والبحث عن المعاني الطبيعية للنتائج التي نحصل عليها .

وسنمود الآن مرة أخرى إلى الحديث عن الحجرة المتحركة ذات المشاهدين الخارجى والداخلى وسنفرض أن إشارة ضوئية قد أرسلت من وسط الحجرة ، ولنسأل الآن المشاهدين عما ينتظر أن يشاهدا على أساس الفرضين السابقين ، مع غض النظر عما سبق قوله عن الوسط الذى ينتقل الضوء خلاله . وسنذكر فيما يلى إجابة المشاهدين :

المشاهد الداخلى : تستل الإشارة الضوئية المنبعثة من وسط الحجرة إلى جدرانها في نفس اللحظة ، لأنها تبعد نفس المسافة عن مصدر الضوء ولأن سرعة الضوء ثابتة في جميع الاتجاهات .

المشاهد الخارجى : ستكون سرعة الضوء في مجموعتى هى نفسها تلك التى أدركها المشاهد في المجموعة المتحركة ، ولا يعينى ما إذا كان مصدر الضوء يتحرك في مجموعة إحداثية أم لا ، لأن حركته لن تؤثر في سرعة الضوء على الإطلاق . وكل ما أراه هو إشارة ضوئية متحركة بالسرعة القياسية الثابتة في جميع الاتجاهات . وأشاهد إحدى جوانب الحجرة تحاول الابتعاد عن الإشارة الضوئية في حين أن الجانب الآخر يقترب منها ، ولذا فإن الضوء سيصل إلى الجانب الأخير قبل وصوله إلى الأول بلحظات صديرة جداً إذا كانت سرعة الحجرة صغيرة القدر بالنسبة إلى سرعة الضوء .

ومقارنة استنتاجات هذين المشاهدين تثير الدهشة حقاً ، فإنها تتعارض صراحة مع آراء ومعتقدات علم الطبيعة الكلاسيكى التى ظن العلماء أن أسسه فوق كل شك . فنجد مثلاً أن حدين (أى شعاعين ضوئيين) متحركين بين حائلين يستغرقان وقتاً واحداً بالنسبة لمشاهد مقيم في نفس المجموعة ويستغرقان وقتين مختلفين بالنسبة لمشاهد آخر خارج الترفقة مع العلم بأن سرعة الضوء ثابتة في الحالتين .

وقد كان لدينا في علم الطبيعة الكلاسيكى ساعة واحدة وزمن واحد للمشاهدين في جميع المجموعات الإحداثية ، فقد كان للزمن وبالتالي ، للقول بأن حدين وقما في آن واحد أو أن أحدهما وقع قبل الآخر أو بعده ، كان لهذه العبارات معان مطلقة

لا تتوقف على أية مجموعة إحدائية . فإذا وقع مثلاً حدثان في وقت واحد في مجموعة إحدائية معينة فإنهما يجب أن يظلا كذلك في جميع المجموعات الإحدائية الأخرى .
وينتج من ذلك أن الفرضين السابقين (١) ، (٢) أو بعبارة أخرى نظرية النسبية ، تدفعنا لتبذ هذا الاعتقاد الكلاسيكي . فقد وصفنا حدثين بأنها وقعا في لحظة واحدة في مجموعة إحدائية ورآهما مشاهد آخر في مجموعة أخرى كأنهما حدثاً في وقتين مختلفين . فعلينا الآن أن نتفهم هذه النتيجة وندرك معنى الجملة « إذا وقع حدثين في وقت واحد في مجموعة إحدائية فيحتمل ألا يكونا كذلك في مجموعة أخرى » .

ولكن ماذا قصد بقولنا «حدثين وقعا في وقت واحد في مجموعة إحدائية» ؟ لعله يبدو أن كل إنسان يدرك بالبدية معنى هذه العبارة . ولكن لتتوخ الدقة في التعريفات التي تقولها بعد أن لسنا مقدار الخطر الناجم من فرط الثقة بالبدية . ولنجب الآن على السؤال البسيط : ماهي الساعة ؟

نستطيع بغضل شعورنا الفطري الباطني بمرور الوقت ، ترتيب إحاساتنا والحكم على أن حدثاً ما قد وقع قبل آخر . ولكن لكي نثبت أن الفترة الزمنية بين حدثين هي عشر ثوانٍ مثلاً لا بد لنا من ساعة . وباستخدام الساعة يصح الزمن شيئاً واقعياً . ويمكننا أن نتخذ من أي ظاهرة طبيعية « ساعة » بفرض أن هذه الظاهرة تسكرر نفسها بالضغط مراراً كثيرة . فإذا أخذنا الفترة الزمنية بين بدء ونهاية هذا الحدث (الظاهرة) كوحدة الزمن ، فإننا نستطيع قياس فترات الزمن الاختيارية بتكرار هذه العملية الطبيعية . وجميع الساعات — من الساعة الرملية البسيطة إلى أدق الآلات — مبنية على هذا الأساس ، ففي الساعة الرملية تعرف وحدة الزمن بالفترة التي يأخذها الرمل في التدفق من الزجاج العلوي إلى السفلي .

لنفرض أننا قلنا أن لدينا ساعتين دقيقتين تعطيان نفس الوقت مستقرتان في مكانين بعيدين عن بعضهما . ويجب علينا أن نقبل صحة هذه العبارة بغض النظر عن مقدار الدقة التي تتوخاها في تحقيقها . ولكن دعنا نسأل أنفسنا : ماهو

معناها الحقيقي ؟ كيف يمكننا التأكد من أن ساعتين بعيدتين تعطيان نفس الوقت بالضبط ؟ لعل التلفزيون هو إحدى الطرق التي يمكننا استخدامها لإثبات ذلك . ويجب أن نفهم أن جهاز التلفزيون سيستخدم كمثل فقط وأنه ليس أساسياً لدراستنا . وأستطيع الآن أن أقف على مقربة من إحدى الساعتين وأنظر في نفس الوقت إلى صورة الساعة الأخرى في جهاز التلفزيون وبذلك أستطيع أن أحكم عما إذا كانت الساعتان تعطيان نفس الوقت أم لا . ولكن هذه الطريقة ليست سليمة إذ أن صورة الساعة التي ظهرت في جهاز التلفزيون قد حملتها أمواج كهرومغناطيسية متحركة بسرعة الضوء ، وبذلك تكون تلك الصورة التي رأيناها قد أرسلت قبل لحظة رؤيتها بوقت قليل ، هو الوقت الذي أخذته في الانتقال من مكان الساعة الأصلي إلى جهاز التلفزيون ، في حين أن الساعة الثانية تعطيانا الوقت الحالي بالضبط . ويمكننا التغلب على هذه الصعوبة بسهولة إذا أخذنا صوراً بالتلفزيون لكل من الساعتين عند نقطة تبعد عن كل منهما بمسافة متساوية ثم نشاهد قراءتهما عندئذ . فإذا كانت الإشارتان قد أرسلتا في نفس الوقت فإنهما سيميلان إلى نقطة المشاهدة في نفس اللحظة أيضاً . أى أننا إذا شاهدنا ساعتين دقيقتين من نقطة في منتصف المسافة بينهما فإنهما سيعطيان نفس الزمن دائماً ، وبذلك يصححان ملايين لتعيين أزمنة الأحداث التي تقع عند نقطتين بعيدتين .

وقد سبق أن استخدمنا ساعة واحدة في الميكانيكا ولكنها لم تكن جدي ملاءمة ، إذ أنه كان علينا أن نقوم بكل قياساتنا على مقربة من هذه الساعة الوحيدة . وإذا نظرنا إلى ساعة موضوعة على بعد كبير خلال جهاز التلفزيون مثلاً فإنه يجب علينا أن نتذكر دائماً أن ما نراه الآن قد حدث فعلاً في وقت مضى ، كما هي الحال عندما نشاهد غروب الشمس ، إذ أن ما نشاهده يكون قد وقع فعلاً قبل ثمان دقائق من لحظة المشاهدة . وإذن يجب علينا أن نقوم بتصحيحات لكل تقديرنا الزمنية بمقادير تتوقف على بعدنا من الساعة .

ويتضح مما سبق أنه من غير المناسب ألا يكون لدينا سوى ساعة واحدة - والآن وقد عرفنا كيف نستطيع الحكم على أن اثنتين أو أكثر من الساعات تعطيانا:

نفس الزمن ، وتسير بنفس الطريقة ، فإننا يمكننا أن نتصور أن لدينا عدداً كبيراً من الساعات في إحدى المجموعات الاحداثية . وستمكنا هذه الساعات من تقدير أزمنة وقوع الأحداث التي تقع بقرها ، وسنفرض أن كل هذه الساعات غير متحركة بالنسبة لهذه المجموعة الاحداثية . وبذلك تتوفر لدينا مجموعة من الساعات الدقيقة المضبوطة التي تعطينا نفس قراءة الزمن في نفس اللحظة .

وليس فيما فعلناه من وضع هذه الساعات في مجموعتنا الاحداثية ، ما يستحق أن يثير دهشتنا إذ أننا الآن نستطيع أن نقرر ما إذا كان حدثان بعيدان قد وقعا في نفس الوقت أم لا بالنسبة لمجموعة إحداثية معينة ، فإذا أعطت الساعتان القريتان من هذين الحدثين نفس القراءة عند وقوع الحدثين أمكننا أن نجزم بأنهما قدوقعا في نفس الوقت ، وكذلك أيضاً يصبح في مقدورنا أن نقول بأن أحد الحدثين قد وقع قبل الآخر . وكل هذا بفعل الساعات المضبوطة المثبتة في مجموعتنا الإحداثية .

ونحن فيما سبق لم نخرج عن نطاق علم الطبيعة الكلاسيكي وليس في النظام الذي وضعناه أي تناقض مع التحويلات الكلاسيكية . وقد استخدمنا الإشارات الضوئية لضبط ساعاتنا أثناء تعريفنا للأحداث الآتية . وتلعب سرعة الضوء - التي تتحرك بها هذه الإشارات - دوراً أساسياً في النظرية النسبية .

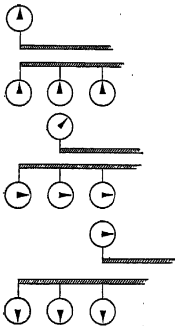
وحيث أننا معنيون بدراسة حركة مجموعتين احداثيتين متحركتين بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضهما ، فيجب علينا أن نعتبر قضيين مثبت بكل منهما مجموعة من الساعات ، وبذا يتوفر لكل من المشاهدين الموجودين بالمجموعتين المتحركتين قضيب المقياس ، ومجموعة الساعات المثبتة به .

وأثناء دراستنا لعملية القياس في الميكانيكا الكلاسيكية ، استخدمنا ساعة واحدة لجميع المجموعات الاحداثية ، في حين أن لدينا الآن ساعات كثيرة في كل مجموعة إحداثية وليس هذا الفرق بذى أهمية إذ أن ساعة واحدة تكفي ولكننا لانستطيع الاعتراض على استخدام ساعات كثيرة مادامت كلها مضبوطة ومتجانسة وتعطى نفس الوقت للأحداث الآتية .

ونحن الآن نقرب من النقطة الأساسية التي تتعارض فيها قوانين التحويل الكلاسيكي مع نظرية النسبية . ماذا يحدث عندما تتحرك مجموعة الساعات بانتظام بالنسبة إلى مجموعة أخرى ؟ سوف يجيب عالم الطبيعة الكلاسيكية بقوله : سوف لا يجد علينا شيء ، فستظل الساعات كما لو كانت ساكنة بالنسبة لبعضها ، وستعطينا نفس الزمن بغض النظر عن حركتها ، ونخبرنا الطبيعة الكلاسيكية بأنه إذا وجد حدثان آنيان في مجموعة إحداثية واحدة فإنهما سيظلان كذلك في أي مجموعة أخرى .

ولكن هذه ليست هي الإجابة الوحيدة ، إذ يمكننا أن نتخيل الساعة المتحركة توقيتاً يختلف عن توقيت الساعة الساكنة . ولندرس الآن هذا الاحتمال ، دون أن نتخذ لأنفسنا قراراً فيما إذا كانت الحركة تؤثر حقاً في تقدير الساعة للوقت .

ولنبداً بشرح ماذا نعني بقولنا أن حركة الساعة تؤثر في تقديرها للوقت ؟ ولنفرض للسهولة أن لدينا ساعة واحدة مثبتة في مجموعة إحداثية عليا وأخرى مثبتة في المجموعة الإحداثية السفلى وأن لكل الساعات نفس التركيب الميكانيكي الداخلي وأنها مضبوطة تعطى نفس القراءة للحوادث الآنية عند ثبوت المجموعتين الإحداثيتين بالنسبة لبعضهما . وسيوضح الشكل المرافق ثلاثة أوضاع متتابعة للمجموعتين الإحداثيتين المتحركتين بالنسبة لبعضهما .



وقد كان الفروض ضمنياً في الميكانيكا الكلاسيكية أن حركة الساعة لا تؤثر أبداً في نظام تقديرها للوقت . وقد كان هذا مفروضاً كبدئية لانتسحق حتى مجرد التذكر . ولكن لا يجب

علينا - إذا أردنا الدقة - أن نمضي في تحليل هذا الافتراض الذي سبق الأخذ به كقضية مسلمة في علم الطبيعة .

ولا يجب علينا نبذ فرض ما لمجرد أنه يختلف عما ألفناه في الطبيعة الكلاسيكية فيمكننا مثلاً أن نتصور أن ساعة متحركة تغير نظام توقيتها ؛ ما دام القانون الذي يحدد هذا التغير ، ينطبق على جميع المجموعات الإحداثية القاصرة .

لنعتبر الآن مثلاً آخر . لنفرض أن لدينا عصا ، يبلغ طولها ياردة واحدة عند ما تكون ساكنة في مجموعة إحداثية ما . لنفرض أن هذه العصا قد أخذت في التحرك بانتظام منزقة على القضيب الذي يمثل المجموعة الإحداثية . فهل سيظل طولها ياردة أيضاً ؟ قبل الإجابة على هذا السؤال يجب علينا أن نعرف كيف يمكننا تعيين طول العصا . عند ما تكون العصا في حالة سكون سينطبق طرفاها مع علامتين - على قضيب المقياس - بمحوران بينهما طولاً قدره ياردة واحدة في المجموعة الإحداثية (أى قضيب المقياس) ، وبهذه الطريقة استنتجنا أن طول العصا يبلغ ياردة واحدة . ولكن كيف يمكننا الآن قياس طولها أثناء حركتها ؟ يمكننا عمل ذلك بالطريقة التالية : عند لحظة معينة يأخذ مشاهدان صورتين فوتوغرافيتين ، إحداها لأحد طرفي العصا والأخرى للطرف الآخر ، وحيث أن الصورتين قد أخذنا في نفس الوقت فإننا يمكننا مقارنة العلامات على قضيب المجموعة الإحداثية الذي ينطبق عليه طرفا العصا ، وبهذه الطريقة نعين طولها . ولا بد من وجود مشاهدين ليلاحظا الأحداث التي تقع في نفس الوقت في أجزاء مختلفة من مجموعتنا الإحداثية . وليس هناك ما يحملنا على الاعتقاد بأن نتيجة مثل هذه القياسات ستفق مع تلك التي وجدناها مثلاً في حالة العصا الساكنة . وبما أن هذه الصور الفوتوغرافية يجب أن تؤخذ في نفس الوقت ، وهذا - كما نعرف الآن - يتوقف على المجموعة الإحداثية المتبعة ، فإنه يبدو جديراً إن نتأرجح هذه القياسات ستختلف باختلاف المجموعات الإحداثية المتحركة بالنسبة لبعضها .

ويمكننا الآن أن نتصور بسهولة إنه ليس الساعة المتحركة وحدها هي التي تغير توقيتها ، بل إن العصا المتحركة ستغير طولها أيضاً ، ما دامت قوانين

التفسير تتحقق في جميع المجموعات الإحداثية القاصرة .

وكننا ندرس حتى الآن احتمالات جديدة دون أن نعطي أى مبررات لفرضها .
وللنا نذكر أن سرعة الضوء ثابتة في جميع المجموعات الإحداثية القاصرة
وأن من المستحيل التوفيق بين هذه الحقيقة وبين التحويلات الكلاسيكية . والآن
دعنا نتساءل عما إذا كان في الإمكان أن يؤدي الفرض بالتفسير في نظام توقيت
الساعة المتحركة وفي طول القضيب المتحرك إلى الفرض بثبات سرعة الضوء ؟ إن
ذلك ممكن حقاً ! وهذه هي الحالة الأولى التي تختلف فيها النظرية النسبية مع الطبيعة
الكلاسيكية اختلافاً أساسياً . ويمكننا التعبير عن هذه الحقيقة بالطريقة العكسية
التالية إذا كانت سرعة الضوء ثابتة في جميع المجموعات الأحادية فإن القضبان
المتحركة تمانى تنيراً في أطوالها وكذلك يتغير نظام توقيت الساعات المتحركة ،
ويمكننا استنتاج القوانين التي تتحكم في هذه التغيرات .

وليس في ذلك أى مفوض أو عدم تمش مع المنطق . فقد كان المفروض دائماً
في الطبيعة الكلاسيكية أن نظام التوقيت واحد للساعات المتحركة والساكنة على
حد سواء ، وأن للقضبان المتحركة والساكنة نفس الأطوال ! فإذا كانت سرعة
الضوء ثابتة في جميع المجموعات الأحادية ، أى إذا كانت نظرية النسبية صحيحة
فإنه يجب علينا التضحية بهذا الفرض . ونعلم أنه من الصعب التخلص من العقائد
والآراء المتأصلة في النفس ، ولكن ماذا نفعول وليس أماننا طريق آخر ؟ ومن
وجهة نظر النظرية النسبية تبدو الآراء القديمة اختيارية . فلماذا نعتقد — كما فعلنا
سابقاً — في الزمن المطلق وثبوته بالنسبة لجميع المشاهدين في كل المجموعات
الإحداثية ؟ ولماذا نعتقد في ثبوت الأطوال وعدم قابليتها للتفسير ؟ فالزمن يتعين
باستخدام الساعات ، والأطوال بالقضبان ، ويمكن أن تتوقف نتائج قياساتها على
خواص الساعات والقضبان أثناء حركتها ، وليس هناك ما يبرر الاعتقاد بأن هذه
النتائج والعمليات ستسير على النمط الذي نوده ! وقد أرتنا المشاهدات — بطريق
غير مباشر — خلال ظواهر المجال الكهرومغناطيسي أن الساعة المتحركة تشير
معدل توقيتها وأن القضيب يغير طولها ، على حين أننا لم نتوقع حدوث ذلك على

أساس الظواهر الميكانيكية . ويجب أن نقبل فكرة الزمن النسبي في كل مجموعة إحدائية لأنها أفضل طريقة للتخلص من متاعبنا . وقد أظهر التقدم العلمي الناتج من نظرية النسبية ، أننا لا يجب أن ننظر إلى هذا التطور الجديد في المعتقدات كضرورة لا بد منها حيث أن مميزات النظرية العديدة قد أصبحت ظاهرة للعيان . وكنا نحاول فيما سبق إيضاح الدوافع التي أدت إلى الفروض الأساسية لنظرية النسبية ، وكيف أن النظرية قد اضطررتنا إلى مراجعة وتغيير التحويلات الكلاسيكية باعتبار الزمن والمكان على أسس جديدة . ولسنا نهدف إلا إلى إيضاح الآراء التي تكون أسس وجهة نظر طبيعية وفلسفية جديدة . وهذه الآراء بسيطة ، ولكنها — على الصورة التي صيغت فيها هنا — لا تكفي لكي نحصل منها على استنتاجات نوعية أو كمية . وهنا يجب علينا أن نستخدم الطريقة القديمة لشرح الآراء الأساسية فقط مكتفين بذكر بعض الآراء الأخرى دون أي برهنة .

ولإيضاح الفرق بين وجهة نظر عالم الطبيعة الكلاسيكية الذي سزمز إليه بالرمز « ب » وهو الذي يعتقد بصحة قوانين التحويل الكلاسيكي ، وبين وجهة نظر عالم الطبيعة الحديثة الذي سزمز إليه بالرمز « ح » وهو الذي يعتقد في نظرية النسبية وستتصور الحديث التالي بينهما :

ب — أنا أومن بقاعدة جاليليو النسبية لأنني أعلم أن قوانين الميكانيكا تتحقق في مجموعتين إحدائيتين متحركتين بانتظام بالنسبة لبعضهما أو بعبارة أخرى إن هذه القوانين تعتبر لازمة بالنسبة للتحويل الكلاسيكي .

ح — ولكن نظرية النسبية يجب أن تنطبق على جميع الإحداثيات في عالمنا الخارجي ، إذ أن جميع القوانين الطبيعية — وليست فقط قوانين الميكانيكا — يجب أن تتحقق في جميع المجموعات الإحدائية المتحركة بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض .

ب — ولكن كيف يمكن أن تتحقق جميع القوانين الطبيعية في جميع الإحداثيات المتحركة بالنسبة لبعضها ؟ فمعادلات المجال — أي معادلات ماكسويل

— ليست لازمة (أى لا تتغير) بالنسبة للتحويلات الكلاسيكية ، ويظهر هذا بوضوح مع سرعة الضوء ، إذ أن التحويلات الكلاسيكية تنص على أنها يجب ألا تكون ثابتة في كلا المجموعتين المتحركتين بالنسبة لبعضهما .

ج — إن هذا يثبت أن التحويلات الكلاسيكية لا يمكن استخدامها وأن العلاقة بين المجموعتين الإحداثيتين يجب أن تكون مختلفة ، وأنه يحتمل ألا تربط بين الإحداثيات والسرع بنفس الطريقة المتبعة في التحويلات الكلاسيكية ، التي يجب أن نستبدلها بأخرى جديدة نستنتج من الفروض الأساسية لنظرية النسبية . ولنفرض أننا لا نهتم الآن بالقيم الرياضية لهذه التحويلات الجديدة وأنها تقع فقط بكونها مختلفة عن التحويلات الكلاسيكية ، وسنسمى هذه التحويلات الرياضية الجديدة بتحويلات لورنتز . ويمكننا إثبات أن معادلات ماكسويل — أى قوانين المجال — لازمة لا تتغير بالنسبة لتحويلات لورنتز ، تماماً كمازوم قوانين الميكانيكا بالنسبة للتحويلات الكلاسيكية . ولندكر كيف كانت هذه التحويلات في الطبيعة الكلاسيكية ، فقد كانت لدينا قوانين تحويل للإحداثيات والسرع وكانت قوانين الميكانيكا لازمة بالنسبة إلى مجموعتين من الإحداثيات متحركة بانتظام بالنسبة لبعضها . وكانت لدينا تحويلات لأوضاع الأجسام فقط ، دون ذكر للزمن ، حيث إن الزمن كان واحداً في جميع المجموعات الأحداثية . أما في النظرية النسبية فالوضع جد مختلف فلدينا قوانين تحويل مختلفة عن القوانين الكلاسيكية وخاصة بالأوضاع والزمن والسرعة . ولكننا نكرر أن قوانين الطبيعة يجب أن تتحقق في جميع المجموعات الأحداثية المتحركة بانتظام بالنسبة لبعضها أى أن هذه القوانين يجب أن تكون لازمة — لا بالنسبة إلى التحويلات الكلاسيكية — بل بالنسبة لنوع جديد من التحويلات يسمى بتحويلات لورنتز . وتتحقق جميع القوانين الطبيعية في جميع المجموعات الاحداثية الفاصرة ، وتتحول هذه القوانين من مجموعة إلى أخرى بواسطة تحويلات لورنتز .

د — أوافقك على ذلك ولكن يهمنى أن أدرك الفرق بين التحويلات الكلاسيكية وتحويلات لورنتز .

ج - أفضل طريقة للإجابة على سؤالك هي الآتية: أذكر لي أولاً بعضاً من الخواص المميزة للتحويلات الكلاسيكية وسأحاول أن أبين لك ما إذا كانت هذه ستظل صحيحة في حالة تحويلات لورنتز أم لا ، وفي الحالة الأخيرة سأشرح لك كيف تغيرت .

د - إذا وقع حدث معين عند لحظة معلومة في مجموعتي الإحداثية فإنه ينتج أن المشاهد في مجموعة إحداثية أخرى متحركة بانتظام بالنسبة لمجموعتي سيحدد رقماً مختلفاً للمكان الذي يقع فيه الحدث ولكن في نفس الوقت بالطبع ، إذ أننا نستخدم نفس الساعة في جميع مجموعتنا الإحداثية ولا يهمنا ما إذا كانت الساعة متحركة - منتقلة - أم لا . فهل هذا صحيح بالنسبة إليك ؟

ج - كلا - هذا ليس بصحيح ، فكل مجموعة إحداثية يجب أن تزود بساعاتها غير المتحركة ، حيث أن الحركة تنسب نظام التوقيت . فمشاهدان مثلاً في مجموعتين إحداثيتين مختلفتين سيحددان أرقاماً مختلفة لمكان حدث ما وكذلك رقبين مختلفين للزمن الذي يقع فيه ذلك الحدث .

د - هذا يعني أن الزمن ليس لازماً . ففي التحويلات الكلاسيكية كان الزمن واحداً في جميع المجموعات الاحداثية ، أما في تحويلات لورنتز فإنه يتغير ويسلك مسلك الأحداث في التحويلات القديمة . ولا أدري ماذا يحدث للمسافة ؟ ففي الميكانيكا الكلاسيكية يحتفظ قضيب مادي مناسب بطوله في حالي الحركة والسكون . فهل هذا صحيح الآن أيضاً ؟

ج - كلا - ليس بصحيح . وفي الحقيقة أنه ينتج من تحويلات لورنتز أن العصا المتحركة تتقلص في اتجاه الحركة ، ويزداد التقلص بازدياد السرعة . فكلما تحركت العصا بسرعة كلما ظهرت أكثر قصراً . ولكن هذا يحدث فقط في اتجاه الحركة . فأنت ترى في الرسم قضيباً متحركاً يتقلص إلى نصف طوله عندما يتحرك



بسرعة تقترب من $0.90c$ من سرعة الضوء . هذا في حين أنه ليس هناك تقلص في الاتجاه العمودي على الحركة كما حاولت أن أبين في الرسم .



و - هذا يعني أن تقدير ساعة متحركة للوقت وكذلك طول عصا متحركة يتوقفان على السرعة ، فكيف يمكن ذلك ؟

ج - يكون هذا التغير واضحاً عندما تزداد السرعة وينتج من تحويلات لورنتز أن العصا تتقلص وينعدم طولها إذا بلغت سرعتها سرعة الضوء . وبالمثل فإن تقدير ساعة متحركة للزمن يقل إذا قورنت بالساعات التي تمر عليها والمثبتة بالقضيب ، وتقف نهائياً عن الدوران إذا تحركت بسرعة الضوء .

د - يبدو لي أن هذا يتعارض مع التجربة ، فنحن نعلم أن السيارة لا تتقلص عندما تتحرك ونعلم أيضاً أن السائق يمكن أن يقارن ساعته بالساعات التي يمر بها . وقد وجدت أنها كلها تتفق مع بعضها خلافاً لما ذكرته لي !

ج - ما قلته صحيح لاربي فيه . ولكنك تلاحظ أن هذه السرعة الميكانيكية صغيرة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، وبذا يصبح من التفاهة تطبيق نظرية النسبية على هذه الظواهر . ويمكن لكل سائق أن يستخدم الطبيعة الكلاسيكية باطمئنان حتى ولو ضاعف سرعته مائة ألف مرة . ويمكننا أن نتوقع الاختلاف بين التجربة وبين التحويلات الكلاسيكية فقط عندما تقترب السرعة من سرعة الضوء . ففي حالة السرعة الكبيرة جداً يمكننا اختبار صحة تحويلات لورنتز .

د - ولكن مع ذلك هناك صعوبة أخرى ، فبمعاً لقواعد الميكانيكا يمكنني تصور أجسام متحركة بسرعات أكبر من سرعة الضوء . فالجسم الذي يتحرك بسرعة الضوء بالنسبة لسفينة متحركة . ستكون سرعته أكبر من سرعة الضوء بالنسبة إلى الشاطئ . فإذا يحدث إذن للعصا التي تقلصت إلى لا شيء عند ما

تحركت بسرعة الضوء ؟ فن الصعب تصور طولاً سالباً ، إذا ازدادت سرعة
العصا عن سرعة الضوء .

ج - ليس هناك ما يدعو إلى مثل هذه السخرية ! فعلى أساس نظرية النسبية
لا يمكن أن تزيد سرعة الجسم عن سرعة الضوء . فسرعة الضوء هي الحد
الأقصى لسرع جميع الأجسام المادية . فإذا كانت سرعة جسم بالنسبة للسفينة هي
سرعة الضوء فإنها ستكون لها نفس القيمة بالنسبة للشاطئ* . فقانون الجمع
والطرح الميكانيكي البسيط لا يتحقق هنا أو على الأصح ينطبق بالتقريب على حالة
السرع البسيطة ، ولكن ليس على السرع التي تقترب من سرعة الضوء . وتظهر
القيمة العددية لسرعة الضوء بوضوح في تحويلات لورنتز ، وتعلب دور حالة
نهاية ، كالدور الذي تحتله السرعة اللانهائية في الميكانيكا الكلاسيكية . ولا
تعارض هذه النظرية العامة مع التحويلات الكلاسيكية والميكانيكا الكلاسيكية
بل أنها على العكس تتفق مع المعتقدات الكلاسيكية في الحالة النهائية عندما
تكون السرع ذات قيم صغيرة . ويتضح لنا من وجهة نظر النظرية الجديدة ،
متى تتحقق النظرية الكلاسيكية وأين يتضح قصورها . وإذن يكون تطبيق
نظرية النسبية على حركة السيارات والقطارات مما يدعو حقاً إلى السخرية . تماماً
كاستعمال الآلة الحاسبة في عمليات ضرب بسيطة موجودة في جدول الضرب .

نظرية النسبية والبطنيط :

إن الضرورة هي التي أدت إلى نشوء نظرية النسبية ، فضلاً عن التناقض الواضح
الكامن في النظرية القديمة والذي لم نستطع التخلص منه بكل الطرق الممكنة .
وتعزى قوة النظرية الجديدة إلى البساطة والدقة التي حلت بهما هذه المشاكل
مع استخدام فروض منطقية قليلة . فعلى الرغم من أن النظرية نشأت من مشكلة
الجال فإن عليها أن تشمل أيضاً جميع القوانين الطبيعية . وهنا تبدولنا مشكلة
جديدة ، فللقوانين الجال من ناحية وللقوانين الميكانيكية من ناحية أخرى طبيعتان
مختلفتان ، فمدالات الجال الكهرومغناطيسي لا تنهز بالنسبة إلى تحويلات لورنتز

في حين أن المعادلات الميكانيكية لا تتغير بالنسبة إلى التحولات الكلاسيكية .
ولكن النظرية النسبية تدعى أن قوانين الطبيعة يجب أن تكون لازمة بالنسبة
لتحويلات لورنتز وليست بالنسبة للتحويلات الكلاسيكية . وليست هذه الأخيرة
سوى حالة خاصة من تحويلات لورنتز عندما تكون السرعة النسبية للمجموعتين
الأحداثيتين صغيرة جداً . فإذا كانت الحال كذلك فإن الميكانيكا الكلاسيكية يجب
أن تتغير حتى تلائم شروط عدم التغير بالنسبة لتحويلات لورنتز . أو عبارة
أخرى أن الميكانيكا الكلاسيكية لا يمكن أن تظل حقيقية إذا اقتربت مرعة
التحرك من سرعة الضوء . أى أنه لن تكون هناك سوى تحويلات واحدة من
مجموعة أحداثية إلى أخرى . هي تحويلات لورنتز .

وقد كان من السهل تغيير الميكانيكا الكلاسيكية بطريقة لا تتعارض مع النظرية
النسبية من ناحية ، ولأمع مجموعة الحقائق التي حصلنا عليها بالتجربة ، وشرحت
على أساس الميكانيكا الكلاسيكية . فإليكانيكا القديمة تتحقق في حالة السرعة
الصغيرة وبذلك تكون هي الصورة النهائية للميكانيكا الجديدة .

ولعله من المفيد أن نذكر مثلاً للتغير في الميكانيكا الكلاسيكية الحادث بسبب
النظرية النسبية ، ونحاول الحصول على بعض الاستنتاجات منها ، ثم نبحت فيما
إذا كانت التجارب العملية تؤيد هذه الاستنتاجات أو تنكرها .

لفرض أن لدينا جسماً ذا كتلة معينة يتحرك على خط مستقيم وتؤثر عليه قوة
خارجية في اتجاه الحركة . فكما نعلم ستتناسب القوة المؤثرة عليه مع معدل التغير
في السرعة وإذن لا يعنينا ما إذا ازدادت سرعة الجسم في الثانية من ١٠٠ إلى ١٠١
قدما في الثانية أو من ١٠٠ ميل إلى ١٠٠ ميل وقدم واحد في الثانية أو من
١٨٠ ٠٠٠ ميل إلى ١٨٠ ٠٠٠ ميل وقدم واحد في الثانية . فالقوة التي تؤثر على جسم
معين لا تتوقف إلا على معدل التغير في السرعة فقط .

فهل تتحقق هذه الظاهرة أيضاً في النظرية النسبية ؟ كلا .. فهذا القانون
لا ينطبق إلا على حالات السرعة الصغيرة فقط . ولكن ماهو القانون الذي وضعته
نظرية النسبية في حالة السرعة الكبيرة التي تقترب من سرعة الضوء ؟ . إذا كانت

السرعة كبيرة فلا بد من وجود قوة كبيرة لزيادة مقدارها . فليست القوة التي تسبب زيادة قدم في الثانية للسرعة ١٠٠ قدم في الثانية هي نفسها التي تسبب نفس الزيادة في سرعة تقترب من سرعة الضوء . فكلما اقتربت السرعة من سرعة الضوء كلما أصبح من الصعب زيادة قدرها . وعندما تتساوى سرعة الجسم مع سرعة الضوء يصبح من المستحيل زيادتها عن ذلك . وإذن فالنتيقات التي أحدثتها نظرية النسبية ليست من الغرابة في شيء ؛ فسرعة الضوء هي كإقلنا الحد الأقصى لجميع السرع ، وليست هناك أى قوة معينة - مهما زاد قدرها - يمكن أن تسبب أى ازدياد في السرعة عن هذا القدر . وهكذا ، بدلا من القانون الميكانيكى القديم الذى يربط القوة بالتغير في السرعة نحصل على قانون أكثر تعقيداً . ويخيل إلينا - من جهة نظرنا الخاصة - أن الميكانيكا الكلاسيكية بسيطة لأننا في جميع ملاحظتنا وتطبيقاتنا نستخدم سرعاً أقل بكثير من سرعة الضوء .

ويتميز الجسم الساكن بكتلة معينة تسمى بالكتلة الساكنة ، وتفيدنا الميكانيكا بأن كل جسم يقاوم التغير في حركته ، فكلما زادت الكتلة ازدادت معها المقاومة وكلما قلت الكتلة قلت معها المقاومة . ولكن الوضع جد مختلف في النظرية النسبية فالجسم لارتداد مقاومته للتغير كلما ازدادت كتلته فقط بل كلما ازدادت سرعته أيضاً ، فالأجسام ذات السرع المقترية من سرعة الضوء تبذل مقاومة كبيرة جداً في وجه القوى الخارجية . وقد كانت مقاومة جسم معين للتغير في الميكانيكا الكلاسيكية شيئاً ثابتاً يتوقف على الكتلة وحدها ، أما في نظرية النسبية فهي تتوقف على كل من الكتلة والسرعة . وتبلغ القوة حداً لانهائياً من الكبر إذا اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء .

ولدينا في الطبيعة قذائف تتحرك بمثل هذه السرع ، فذرات المواد الاشعاعية كالراديوم مثلا ، تمثل دور المدفعية التي تقوم بإرسال قذائف بسرع متناهية في الكبر . سنذكر الآن باختصار أحد الآراء الحديثة في علم الطبيعة والكيمياء : تتكون جميع المواد الموجودة في الكون من بضعة أنواع من الجسيمات الأولية . وهذا يشبه إلى حد كبير ما نعرفه من أن جميع المباني في مدينة ما - بما فيها من أكواخ

وناطحات سحب ذات حججوم مختلفة وأشكال متباينة - مكونة من أنواع قليلة مختلفة من البنات . وإذن تتكون جميع عناصر عالمنا المادى - التى تتراوح بين الأيدروجين وهو أخفها وزنا واليورانيوم وهو أثقلها - من نفس النوع من البنات أى نفس الأنواع من الجسيمات الأولية . وأثقل هذه العناصر وزنا - أى تلك للعقدة التركيب - ليست مستقرة بل دائماً فى حالة تفكك وهو ما نعبّر عنه بقولنا أن لها نشاطاً إشعاعياً . وبعض هذه البنات أو الجسيمات الأولية التى تبني منها هذه الذرات ذات النشاط الإشعاعى ، تنقذف أحياناً خارج الذرات بسرعى كبيرة جداً تقترب من سرعة الضوء . والرأى السائد الآن المدعم بالتجارب هو أن ذرة عنصر مشع كالراديوم مثلاً تتميز بتركيب معقد ، وأن التفكك الناتج من النشاط الإشعاعى هو أحد الظواهر التى تتضح فيها حقيقة تركيب الذرات من لبنات أكثر بساطة ، أى من الجسيمات الأولية .

ويمكننا دراسة كيفية مقاومة هذه الجسيمات المنبعثة بسرعى كبيرة لتأثير القوة الخارجية بواسطة تجارب دقيقة ومعقدة . وقد أظهرت التجارب أن المقاومة الناتجة من هذه الجسيمات تتوقف على سرعتها بالطريقة التى تنبأت بها نظرية النسبية . وفى حالات كثيرة مختلفة ، عندما أمكن تعيين مدى توقف المقاومة على السرعة وجدنا اتفاقاً تاماً بين النظرية والتجربة . وهأنحن الآن نرى مرة أخرى الظواهر الأساسية للأعمال المنتجة فى العلم أى : التنبؤ نظرياً ببعض حقائق ثم تحقيقها بالتجربة .

وتؤدى هذه النتيجة إلى تعميم ذى أهمية كبيرة . فللجسم الساكن كتلة معينة ولكن ليست له طاقة حركة ، أى طاقة ناتجة عن حركته . أما الجسم المتحرك فله كتلة وطاقة حركة ولذا فهو يقاوم التغير فى السرعة بقوة أكبر من الجسم الساكن ، ومن ذلك يظهر لنا أن طاقة حركة جسم متحرك تزيد فى مقاومته فإذا كان لدينا جسمان متساويان فى الكتلة وكان لأحدهما طاقه حركة أكبر من الآخر فإنه يقاوم فعل القوة الخارجية بقوة أكبر .

لنتخيل الآن صندوقاً ساكناً به عدد من الكرات الساكنة أيضاً بالنسبة لمجموعتنا الإحداثية . إذا أردنا تحريك الصندوق وما به ، أو بمباراة أخرى زيادة

سرعتها ، فنحتاج إلى قوة معينة لإحداث ذلك . ولكن هل يمكن لنفس تلك القوة أن تزيد السرعة بنفس القدر في نفس الزمن إذا كانت الكرات متحركة في جميع الاتجاهات داخل الصندوق . كما تفعل جزيئات غاز ما - بسرعة تترب من سرعة الضوء ؟ لا بد من وجود قوة أكبر قدرأ في هذه الحالة بسبب ازدياد طاقة حركة الكرات التي تزيد بدورها في قوة مقاومة الصندوق . فطاقة الحركة تقاوم التحرك تماما كما تفعل الكتلة . هل هذا صحيح أيضاً بالنسبة لأنواع الطاقة الأخرى ؟

تطينا الفروض الأساسية لنظرية النسبية إجابة واضحة حاسمة ذات طابع كمي وهي : تقاوم جميع الأنواع المختلفة للطاقة التغير في الحركة ؟ وتتميز الطاقة بمواص مماثلة تماماً لمواص المادة ؟ فكتلة من الحديد يزداد وزنها إذا ما أحيت لدرجة الاحمرار ، وكذلك تحمل الإشعاعات المنبعثة من الشمس ، والتي تعبر الفضاء ، طاقة كبيرة وبالتالي كتلة كذلك ، وإذن ينتج أن كتلة الشمس وجميع الكواكب تقل باستمرار . وتعتبر هذه النتيجة ذات الطابع العام نصراً كبيراً لنظرية النسبية ، وتتفق مع النتائج العملية الأخرى التي تؤيد النظرية النسبية .

وقد عرفت الطبيعة الكلاسيكية شيئين متميزين : المادة والطاقة ، فاللادة لها وزن والطاقة لا وزن لها . وقد ساءت لنا الطبيعة الكلاسيكية أيضاً قانوني بقاء ، أحدهما للمادة والآخر للطاقة . وقد سبق أن نساءلنا عما إذا كانت الطبيعة الحديثة ما تزال تعتقد في الوجود النفصل لهذين الشيئين وقانوني بقائهما . والجواب بالسلب ، إذ أن النظرية النسبية تنص على عدم التفرقة بين الكتلة والطاقة ، فللطاقة كتلة وللكتلة طاقة . وسيصبح لدينا بدلاً من قانوني البقاء ، قانون واحد لبقاء الكتلة (المادة) والطاقة معاً على حد سواء . وقد نجحت وجهة النظر هذه نجاحاً كبيراً وكان لها أثر كبير في تطور علم الطبيعة .

ولكن كيف ظلت حقيقة وجود كتلة للطاقة وطاقة للكتلة مخفية زمنأ طويلاً ؟ وهل تزداد كتلة قطعة من الحديد فعلاً بعد إحماها ؟ الإجابة على هذا

السؤال هي الآن بالإيجاب ، وقد كانت بالسلب (صفحة ٣٠) . ونستطيع التأكيد بأن عدد الصفحات بين هاتين الإجابتين لا تكفي لشرح هذا التناقض .

والموضوع الذي نحن بصدده الآن هو من النوع الذي رأيناه قبلاً . فتغير الكتلة الناتج من النظرية النسبية صغير لا يمكن قياسه بطريقة الوزن المباشر ولو باستخدام أدق الموازين . ويمكننا أن نثبت بطرق حاسمة ولكنها غير مباشرة على أن الطاقة لها وزن مثل المادة تماماً .

ويرجع سبب عدم ظهور هذه الحقائق واضحة للعيان في أول الأمر إلى مسألة معدل التحويل بين المادة والطاقة . فيمكننا تشبيه نسبة الطاقة إلى الكتلة بنسبة عملة بخمسة القيمة إلى عملة ذات سعر مرتفع . وبوضع لنا المثال التالي ذلك : كمية الحرارة اللازمة لتحويل ثلاثين ألف طن من الماء إلى بخار تزن حوالى جرام واحد !!! ولهذا السبب ظل الاعتقاد « بأن الطاقة لا وزن لها » زمناً طويلاً ، لضعف قدر كتلتها .

وبذلك يكون الوجود المستقل لكل من الطاقة والسادة ضخمة ثانية لنظرية النسبية ، وقد كانت الأولى هي الوسط الذي تنتشر فيه أمواج الضوء .

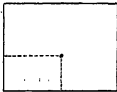
وقد تعدى تأثير النظرية النسبية المشكلة التي كانت سبباً مباشراً لظهورها . فهي تزيل مشاكل ومتناقضات نظرية المجال ، وتضع قوانين ميكانيكية أكثر تمعياً ، وتدمج قانونين مختلفين للبقاء في قانون واحد ثم تغير بعد ذلك فكرتنا الكلاسيكية عن الزمن . وليس تأثير النظرية النسبية محصوراً في ناحية واحدة من علم الطبيعة بل إنه يشمل جميع الظواهر الطبيعية .

متصل الزمان والمكان :

« بدأت الثورة الفرنسية في باريس في اليوم الرابع عشر من يوليو سنة ١٧٨٩ »
في هذه العبارة ذكرنا مكان وزمن وقوع حدث معين . فإذا سمع هذه العبارة شخص لأول مرة وكان لا يعرف ما هي باريس ؛ فإنه يمكننا إخباره أن باريس هي

مدينة على سطح الأرض تقع على خط طول 2° شرقاً وخط عرض 49° شمالاً .
 أي أن هذين الرقمين يميزان السكان ، في حين أن « الرابع عشر من يوليو سنة ١٧٨٩ »
 يحدد الزمن الذي وقعت فيه الحادثة . وبهنا في علم الطبيعة تحديد مكان وزمن
 حدث ما على وجه الدقة ، أكثر من أهميتهما في التاريخ ، لأن هذه الأرقام المحددة
 أساس للوصف السكي .

وقد درسنا فيما مضى — بقصد السهولة — الحركة في خط مستقيم ، فكانت
 مجموعتنا الاحداثية قضيباً متاسكاً له نقطة أصل وليست له نهاية . فلتذكر هذا
 جيداً ولنعتبر تقطعا مختلفة على القضيب ، يمكن تمييز أماكنها بأرقام وحيدة هي
 أحداتيات تلك النقط . فإذا قلنا أن أحداتي نقطة ما هو $٧,٥٨٦$ قديماً فإننا نقصد
 أن بعدها عن مركز القضيب هو $٧,٥٨٦$ قديماً . وعلى العكس إذا أعطاني شخص ما
 أي عدد ، ووحدة معينة فإنه يمكن دائماً إيجاد نقطة على القضيب تناسب هذا
 الرقم . ويمكننا أن نقول إن كل نقطة معينة على القضيب تشير إلى رقم خاص ،
 وأن أي عدد معين يشير إلى نقطة خاصة على القضيب . ويعبر الرياضيون عن هذه
 الحقيقة بالعبارة التالية : تُسكُون جميع نقط القضيب متصلاً ذا بعد واحد . ووجود
 بقرب كل نقطة معينة تقطعا أخرى اختيارية . ويمكننا أن نصل نقطة على القضيب
 بأخرى عليه بواسطة خطوات يمكننا تصغيرها كما نهوى . وهذه الحرية في اختيار
 صغر الخطوات التي تصل بين تقطعتين بميدتين تميز المتصل الذي ندرسه .

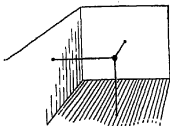


لنعتبر الآن مثلاً آخر : لنفرض أن لدينا
 مستوى معيناً أو سطح مائدة مستطيلة ، إذا فضلنا
 الأمثلة المادية . يمكننا تمييز موضع نقطة ما على
 هذه المائدة بواسطة رقمين لارقم واحد ، كما كانت
 الحال في المثال السابق ، وهذان الرقمان هما بعدا

هذه النقطه عن حافتين متتامتين من سطح المائدة . وإن رقمان — لارقم واحد —
 هما اللذان يحددان مكان نقطة ما على المستوى ، وكذلك تشير كل نقطة من نقط
 المائدة إلى رقمين عديدين . أو بعبارة أخرى المستوى هو متصل ذو بعدين . ويمكن

لنقطتين بعديتين في هذا المستوى أن ترتبطا بمنحن يمكن تقسيمه إلى خطوات نصرها كيفما نشاء . وإذن يكون التحكم في صغر الخطوات التي تصل بين النقطتين البعديتين ، التي يمثل كل منهما رقان ، من مميزات المتصل ذي البعدين .

ولنتبر مثلاً آخر : لنفرض أننا أردنا الآن اختيار حجرة ما كجموعة أحادياتنا ، أي أننا نريد أن نصف الأمكنة بالنسبة لجدران الحجرة الصلبة . فوضع نهاية المصباح الكهربائي مثلاً — إذا كان ساكناً — يمكن وصفه بثلاثة أرقام معينة : يعين اثنان منهما البعدين عن جدارين متعامدين بينما يحدد الثالث البعد عن الأرض أو السقف . وإذن تحدد ثلاثة أرقام معينة كل نقطة من نقط الفراغ ، وكذلك تتميز كل نقطة من نقط الفراغ بثلاثة أرقام محددة لها . ونعبر عن هنا بقولنا إن فضاءنا هو متصل ذو ثلاثة أبعاد . وبالمثل يكون التحكم في صغر الخطوات التي يمكننا بواسطتها الربط بين نقطتين بعديتين في الفراغ — كل منهما محددة بثلاثة أرقام — من مميزات المتصل ذي الثلاثة الأبعاد .



ولكن هذا كله ليس من علم الطبيعة في شيء . ولكي نعود إلى دراستنا الطبيعية يجب أن نعتبر حركة الجسيمات المادية . ولكي ندرس وتنبأ بوقوع أحداث في الطبيعة يجب أن نعتبر أزمنا هذه الأحداث فضلاً عن

أمكنة وقوعها . وسنسوق الآن إلى القارئ مثلاً آخر غاية في البساطة :

هب أن حجراً صغيراً (لدرجة تمكننا من اعتباره كجسيم) ألقى من قمة برج ارتفاعه ٢٥٦ قدماً . فنجد عصر جاليليو أصبح في إمكاننا أن نعين عند أي لحظة ما يحدث (أي بعد) الحجر بعد إسقاطه من قمة البرج . وهالك جدولاً يبين أوضاع الحجر بعد ١٠، ٢٠، ٣٠، ٤٠ ثوان على التوالي :

الارتفاع عن سطح الأرض مقدراً بالأقدام	الزمن مقدراً بالتوائى
٢٥٦	صفر
٢٤٠	١
١٩٢	٢
١١٢	٣
صفر	٤

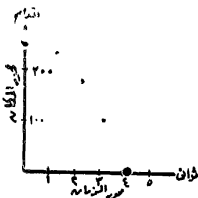
ترى فى هذا الجدول خمسة أحداث ، يتحدد كل منها بواسطة رقمين ، أى الإحداثيين الزمنى والسكانى . لكل حدث . فالحدث الأول هو إسقاط الحجر من ارتفاع ٢٥٦ قدماً فوق سطح الأرض عند الزمن « صفر » . والحدث الثانى هو انطباق الحجر مع مقياسنا التماسك (البرج) عند ارتفاع ٢٤٠ قدماً فوق سطح الأرض . وقد حدث ذلك بعد الثانية الأولى . والحدث الأخير هو انطباق الحجر على سطح الأرض .

ويمكننا تمثيل المعلومات المذكورة فى هذا الجدول الزمنى بطريقة أخرى ؛ فتمثل الأزواج الخمسة من الأرقام ، المذكورة فى الجدول ، نكمس تقط على سطح . ولننتفق أولاً على مقاييس لاتباعها فى تمثيل المسافة والزمن ، ولنفرض أننا سننتبع المقياس التالى :

—————
—————

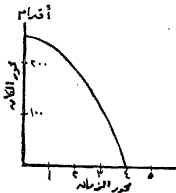
١ ثانية
١٠٠ قدم

سنرمم بعد ذلك خطين متعامدين ، ونسمى الخط الأفقى بمحور الزمن مثلاً ، والخط الرأسى بمحور المكان . سنبرى على الفور أننا يمكننا تمثيل جدولنا الزمنى السكانى بخمس تقط فى المستوى الذى أتبعناه لتمثيل الزمان والمكان .



وسنمثل أبعاد النقط عن محور المكان الإحداثيات الزمنية كما هي مسجلة في العمود الأول لجدولنا الزمني ، وكذلك تمثل الأبعاد عن المحور الزمني الإحداثيات المكانية . وبذلك نكون قد عبرنا عن نفس الشيء بالضبط بواسطة طريقتين مختلفتين تماماً : الجدول الزمني ؛ ونقط

المستوى ، ويمكننا استنتاج كل من هاتين الطريقتين من الأخرى . ومسألة المفاضلة بين طريقتي التمثيل هي مسألة ذوق لا أكثر ، حيث أنهما متكافئتان تماماً . لنخطو الآن خطوة أبعد من ذلك ونصوّر جدولاً زمنياً أدق من الجدول السابق يعطينا أوضاع الحجر الساقط ، لا لكل ثانية فقط بل لكل $\frac{1}{100}$ أو $\frac{1}{1000}$ من الثانية ، وبهذا سيكون لدينا عدد كبير جداً من النقط في مستوانا الزماني - المكاني . وإذا عرفنا الأوضاع في كل لحظة أو إذا كانت الإحداثيات المكانية معلومة بدلالة الزمن كما يقول الرياضيون فإن مجموعة النقط التي لدينا تكون خطاً متصلاً .



وبذلك يكون الرسم التالي ممثلاً للمعلومات الكاملة عن الحركة وليس لجزء فقط من هذه المعلومات . وتمثل هنا الحركة على امتداد القضيب الصلب (البرج) - أي الحركة في فضاء ذي بعد واحد - بمنحن في متصل زمان ومكان ذي بعدين اثنين . ولكل نقطة من تقاطع متصلنا الزماني والمكاني عدداً

ميزان ، يرمز أحدهما لإحداثى الزمان والاخر لإحداثى المكان وبالعكس تشير أى نقطة فى مستوى الزمان والمكان إلى عدد من يحددان حدثاً ما . وتمثل نقطتان متجاورتان حدثين عند مكانين وزمانين مختلفين قليلا عن بعضهما .

ولعلك تترض على طريقة التمثيل هذه بقولك أنه لا معنى لتمثيل وحدة الزمن بخط صغير فى الرسم البيانى ، ثم الربط بين الزمن والمكان فى شكل متصل ذى بعدين من المتصلين الأحاديا البعد . ولكن يجب عليك فى نفس الوقت أن تعترض بنفس الشدة ضد جميع المنحنيات التى تمثل تغير درجة الحرارة فى مدينة نيويورك أثناء الصيف الماضى مثلا أو ضد جميع المنحنيات التى تمثل التغير فى مستوى المعيشة خلال السنوات القليلة الماضية ، حيث أن نفس طريقة التمثيل البيانى متبعة فى كل من هذه الأمثلة . فى منحنيات درجة الحرارة نجمع بين متصل درجة الحرارة الأحادى البعد ومتصل الزمن الأحادى البعد ، مكونين متصلاثنائى الأبعاد لدرجة الحرارة والزمن .

ولزجج الان إلى مثال الجسم الساقط من قمة البرج البالغ من الارتفاع ٢٥٦ قدماً . فصورة الحركة البينائية هى طريقة ذات فائدة عظيمة لأنها تمكننا من تعيين مكان الجسم عند أية لحظة . ونود الآن تمثيل حركة الجسم مرة أخرى إذا عرفنا كيف يتحرك ، ويمكننا عمل ذلك بطريقتين مختلفتين .

لعلنا نذكر صورة الجسم الذى يغير مكانه بمرور الزمن فى القضاء ذى البعد الواحد . ولم نخلط فى تلك الصورة بين الزمن والمكان بل استخدمنا صورة ديناميكية تتغير فيها الاوضاع مع الزمن .

ولكن يمكننا تصوير نفس الحركة بطريقة أخرى استاتيكية نعتبر فيها منحنيًا فى متصل المكان والزمان ذى البعدين . وفى هذه الحالة تمثل الحركة كشيء موجود فى متصل الزمن والمكان ذى البعدين ، وليس كشيء يتغير فى المتصل المكاني ذى البعد الواحد .

وتكافؤ هاتان الصورتان تماماً مع بعضهما ، وليس تفضيل طريقة على أخرى

سوى مسألة ذوق ، وليست هناك أية علاقة بين كل ما قلناه الآن وبين نظرية النسبية . ويمكننا استخدام أى من الصورتين دون تفرقة على الرغم من أن الطبيعة الكلاسيكية قد فضلت الصورة الديناميكية التي تصف الحركة كحوادث واقعة في المكان وكأنه ليست لها وجود في متصل المكان والزمان . ولكن النظرية النسبية غيرت وجهة النظر هذه ، إذ كانت إلى حد كبير في جانب الصورة الاستاتيكية ، ووجدت في كيفية تمثيل الحركة كشيء موجود في الزمان والمكان صورة أكثر ملاءمة وقرباً من الحقيقة . وما زال علينا أن نجيب على هذا السؤال: لماذا لا تتكافأ صورتاً تمثيل الحركة من وجهة نظر النظرية النسبية على الرغم من تكافؤهما من وجهة نظر الطبيعة الكلاسيكية ؟

وسندرك الإجابة على هذا السؤال إذا اعتبرنا حركة مجموعتين إحدائيتين متحركتين بانتظام بالنسبة لبعضهما . فطبقاً لقواعد الطبيعة الكلاسيكية يحدد المشاهدان القيمان في هاتين المجموعتين احداثيات مكانية مختلفة وزمن واحد لحدث ما وإذن في حالة مثالنا السابق يتنيز انطباق الجسم على سطح الأرض في مجموعتنا الإحداثية المختارة بالاحداثى الزمنى « ٤ » وبالاحداثى المكاني صفر وسيظل الحجر طبقاً للميكانيكا الكلاسيكية بأخذ أربع ثوان لكي يصل إلى سطح الأرض في نظر مشاهد يتحرك بانتظام بالنسبة للمجموعة الإحداثية المختارة . ولكن هذا المشاهد سيقيس المسافة في مجموعته الإحداثية وسيربط بين هذه الإحداثيات المكانية وحدث التصادم على الرغم من أن الإحداثى الزمنى سيكون واحداً في نظره وفي نظر جميع المشاهدين الآخرين المتحركين بانتظام بالنسبة لبعضهم . فالطبيعة الكلاسيكية لا تعرف سوى زمناً واحداً مطلقاً بالنسبة لجميع المشاهدين ، وفي هذه الحالة يمكننا شطر المتصل ذى البعدين لكل مجموعة احداثية إلى متصلين كل منهما ذو بعد واحد : الزمان والمكان . وبسبب الصفة المطلقة للزمن فإن الانتقال من الصورة الاستاتيكية إلى الصورة الديناميكية له معنى نظري في الطبيعة الكلاسيكية . ولكننا سبق أن اقتنعنا بأن التحويلات الكلاسيكية يجب ألا تستخدم في علم

الطبيعة بصفة عامة . ومن الناحية العملية تتحقق هذه التحويلات فقط في حالة السرعة الصغيرة .

وطبقاً لنظرية النسبية لن يكون زمن ارتطام الحجر مع سطح الأرض واحداً في نظر جميع الشاهدين ، إذ سيختلف الاحداثى الزمنى والاحداثى المكافى في المجموعتين الاحداثيتين ، وسيكون التغير في الاحداثى الزمنى ملحوظاً جداً إذا اقتربت السرعة النسبية من سرعة الضوء . ولا يمكننا شطر المتصل ذى البعدين إلى متصلين أحادي البعد ، كما هي الحال في الطبيعة الكلاسيكية . ويجب ألا نعتبر السكان والزمان على حدة في تعيين الاحداثيات المكانية والزمنية في مجموعة احداثية أخرى . ويظهر أن شطر المتصل ذى البعدين إلى المتصلين الاحداثى البعد عملية اختيارية ليس لها أى معنى من وجهة النظر النسبية .

ومن السهل تعميم ماسبق قوله في حالة الحركة العامة التي ليست في خط مستقيم . وفي الحقيقة أنه يلزمنا أربعة أرقام - لارقين اثنين - لوصف الأحداث في الطبيعة . وفناء علم الطبيعة كما تتصوره خلال الأجسام وحركتها له ثلاثة أبعاد ، وتتمين حركة هذه الأجسام بواسطة ثلاثة أرقام . وتكون اللحظة التي وقع فيها الحدث الرقم الرابع . وبذلك تشير أى أربعة أرقام معينة إلى حدث ما ، كما أن أى حدث يتحدد بواسطة مثل هذه الأرقام الأربعة . وإذن يكون عالم الأحداث متصلاً ذا أربعة أبعاد . وليس في هذا شيء من الغرابة . وتتحقق العبارة الأخيرة في حالتى الطبيعة الكلاسيكية ونظرية النسبية على السواء . ومرة ثانية نكتشف وجود فرق عند ما نعتبر حالة مجموعتين احداثيتين متحركتين بالنسبة لبعضهما . لنفرض أن لدينا حجرة متحركة ، وقد أخذ المشاهد القيم داخلها وذلك القيم خارجها في تعيين الاحداثيات المكانية الزمانية لحدث ما . سيحاول عالم الطبيعة الكلاسيكية شطر المتصل ذى الأربعة أبعاد إلى فضاء ذى ثلاثة أبعاد ومتصل زمانى ذى بعد واحد . سيهتم عالم الطبيعة القديمة فقط بالتحويلات المكانية حيث أن الزمن شيء مطلق بالنسبة له ، وسيجد أن شطر المتصل الرباعى الأبعاد إلى متصل المكان ومتصل الزمان شيئاً طبيعياً وملائماً . ولكن من وجهة نظر النسبية يتغير الزمن والمكان

عند الانتقال من مجموعة احداثية إلى أخرى ، وتحدد لنا تحويلات لورنتر خواص تحويلات متصل الزمان والمكان ذى الأربعة أبعاد لعالم الأحداث الطبيعية ذى الأبعاد الأربعة .

ويمكننا وصف عالم الأحداث ديناميكياً بصورة تتغير مع الزمن وممثلة في الفضاء ذى الثلاثة أبعاد . ولكن يمكن تمثيلها أيضاً بصورة استاتيكية في المتصل الزماني المكاني ذى الأربعة الأبعاد . ومن وجهة نظر الطبيعة الكلاسيكية تتكافأ الصورتان الاستاتيكية والديناميكية ، في حين أنه من وجهة النظر النسبية تعتبر الصورة الاستاتيكية أكثر ملاءمة وقرباً إلى الحقيقة .

ويمكننا استخدام الصورة الديناميكية حتى في نظرية النسبية إذا فضلنا ذلك ولكن يجب أن نتذكر أن هذا الانقسام إلى زمان ومكان ليس له أى معنى حقيقى حيث أن الزمن ليست له صفة الاطلاق . وسنستمر في استخدام اللغة الديناميكية لا الاستاتيكية في الصفحات المقبلة متذكراً جيداً مواطن قصورها .

النسيب العامة :

ما زالت لدينا نقطة في حاجة إلى استجلاء ، إذ أننا لم نجب بعد على أحد الأسئلة الأساسية وهو : هل هناك مجموعة إحداثية قاصرة ؟ قد عرفنا بعض الشيء عن قوانين الطبيعة وعدم تغيرها بالنسبة لتحويلات لورنتر وانطباقها على جميع المجموعات القاصرة المتحركة بانتظام بالنسبية لبعضها . فلدينا القوانين ولكننا لانعرف الاحداثيات التى تنسب إليها هذه القوانين . ولكى نزداد إلماماً بهذه المشكلة ، دعنا نناقش عالم الطبيعة الكلاسيكية ونسأله بعض أسئلة بسيطة :

« ما هى المجموعة القاصرة ؟ »

« هى مجموعة إحداثية تتحقق فيها قوانين الميكانيكا ، فالجسم الذى لا تؤثر عليه قوى خارجية يتحرك بانتظام في هذه المجموعة . وإذن يمكننا بفضل هذه الخاصية التمييز بين المجموعة الإحداثية القاصرة وبين أى مجموعة أخرى . »

« ولكن ماهو معنى القول بعدم وجود قوى تؤثر على الجسم ؟ »

« معناه ببساطة أن الجسم يتحرك بانتظام في مجموعة إحدائية قاصرة . »

وهنا يمكننا أن نضع مرة ثانية السؤال « ماهى المجموعة الإحدائية القاصرة ؟ »
ولكن بما أنه ليس هناك أمل كبير في الحصول على إجابة تختلف عن الإجابة السابقة . فلنحاول أن نحصل على بعض معلومات بتنوير السؤال .

« هل تُعتبر المجموعة الإحدائية المثبتة في سطح الأرض مجموعة قاصرة ؟ »

« كلا ، لأن القوانين الميكانيكا لا تنطبق تماما على سطح الأرض بسبب حركتها

الدورانية ولكن يمكننا اعتبار مجموعة إحدائية مثبتة في الشمس مجموعة إحدائية قاصرة في كثير من المسائل ، ولكن عندما نتكلم عن حركة الشمس الدورانية فإننا نفهم ضمناً أن مجموعة إحدائية مثبتة فيها لا يمكن اعتبارها قاصرة تماما »

« وإذن ماهى مجموعتك الإحدائية القاصرة وكيف تختار حركتها ؟ »

« المجموعة الإحدائية القاصرة هى مجرد فكرة خيالية فقط وليست لدى أية فكرة عن إمكان تحقيقها فإذا أمكننى أن أجمد عن جميع الأجسام المادية وأحرر نفسى من جميع التأثيرات الخارجية فإن مجموعتى الإحدائية تكون حينئذ قاصرة . »

« ولكن ماذا تعنى بمجموعة إحدائية محررة من التأثيرات الخارجية ؟ »

« أعنى أن المجموعة الإحدائية تكون قاصرة . »

أى أننا قد رجعنا مرة أخرى إلى حيث بدأنا ! !

وهكذا كشف لنا هذا الحوار عن صعوبة خطيرة في علم الطبيعة الكلاسيكى .
فلدينا قوانين ولكننا لا ندرى إلى أى مجموعة إحدائية ننسبها إليها ! وهكذا يبدو لنا أن عالمنا الطبيعي كله مبني على أساس من الرمال .

ويمكننا مواجهة هذه المعضلة من جانب آخر . لتتصور أن الكون بأجمعه لا يحتوى سوى جسما ماديا واحداً سنأخذة ممثلاً لمجموعتنا الإحدائية . ولنفرض أن هذا الجسم بدأ يدور حول نفسه . فطبقاً للميكانيكا الكلاسيكية ستكون القوانين

الطبيعية للجسم الدائر مختلفة عن تلك المناظرة لها في الجسم الساكن . فإذا كانت قاعدة القصور الذاتي صحيحة في حالة من هاتين الحالتين فإنها لن تصح في الأخرى ، ولكن هذا القول غير سليم ، إذ هل يصح لنا أن نعتبر حركة جسم واحد فقط في السكون بأجمعه ؟ مع اننا نمى دائماً بحركة الجسم « هذا التغير في موضعه بالنسبة لجسم آخر . وإذن يكون من غير الطبيعي أن نتكلم عن حركة جسم واحد فقط ، وهكذا تتعارض الميكانيكا الكلاسيكية مع الطبيعة حول هذه النقطة . وللخروج من هذا المأزق فرض نيوتن أنه إذا كانت قاعدة القصور الذاتي صحيحة فإن المجموعة الاحداثية تكون إما ساكنة أو متحركة بحركة منتظمة . وإذا كانت قاعدة القصور غير صحيحة فإن الجسم يتحرك بحركة غير منتظمة ، وإذن يتوقف قولنا بالحركة أو السكون على ما إذا كانت جميع القوانين الطبيعية تنطبق أو لا تنطبق على مجموعة إحداثية معينة .

لنعتبر جسمين كالشمس والأرض مثلاً . فلحركة التي نلاحظها هي حركة نسبية ، يمكن وصفها بتثبيت المجموعة الاحداثية بالأرض أو الشمس . ومن جهة النظر هذه يظهر لنا أن اكتشافات كوبرنيكوس العظيمة ليست سوى نقل المجموعة الاحداثية من الأرض إلى الشمس . ولكن بما أن الحركة نسبية ويمكننا استخدام أى مجموعة إحداثية فلن يكون لدينا أى سبب لتفضيل مجموعة إحداثية على أخرى .

وهنا يتدخل علم الطبيعة مرة أخرى لغير وجهة نظرنا . فالمجموعة الإحداثية المتصلة بالشمس تشبه مجموعة قاصرة أكثر من تلك المتصلة بالأرض ، ويجب أن تنطبق قوانين علم الطبيعة على مجموعة كوبرنيكوس الإحداثية أكثر من انطباقها على مجموعة بطليموس . ويمكن تقدير أهمية اكتشاف كوبرنيكوس فقط من وجهة نظر علم الطبيعة ، فهي ترينا الأهمية الفائقة لاستخدام مجموعة إحداثية مثبتة تماماً في الشمس لوصف حركة النجوم .

ولا توجد حركة منتظمة مطلقة في علم الطبيعة الكلاسيكي . فإذا تحركت مجموعتان إحداثيتان بانتظام بالنسبة لبعضهما فليس هناك معنى للقول بأن « هذه المجموعة الإحداثية ساكنة والأخرى متحركة » . ولكن إذا كانت المجموعتان

الاحداثيات متحركتين بدون انتظام بالنسبة لبعضهما فهناك ما يدعونا للقول « هذا الجسم يتحرك والآخر ساكن (أو يتحرك بانتظام) » . فالحركة المطلقة لها هنا معنى محدد تماما . وتوجد هنا هوة سحيقة تفصل بين المنطق من جانب الطبيعة الكلاسيكية من جانب آخر . وترتبط الصعوبات المذكورة والتعلقة بالمجموعة القاصرة والحركة المطلقة ببعضها ، ويمكن أن تحدث الحركة المطلقة فقط على أساس المجموعة القاصرة التي تتحقق فيها قوانين الطبيعة .

ولعله يبدو أنه ليس هناك مخرج من هذه الصعوبات وأنه ليست هناك نظرية يمكن أن تكون بمنجى عنها . ويرجع ذلك إلى حقيقة كون قوانين الطبيعة تتحقق فقط في مجموعة خاصة من المجموعات الإحداثية أى المجموعة القاصرة . ويتوقف حل هذه المصائب على الإجابة على السؤال التالى : هل يمكننا صياغة قوانين الطبيعة بحيث تتحقق في جميع المجموعات الإحداثية : ليس فقط في تلك التي تتحرك بانتظام ، بل أيضاً في تلك التي تتحرك أية حركة اختيارية بالنسبة لبعضها البعض ؟ إذا كان هذا فى استطاعتنا فإننا سنتغلب على مصاعبنا وسنكون حينئذ قادرين على تطبيق قوانين الطبيعة فى أية مجموعة إحداثية . ولن يكون هناك حينئذ أى معنى للتناحر بين آراء بطليموس وكوبرنيكوس الذى ازداد حدة فى الأيام الأولى من تاريخ العلم . إذ يمكن استخدام أى مجموعة إحداثية دون تفضيل ، وسيكون للجملتين « الشمس ساكنة والأرض متحركة » و « الشمس متحركة والأرض ساكنة » معنيان مختلفان خاصان بمجموعتين إحداثيتين مختلفتين .

هل نستطيع حقاً أن نبنى علم طبيعة نسبي ، يتحقق فى جميع المجموعات الاحداثية ؟ علم طبيعة ليس به مكان لما يسمى بالمطلق ولكن فقط للحركة النسبية ؟ حقاً إن هذا ممكن !!

ولدينا على الأقل دليل - رشحاً من عدم قوته - يرشدنا إلى طريقة بناء علم الطبيعة الحديث . يجب أن ينطبق علم الطبيعة الحديث على جميع المجموعات الاحداثية وإذن ينطبق كذلك على الحالة الخاصة للمجموعة الإحداثية القاصرة . ونحن نعلم الآن قوانين المجموعة الاحداثية القاصرة . ويجب أن تتحول القوانين العامة الجديدة

المتحققة في جميع المجموعات الإحداثية - في الحالة الخاصة للمجموعة القاصرة إلى القوانين القديمة المعروفة .

وقد حلت معضلة صياغة قوانين علم الطبيعة لكل مجموعة إحداثية ، بما يسمى بنظرية النسبية العامة ، والنظرية السابقة التي تنطبق فقط على المجموعات القاصرة تسمى بنظرية النسبية الخاصة . ولا يمكن للنظريتين طبعاً أن يتعارضا مع بعضهما ، حيث أننا يجب دائماً أن نجمل القوانين العامة للمجموعة القاصرة تشمل القوانين القديمة لنظرية النسبية الخاصة . وكما كانت المجموعة الاحداثية القاصرة فيما مضى المجموعة الوحيدة التي صيغت فيها قوانين علم الطبيعة ، فإنها الآن ستكون هي الحالة النهائية الخاصة ، حيث أنه قد أصبح من الممكن لجميع المجموعات الاحداثية أن تتحرك أية حركة إختيارية بالنسبة لبعضهما البعض .

وهذا هو برنامج نظرية النسبية العامة . ولكننا يجب أن نكون أكثر غموضاً عن ذي قبل أثناء وصفنا للطريق الذي أدى إلى هذه النظرية . فالصعوبات الجديدة الناشئة من التطور العلمي تدفع نظريتنا لكي تكون أكثر ابهاماً . وما زالت أماننا مفاجآت غير منتظرة . ولكننا نهدف دائماً إلى التوصل إلى فهم أعمق للحقائق ، وقد أضيفت حلقات إلى سلسلة المنطق التي تربط بين النظرية والتجربة . ولكي نزيل من الطريق المؤدى من النظرية إلى التجربة (المشاهدة) الافتراضات المفتعلة غير الضرورية ، يجب علينا أن نريد في طول السلسلة كثيراً ، وكلما كانت فروضنا أساسية وأكثر سهولة كلما ازدادت وسائلنا الرياضية تعقداً ، وأصبح الطريق من النظرية إلى التجربة أطول وأكثر غموضاً وتعقيداً . ويمكننا القول - رغماً عما يبدو في ذلك من تناقض - بأن علم الطبيعة الحديث أسهل من علم الطبيعة القديم وإذن فهو يبدو أكثر صعوبة وتعقيداً . وكلما كانت صورتنا للعالم الخارجي أكثر سهولة وازدادت الحقائق التي تتضمنها ، كلما ازدادت معها قوة إيماننا بتناسق الكون ونظامه الدقيق .

وفكرتنا الجديدة بسيطة ! أن نبنى علم طبيعة يتحقق في جميع المجموعات الإحداثية . ويؤدي تحقيق ذلك إلى صعوبات جمة ويدفعنا إلى استخدام وسائل

رياضية تختلف عن تلك التي استخدمناها حتى الآن في علم الطبيعة . وسنشرح هنا فقط العلاقة بين تحقيق هذا البرنامج وبين مشكلتين أساسيتين وهما الجاذبية والهندسة .

خارج وداخل المصدر .

يعتبر قانون القصور الذاتي أول تقدم كبير في علم الطبيعة ، بل حرى بنا أن نعتبره البداية الحقيقية لهذا العلم . وقد نشأ هذا القانون من التأمل في تجربة مثالية أي في حالة جسم يتحرك باستمرار دون أية مقاومة ودون أي تأثير لقوى خارجية . ومن هذا المثال وأمثلة أخرى كثيرة بعد ذلك أدركنا أهمية التجربة المثالية في دراستنا . وسندرس هنا أيضاً تجارب أخرى مثالية ، وعلى الرغم من أن هذه التجارب ستبدو خيالية فإنها مع ذلك ستساعدنا على فهم كل ما نستطيع فهمه من نظرية النسبية باستخدام وسائلنا البسيطة .

وقد كان لدينا فيما سبق التجارب المثالية التي نتمناها مستخدمين الحجرة المتحركة ، وسنستخدم الآن على سبيل التنوير مصعداً هابطاً إلى سطح الأرض . لتصور مصعداً ساكناً عند قمة ناطحة سحاب ، أعلا بكثير من جميع الناطحات الحقيقية ، ولنفرض أن الأسلاك الحاملة للمصعد انطلعت فجأة وأن المصعد قد أخذ في الهبوط نحو سطح الأرض . لنفرض أن الشاهدين داخل المصعد أخذوا في القيام ببعض تجارب أثناء الهبوط ، ولن ندخل في اعتبارنا وجود مقاومة الهواء أو الاحتكاك في هذه التجربة المثالية . لنفرض أن أحد الشاهدين قد أخرج من أحد جيوبه منديلاً وساعة ، ثم تركها يسقطان ، فإذا يحدث لهذين الجسمين ؟ . من وجهة نظر المشاهد الخارجي الذي يشاهد ما يحدث خلال نافذة المصدر سيرى أن المنديل والساعة سوف يسقطان نحو الأرض بنفس الطريقة وبنفس العجلة . ونحن نذكر أن عجلة جسم ساقط لا تتوقف أبداً على كتلته ؟ وأن هذه الحقيقة هي التي أظهرت تساوي الكتلة الجاذبية والكتلة القاصرة (صفحة ٢٦) . ونحن نذكر أيضاً أن تساوي هاتين الكتلتين كان مجرد صدفة فقط من وجهة نظر الميكانيكا

الكلاسيكية ولم يكن له أى أثر فى تكوين هذه الميكانيكا . ومع ذلك فإننا نرى هنا أيضاً أن هذا التساوى - الذى ظهر أثره فى تساوى المعجلة لجميع الأجسام الساقطة ذو أهمية كبيرة وأساسى جداً لدراستنا كلها .

لنعود مرة أخرى إلى موضوع التندبل والساعة الساقطين ؛ فن وجهه نظر المشاهد الخارجى يسقط كلا الجسمين بنفس المعجلة . ولكن المصد بجدرانه وأسفقه سيسقط بنفس المعجلة ، وإذن سيظل بعدا الجسمين المذكورين عن قاع المصد ثابتين لا يتغيرا . أما من وجهة نظر المشاهد الداخلى فإن الجسمين سيظلان دائماً فى مكانهما ، تماماً كما تركهما المشاهد . وستجاهل المشاهد الداخلى مجال الجاذبية حيث أن مصدره يقع خارج مجموعته الإحداثية . وسيجد أنه ليست هناك أية قوى داخل المصد تؤثر على الجسمين ولذا فهما فى حالة سكون ، تماماً كما لو كانا فى مجموعة إحداثية قاصرة . وسزى أن أموراً غريبة تحدث داخل المصد ! فإذا دفع المشاهد جسماً فى أى اتجاه ، إلى أسفل أو إلى أعلا مثلاً ، فإن هذا الجسم سيظل دائماً يتحرك حركة منتظمة ، ما دام لا يرتطم بسقف المصد أو قاعدته . وباختصار فإن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تنحقق داخل المصد فى نظر المشاهد الداخلى . وستتحرك جميع الأجسام طبقاً لقانون القصور الذاتى . وستختلف مجموعتنا الإحداثية الجديدة المثبتة فى المصد الساقط عن المجموعة الأحداثية القاصرة فى نقطة واحدة . يتحرك الجسم الذى لا تؤثر عليه أى قوة بانتظام إلى الأبد فى المجموعة الأحداثية القاصرة . ولا تنقيد المجموعة الإحداثية القاصرة - كما فرضت فى علم الطبيعة الكلاسيكى - بمكان أو زمان . وحالة المشاهد فى مصدنا مختلفة إذ أن خاصية القصور الذاتى فى مجموعته الإحداثية مقصورة على المكان والزمان . وسيأتى الوقت الذى يصطدم فيه الجسم المتحرك مع جدران المصد فتتغير حركته المنتظمة . وسيأتى أيضاً الوقت الذى يصطدم فيه المصد مع سطح الأرض فيقتضى على المشاهدين وعلى تجاربهم أجمعين . فليست المجموعة الإحداثية سوى صورة مصغرة لمجموعة إحداثية قاصرة حقيقية .

والطابع المحل للمجموعة الإحداثية جد أساسى . وإذا كان طول قاعدة

مصعدنا الهابط يمتد من القطب الشمالى إلى خط الاستواء ، ووضنا التنديل فوق القطب الشمالى والساعة فوق خط الاستواء فإن المشاهد الخارجى سيحكم بأن هذين الجسمين لن تكون لهما نفس العجلة وإذن لن يكونا ساكنين بالنسبة لبعضهما . وبهذا تفضل استنتاجاتنا !! وإذن يجب أن يكون المصد ذو أبعاد محدودة بحيث تكون عجلة جميع الأجسام ثابتة بالنسبة للمشاهد الخارجى . وعلى هذا الأساس ، يكون للمجموعة الإحداثية صفة القصور التام بالنسبة للمشاهد الداخلى . ويمكننا دائماً إيجاد مجموعة إحداثية تتحقق فيها جميع القوانين الطبيعية على الرغم من كونها محدودة فى المكان والزمان . فإذا تخيلنا مجموعة إحداثية أخرى ، كمصد آخر يتحرك بانتظام بالنسبة للمصد الآخر الساقط تحت تأثير الجاذبية وحدها فإن كلا من هاتين المجموعتين الإحداثيتين ستكون قاصرة عملياً . وستكون القوانين نفسها متتحققة فى كلا المجموعتين ، ويمكننا الانتقال من مجموعة إلى أخرى باستخدام تحويلات لورنتز . ولنستمع الآن إلى وصف كل من المشاهدين الخارجى والداخلى لما يحدث داخل المصد .

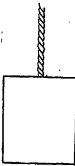
سيلاحظ المشاهد الخارجى حركة المصد وجميع الأجسام الكائنة داخله وسيجدها متفقة مع قانون نيوتن للجاذبية . وبالنسبة له لن تكون الحركة منتظمة بل ذات عجلة بسبب فعل مجال الجاذبية الأرضية . ولكن إذا افترضنا وجود جيل من علماء الطبيعة ، ولدوا ونشأوا فى المصد فإن آراؤهم بصد ما يحدث فى المصد ستكون جد مختلفة ، إذ سيعتقدون فى وجود مجموعة قاصرة وسينسبون جميع قوانين الطبيعة إلى مصدهم ، لأنهم يعتقدون — بحق — أن القوانين تأخذ صورة بسيطة فى مجموعتهم الإحداثية . وسيكون من الطبيعى فى رأيهم الفرض بأن مصدهم ساكن لا يتحرك وأن مجموعتهم الإحداثية قاصرة .

ومن المستحيل فى الخلاف فى رأى بين المشاهدين الخارجى والداخلى ، فكل منهما يمتد أن الصواب هو فى نسبة جميع الإحداث إلى مجموعته الإحداثية ويمكن وضع كل من الرأيين فى وصف الظواهر الطبيعية فى صيغة مقبولة . ونرى من هذا المثال أنه يمكن وضع نظريتين مقبولتين لوصف الظواهر

الطبيعية في مجموعتين إحدائيتين ، حتى ولو لم يكونا متحركين بانتظام بالنسبة لبعضهما . وفي مثل هذه النظريات يجب أن نعتبر « الجاذبية » فتكون بذلك « قنطرة » عكسنا من الانتقال من مجموعة إحدائية إلى أخرى . سيشرح المشاهد الخارجي بوجود مجال الجاذبية في حين أن المشاهد الداخلي لن يعترف بوجوده . سيرى المشاهد الخارجي أن المصعد يتحرك بمجلة في مجال الجاذبية الأوضية ، في حين أن المشاهد الداخلي سوف يجزم بعدم وجود أى مجال للجاذبية في مجموعته ، ولكن « القنطرة » - أى مجال الجاذبية - التى سببت إمكان صياغة القوانين في صورة مقبولة في كلا المجموعتين ، تتصل اتصالاً وثيقاً بالتكافؤ بين كتلة الجاذبية والكتلة القاصرة . وبدون هذا الدليل - الذى لم تنبه إليه الميكانيكا الكلاسيكية - لن يكون هناك أى أساس لدراستنا الحالية .

لنتبر الآن تجربة أخرى مثالية . لنفرض أن هناك مجموعة إحدائية قاصرة يتحقق فيها قانون القصور الذاتى . وقد سبق أن وصفنا ما يحدث في مصعد ساكن في مثل هذه المجموعة الإحدائية القاصرة . ولكننا سنغير تلك الصورة الآن .

لنفرض أن جبلا قد ثبت في المصعد وأن قوة ما ثابته أخذت في شد المصعد إلى أعلا في الاتجاه البين في الرسم . ولن يهمننا كيفية عمل ذلك . وحيث أن قوانين الميكانيكا تتحقق في هذه المجموعة الإحدائية فإن المصعد كله سيتحرك بمجلة ثابتة في اتجاه الحركة . لنستمع الآن مرة أخرى إلى ما يقوله كل من المشاهدين الخارجى والداخلى في وصف الظواهر التى تحدث في المصعد .



المشاهد الخارجى : : مجموعتى الإحدائية قاصرة . إنى أشاهد المصعد يتحرك بمجلة ثانية ، لأن هناك قوة ثابتة تؤثر عليه ، وسيكون المشاهدون داخل المصعد في حركة مطلقة ولذا لن تتحقق قوانين الميكانيكا بالنسبة لهم . ولن يجدوا مثلاً أن الأجسام التى لا تؤثر عليها أنه قوى تظل ساكنة . وإذا ترك جسم في هواء المصعد فإنه سرعان ما يصطدم بقاعدة المصعد ، لأن تلك القاعدة تتحرك إلى أعلا

مقتربة من الجسم الساقط . ويحدث مثل هذا تماماً للساعة وللنديل . ويبدو من غير الأثوف في نظري أن يظل المشاهد الداخلي ملازماً لقاعدة المصعد ، لأنه إذا تقفز إلى أعلا فسرعاناً ما تلحق قاعدة المصعد .

المشاهد الداخلي : إنني لا أرى ما يجعلني أعتقد أن المصعد في حركة مطلقة . وأعتقد أن مجموعتي الإحداثية الثابتة في المصعد ليست حقيقة مجموعة قاصرة ولكنني لا أرى أن هذا له علاقة بالحركة المطلقة . فساعتى ومنديلى وجميع الأجسام تسقط نحو القاعدة لأن المصعد كله وقع تحت تأثير مجال الجاذبية . وأشاهد نفس أنواع الحركة كما يشاهدها المقيم على سطح الأرض بالضغط . وهو يشرحها بمنتهى البساطة على أساس الفرض بوجود مجال الجاذبية . وينطبق هذا الوصف تماماً على الحالة التي أنا بها .

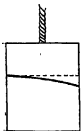
وهذا الوصف للظواهر الطبيعية من وجهتي نظر المشاهدين الخارجى والداخلى مقبول في حد ذاته ولا يمكننا أن نقرر أيهما هو الصواب . ويمكننا اتباع أيهما لو وصف الظواهر التي تحدث في المصعد ؛ إما الحركة غير المنتظمة وعدم وجود مجال الجاذبية في رأى المشاهد الخارجى ، أو السكون ووجود مجال الجاذبية بالنسبة للمشاهد الداخلى .

ويمكن للمشاهد الخارجى أن يفرض أن المصعد في حركة مطلقة غير منتظمة ولكن الحركة تحت تأثير مجال الجاذبية لا يمكن تسميتها حركة مطلقة .

ولعل هناك طريقاً للخلاص من التردد بين هاتين الطريقتين في وصف أحداث الطبيعة ، ولعلنا نستطيع التوصل إلى رأى خاص باتباع إحدى هاتين الطريقتين . لنفرض أن شعاعاً من الضوء مر خلال المصعد في اتجاه أفقى خلال نافذة جانبية ووصل إلى الجانب الآخر في برهة قصيرة . نستمتع مرة أخرى إلى رأى المشاهدين السابقين في مسار الضوء .

سيمف المشاهد الخارجى — الذى يعتقد في أن المصعد يتحرك بهجلة — هذه الظاهرة لنا بقوله : يدخل الشعاع الضوئى من نافذة المصعد ويتحرك أفقياً

في خط مستقيم بسرعة ثابتة في اتجاه جدار المصد المقابل للنافذة . ولكن المصد يتحرك إلى أعلا ، ولذا فإن الضوء عند وصوله إلى الجدار المقابل ، يكون المصد قد ارتفع عن مكانه قليلا ، وإذن سيقع الشعاع الضوئي على الجدار في نقطة أسفل من تلك التي تقابل نقطة دخول الشعاع الضوئي . وسيكون الفرق طفيفاً جداً ولكن وجوده حقيقة لا شك فيها ، وسيرى من المصد أن الضوء لا يتحرك في خطوط مستقيمة بل في خطوط منحنية . وينجم هذا الفرق عن المسافة التي ارتفعها المصد في نفس الزمن الذي يمر فيه الضوء خلاله .



سيقول المشاهد الداخلي — الذي يعتقد بوجود مجال الجاذبية الذي يؤثر على جميع الأجسام الموجودة بالمصد — ليست هناك أية حركة ذات مجلة بالمصد ولكنني أشعر فقط بوجود مجال جاذبية . والشعاع الضوئي لا وزن له وإذن لن يتأثر بفعل الجاذبية . فإذا أرسل شعاع في اتجاه أفقي فإنه سيقابل الحائط في نقطة تقابل تماماً تلك التي أرسل منها .

ويسدو من هذا أن هناك احتمالاً للحكم في جانب إحدى هاتين النظريتين المختلفتين ، لأن الظاهرة الأخيرة ستكون مختلفة في نظر كل من المشاهدين . وإذا كان هناك شيء غير منطقي في إحدى هاتين النظريتين فإن أسس دراستنا كليهما تنهار ؛ ولا يمكننا أن نصف كل الظواهر بطريقتين مقبولتين على أساس فرض وجود مجال للجاذبية أو عدم وجوده .

ومن حسن الحظ أن هناك خطأ كبيراً في تحليل المشاهد الداخلي ، إذ يقوله إن شعاع الضوء لا وزن له وبذلك لن يتأثر بفعل الجاذبية ، لأن ذلك لا يمكن أن يكون صحيحاً ؛ فالشعاع الضوئي يحمل طاقة ولطاقة كتلة . وتتأثر كل كتلة قاصرة بمجال الجاذبية لأن الكتلة التاصرة وكتلة الجاذبية متكافئتان . وإذن ينحني الشعاع الضوئي في مجال الجاذبية تماماً كما يحدث لجسم قذف بسرعة الضوء في اتجاه أفقي .

ولو أبدى المشاهد الداخلى أسباباً صحيحة واعتبر انحناء الأشعة الضوئية في مجال الجاذبية لا تفتت نتائجها مع ما يراه المشاهد الخارجى .

وطبىبى أن مجال الجاذبية الأرضية ضعيف جداً لدرجة أننا لا نستطيع قياس انحناء الأشعة الضوئية بعملياً . ولكن التجارب الشهيرة التى أجريت أثناء خسوف الشمس قد أظهرت بشكل قاطع - وإن يكن غير مباشر - تأثير مجال الجاذبية على مسار شعاع ضوئى .

ويتنج من هذه الأمثلة أن هناك أملاً قوياً فى بناء علم الطبيعة على أساس النظرية النسبية . ولكن يجب أولاً أن ندرس موضوع الجاذبية .

وقد رأينا من مثال المصعد الصورتين المقيولتين لوصف أحداث الطبيعة . فقد نفرض وجود حركة غير منتظمة وقد لا نفرضها . ويمكننا حذف الحركة « المطلقه » من أمثلتنا بفرض وجود مجال للجاذبية . أى أن الحركة غير المنتظمة ليس فيها شىء من صفة الإطلاق ، إذ أن مجال الجاذبية يقضى عليها قضاء مبرماً .

ويمكننا طرد أشياح الحركة المطلقة والمجموعة الأحداثية القاصرة من علم الطبيعة وبناء علم طبيعة نسبي . وترينا تجاربنا التالية كيف يرتبط موضوع نظرية النسبية العامة ارتباطاً وثيقاً مع موضوع الجاذبية ولذا يشتر تكافؤ الكتلة القاصرة مع كتلة الجاذبية ذا أهمية بالغة فى هذا الارتباط . ومن الواضح أن حل موضوع الجاذبية فى النظرية العامة للنسبية يجب أن يختلف عن الحل المبني على أساس نظرية نيوتن . يجب أن تصاغ قوانين الجاذبية - ككل القوانين الطبيعية - لجميع المجموعات الإحداثية الممكنة ، فى حين أن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية كما صاغها نيوتن تتحقق فقط فى المجموعات الإحداثية القاصرة .

الهندسة والتجربة :

لعل مثالنا التالى يكون أكثر إمعاناً فى الخيال من مثال المصعد الساقط . وعلينا الآن أن ندرس موضوعاً جديداً وهو الصلة الموجودة بين نظرية النسبية العامة وبين الهندسة ولنبدأ بوصف عالم تعيش فيه مخلوقات ذات بعدين فقط .

وليس ذات أبعاد ثلاثة مثلنا ، وقد عودتنا السبباً على المخلوقات ذات البعدين التي تمثل وتعيش على الشاشة ذات البعدين أيضاً . لتتصور أن هذه الأشكال الخيالية — أى المثاليين على الشاشة — لها وجود حقيقى وتميز بالقدرة على التفكير والقيام بدراسات علمية وأن الشاشة ذات البعدين تمثل الفضاء الهندسى لهذه المخلوقات وستكون هذه المخلوقات عاجزة عن تخيل وجود فضاء ذى ثلاثة أبعاد ، تماماً كما أننا نعجز عن تخيل عالم ذى أربعة أبعاد . وستعرف هذه المخلوقات الخطوط المستقيمة والمنحنية والدوائر ولكنها ستعجز عن بناء كرة لأن هذا يتطلب منها الاعتماد على الشاشة ذات البعدين . ونحن فى موقف مماثل إذ نستطيع تبنى الخطوط المستقيمة والسطوح ولكن يشق علينا تصور انحناء فضاء ذى ثلاثة أبعاد .

وتستطيع الأشباح الثنائية الأبعاد الإلمام بأصول هندسة اقليدس ذات البعدين بواسطة المعيشة والتفكير والتجارب . فيمكنها مثلاً اثبات أن مجموع زوايا المثلث تساوى ١٨٠ درجة ويمكنها كذلك رسم دائرتين متحدتين فى المركز ، إحداها صغيرة والأخرى كبيرة . وستجد أن نسبة محيطى هاتين الدائرتين إلى بعضهما تساوى نسبة نصف القطرين ، وهى نتيجة مميزة لهندسة اقليدس . فإذا كانت الشاشة لانهائية فى السكبر فإن هذه المخلوقات ستجد أنها إذا حاولت القيام برحلة فى خط مستقيم فإنها لن ترجع أبداً إلى النقطة التى بدأت منها رحلتها .

لنتصور أن هذه المخلوقات الثنائية الأبعاد تعيش فى ظروف مختلفة . لتتصور مثلاً أن شخصاً من العالم ذى الثلاثة أبعاد قد حمل هذه المخلوقات ونقلها من الشاشة إلى سطح كرة ذات نصف قطر كبير جداً . فإذا كانت هذه الأشباح صغيرة جداً بالنسبة للسطح كله وإذا لم تكن ليسهم وسائل للمواصلات البعيدة ولا يمكنهم التحرك طويلاً فإنهم لن يدركوا أى تغير ، فمجموع الزوايا فى المثلثات الصغيرة ستساوى ١٨٠ درجة ، وستظل نسبة نصقى قطرى دائرتين صغيرتين متحدتين فى المركز كنسبة محيطيهما . وستكون الرحلة فى خط مستقيم غير مؤدية إلى نقطة الابتداء فى رأيهم .

ولكن لنفرض أن هذه الأشباح قد أخذت بمرور الوقت فى تنمية معلوماتها

النتية والعملية فاكشفوا وسائل للمواصلات تمكنهم من قطع المسافات الطويلة بسرعة . فسران مايجدوا حينئذ أنه عند بدء رحلة في خط مستقيم سيرجمون في النهاية إلى حيث بدأوا . ويسمى الخط المستقيم الدائرة الكبيرة للكرة . وتستجد هذه الأشباح أيضاً أن نسبة محيطي الدائرتين المتحدتين في المركز ليست مساوية لنسبة نصفي القطرين ، إذا كان أحد نصف القطرين صغيراً والآخر كبيراً .

فإذا كانت مخلوقاتنا ذات البعدين محافظة وكانت قد تعلمت الهندسة الاقليدية منذ أجيال ماضية عندئذ يمكن في استطاعتها السفر بعيداً وعندما كانت هذه الهندسة منطبقة على الحقائق العملية ، فانهم سيجاولون جاهدين التمسك بها رغم نتائج قياساتهم . سيجاولون نسبة تلك الاختلافات إلى أسباب طبيعية كتغيرات في درجة الحرارة تؤدي إلى تغير اشكال الخطوط المستقيمة وتسبب خرق قواعد هندسة إقليدس . ولكنهم سيجدون إن آجلاً أو عاجلاً أن هناك طريقاً أقرب إلى المنطق لوصف تلك الحوادث . سوف يدركون أن عالمهم محدود ذو قواعد هندسية تختلف عن تلك التي تعلموها . سيفهمون أنه على الرغم من عجزهم عن تخيل ذلك فإن عالمهم هو سطح كرة ثنائي الأبعاد . وسرعان ما سيتعلمون قواعد هندسية جديدة ستكون - على الرغم من اختلافها عن هندسة إقليدس - مصافحة في قالب منطقي مقبول ، تنطبق على عالمهم ذي البعدين . وفي رأى جيل جديد ، درج على معرفة هندسة الكرة ستظهر هندسة إقليدس القديمة أكثر تعقيداً وغير طبيعية لأنها لا تتفق مع الحقائق العملية .

لنرجع الآن إلى مخلوقات عالمنا ذات الأبعاد الثلاثة .

ماذا نعني بقولنا إن العالم ذا الأبعاد الثلاثة له طابع إقليدي ؟ معنى ذلك أننا نستطيع بالتجربة الباهرة إثبات جميع نظريات هندسة إقليدس المنطقية . ويمكننا بفضل استخدام الأجسام المتناسكة أو الأشعة الضوئية تكوين أو بناء أجسام تشبه الأجسام المثالية في هندسة إقليدس . غافة المسطرة أو الشعاع الضوئي تشبه الخط المستقيم ، وجميع زوايا المثلث المكون من قضبان متناسكة يساوي ١٨٠ درجة ، ونسبة نصفي أقطار دائرتين متحدتين في المركز ومصنوعتين من سلك دقيق تساوي

النسبة بين طولى المحيطين . فهذه الطريقة تصبح هندسة إقليدس فصلا من علم الطبيعة .
ولكننا نستطيع تخيل إكتشاف انحرافات ، فمثلا مجموع زوايا مثلث كبير
مصنوع من قضبان صلبة متساكة يختلف عن 180° . ولكي نقذف هندسة إقليدس
يجب أن نترض أن الأجسام ليست صلبة تماما وبأنها لاتصلح لكي نستخدمها
في تمثيل هندسة إقليدس . وسنحاول أن نوجد للأجسام تمثيلا أفضل يتفق مع
مبادئ هندسة إقليدس . فإذا لم تنجح في الربط بين هندسة إقليدس وعلم الطبيعة
في صورة بسيطة مقبولة فإن علينا أن نبتدئ فكرة كون فضاءنا إقليديا ، ونبحث
عن صورة أكثر تناسقا في تمثيل الحقيقة وتحتوى على افتراضات عامة . متعلقة
بالخواص الهندسية لفضاء عالمنا .

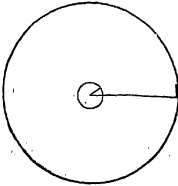
ويمكننا التذليل على ضرورة ذلك بتجربة مثالية ثبت لنا ، أنه لكي يكون
لعلم الطبيعة خواص نسبية حقيقية يجب ألا نبنيه على أساس الخواص الإقليدية .
وستطلب دراستنا نتائج معروفة خاصة بالمجموعات الإحداثائية القاصرة ونظرية
النسبية الخاصة .

لنتصور قرصاً كبيراً مرسوما عليه دائرتان متحدتا المركز ، إحداها صغيرة
والأخرى كبيرة جداً ، ولنفرض أن القرص أخذ يدور بسرعة كبيرة بالنسبة
لمشاهد خارجي في حين أن هناك مشاهداً آخر مستقراً فوق هذا القرص . سنفرض
أيضاً أن مجموعة المشاهد الخارجى الإحداثائية مجموعة قاصرة وأنه رسم في مجموعته
الإحداثائية نفس الدائرتين الصغرى والكبرى . وحيث أن الهندسة الإقليدية تتحقق
في مجموعته ، فإنه سيوجد أن نسبة المحيطين ستساوى نسبة نصف القطرين .
أما بخصوص المشاهد المستقر فوق القرص فإن علم الطبيعة الكلاسيكى وكذلك
النظرية النسبية الخاصة لاتسمح لنا باتباع مثل هذه المجموعات الاحداثائية ، ولكن
إذا رغبتنا في البحث عن صيغ جديدة للقوانين الطبيعية تتحقق في أية مجموعة إحداثائية
فإننا يجب أن نهم بدراسة وجهات نظر المشاهدين الداخلى والخارجى على حد
سواء . ونحن هنا في الخارج نرغب المشاهد الداخلى في محاولته لقياس طول محيط
ونصف قطر كل من الدائرتين على القرص الدائر ، باستخدام نفس قضيب القياس
الصغير الذى يستخدمه المشاهد الخارجى . وكلمة «نفس» هنا تعنى إما حقيقة نفس

القياس بأن يتسلسل المشاهد الداخلي من الخارجى أو بأنه كان أحد مقياسين لها نفس الطول في مجموعة إحداثية ساكنة .

سيبدأ المشاهد الداخلي من فوق القرص بقياس نصف القطر والمحيط للدائرة الصغيرة ويجب أن تتفق نتيجته مع نتيجة المشاهد الخارجى . وحيث أن محور دوران القرص يمر خلال مركز القرص فإن أجزاء القرص القريبة من المركز ستكون ذات سرعة بسيطة جداً . فإذا كانت الدائرة الصغيرة ذات نصف قطرها جداً فإننا يمكننا تجاهل النظرية النسبية الخاصة واستخدام الميكانيكا الكلاسيكية، وينتج من ذلك أن قضيب القياس سيكون له نفس الطول بالنسبة للمشاهدين الداخلي والخارجى وأن نتيجة القياس ستكون واحدة بالنسبة لكليهما . لنفرض الآن أن المشاهد الداخلي قد بدأ في قياس نصف قطر الدائرة الكبيرة ووضع القياس فعلا على نصف القطر مستمراً في عملية . سيرى المشاهد الخارجى أن قضيب القياس يتحرك في اتجاه عمودى على طوله وبذا لن يمانى انكماشاً في الطول وسيظل كاهو، أى ثابتاً بالنسبة لجميع المشاهدين أى أن ثلاثاً من الأربعة كميات التي نريد قياس أطوالها لن تتأثر بحركة دوران القرص وهي نصف القطرين ومحيط الدائرة الصغيرة ولكن الحالة ليست كذلك بالنسبة للكمية الرابعة ! فسيكون طول محيط الدائرة الكبيرة مختلفاً بالنسبة للمشاهدين . فعند وضع قضيب القياس على المحيط في اتجاه الحركة سينكش طوله بالنسبة للمشاهد الخارجى - أى بالنسبة إلى قضيب مقياسه - في مجموعته الساكنة . وحيث أن السرعة كبيرة جداً بالنسبة لحالة الدائرة الصغيرة

فإننا لا يمكننا التفاوض عن هذا الانكماش . فإذا استخدمنا نتائج نظرية النسبية الخاصة فإن استنتاجنا سيكون : إن نتائج قياس محيط الدائرة الكبيرة ستكون مختلفة بالنسبة للمشاهدين الداخلي والخارجى . وحيث أن إحدى الأطوال الأربعة المراد



قياسها ، فقط قد اختلفت ، فإن نسبة نصفي القطرين لا يمكن أن تساوى نسبة محيطي الدائرتين بالنسبة لسكل من المشاهدين الداخلي والخارجي . ومن هذا ينتج أن هندسة إقليدس لا يمكن أن تنطبق على حالة القرص الدائر .

وعند الوصول إلى هذه النتيجة يمكن للمشاهد المستقر فوق القرص أن يعترض بقوله أنه يود اعتبار المجموعة الإحداثية التي لا تتحقق فيها هندسة إقليدس . وينسب عدم انطباق هندسة إقليدس إلى الحركة الدورانية المطلقة ؛ إلى حقيقة كون مجموعته الإحداثية مجموعة غير مقبولة وغير مسموح لنا استخدامها . ولكن الاعتراض بهذه الطريقة ينطوي على رفض المشاهد الداخلي قبول الفكرة الأساسية للنظرية العامة للنسبية . ومع ذلك فإذا رغبتنا في نبذ الحركة المطلقة واتباع آراء النظرية العامة للنسبية فإن علم الطبيعة يجب أن يبني على أساس نوع من الهندسة يكون أكثر تعميماً من هندسة إقليدس . وليست هناك طريقة ما للتخلص من هذه النتيجة مادام من المسموح به استخدام جميع المجموعات الإحداثية .

والتغيرات التي استخدمتها نظرية النسبية العامة لا تنحصر في المكان وحده . وقد كان لدينا في النظرية النسبية الخاصة ساعات متشابهة تماماً وتدور بكيفية واحدة وكانت مثبتة في كل مجموعة إحداثية . ولعلنا نتساءل الآن عما يحدث لساعة تابعة لمجموعة إحداثية غير قاصرة : سترجع ثانية إلى مثال القرص الدائر ونحاول استخلاص الإجابة . سيكون في حوزة المشاهد الخارجي مجموعة من الساعات المضبوطة والوحدة التقدير ، مثبتة في مجموعته القاصرة . سيأخذ المشاهد الداخلي ساعتين من نفس النوع وسيضع إحداها على الدائرة الداخلية الصغيرة والأخرى على الدائرة الخارجية الكبيرة . سيكون للساعة المثبتة في الدائرة الصغيرة سرعة صغيرة جداً بالنسبة للمشاهد الخارجي ويمكننا إذن أن نقول بأن نظام توقيتها سيكون مشابهاً لتوقيت ساعة المشاهد الخارجي . ولكن سرعة الساعة المثبتة في الدائرة الكبيرة سرعة كبيرة جداً ، ولذا فإن نظام توقيتها سيختلف كثيراً عن توقيت ساعات المشاهد الخارجي ، وإذن ستختلف أيضاً عن توقيت الساعة الموضوعة على الدائرة الصغيرة . وإذن سيكون نظام توقيت الساعتين الدائرتين مختلفاً ،

وبتطبيق نتائج نظرية النسبية الخاصة نرى أنه في مجموعتنا الإحداثية ذات الحركة الدورانية لا يمكننا عمل ترتيبات مشابهة لتلك الموجودة في مجموعة إحداثية قاصرة .
ولإيضاح الاستنتاجات التي يمكننا الحصول عليها من هذه التجربة ومن مثيلاتها السابقة سنذكر جانباً من الحديث الذي سبق ذكر بعضه بين العالم الطبيعي القديم « ح » الذي يؤمن بالطبيعة الكلاسيكية وبين العالم الطبيعي الحديث « ح » الذي يعرف نظرية النسبية العامة . و « ح » هو المشاهد الخارجي في المجموعة الإحداثية القاصرة بينما « ح » هو المشاهد القيم فوق القرص الدائر .

« ح » : لا تتحقق الهندسة الإقليدية في مجموعتك الإحداثية . لقد شاهدت قياساتك وأوافقك على أن نسبة طول المحيطين في مجموعتك الإحداثية ليست مساوية للنسبة بين نصفي القطرين . ولكن هذا يثبت أن مجموعتك الإحداثية مجموعة غير مسموح بها . أما مجموعتي فتتميز بطابع القصور الذاتي . ويمكنني استخدام هندسة جاليليو دون أي تفكير . والقرص الذي يدور بك ذو حركة مطلقة . وإذن فهو يمثل مجموعة إحداثية غير مقبولة من وجهة النظر الكلاسيكية ، لا تتحقق فيها قوانين الميكانيكا .

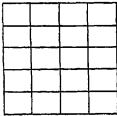
« ح » : لا أود سماع أي شيء يتعلق بالحركة المطلقة ، ونستوى مجموعتي الإحداثية مع مجموعتك سواء بسواء ، لافرق بينهما . وقد نشأ ملاحظته عن حركة قرصك الدورانية بالنسبة للقرص الذي أقيم عليه . وليس هناك ما يمنع من أن أنسب كل الحركات إلى القرص الذي أعيش فوقه .

« ح » : ولكن ألا تشعر بقوة غريبة تحاول دفعك بعيداً عن مركز القرص ؟ فلو لم يكن قرصك داراً بسرعة كبيرة فإن ملاحظته ما كان ليحدث أبداً . فإنك ما كنت تشعر بالقوة التي تدفعك إلى الخارج كما أنك ما كنت لتلاحظ أن هندسة إقليدس لا تنطبق في مجموعتك الإحداثية ، أما تمتد أن في هذه الحقائق ما يكفي لإقناعك بأن مجموعتك الإحداثية في حركة مطلقة ؟

« ح » : كلا . كلا ! إني حقاً قد لاحظت الظاهرتين اللتين أشرت إليهما

ولكنني أعتقد أن هناك مجالاً قريباً للجاذبية يؤثر على القرص ويعتبر مسئولاً عن ظهور هاتين الظاهرتين ، وبسبب اتجاه مجال الجاذبية إلى خارج القرص تقريباً في شكل القضبان المتأسكة ويؤثر على نظام توقيت الساعات التي أستخدمها . وإنني أعتقد أن مجال الجاذبية والمهندسة غير الأفليدية والساعات ذات التوقيت المختلف كلها مرتبطة ببعضها ارتباطاً وثيقاً . ولكي تصبح مجموعتي الإحداثية مقبولة يجب على في نفس الوقت أن أفرض وجود مجال مناسب للجاذبية ذي تأثير على القضبان المتأسكة والساعات .

« ب » : ولكن هل أنت متنبه إلى الصعوبات المتسببة عن نظريتك العامة للنسبية ؟ ولكي أوضح ما أرى إليه سأسوق مثلاً لا يمت بصلة إلى علم الطبيعة . لتتصور مدينة أمريكية مثالية تتكون من شوارع متوازية وأخرى عمودية عليها ، مع فرض أن المسافة بين كل شارعين واحدة في جميع الحالات . وإذاً تكون مجموعات الباني متماثلة دائماً في الشكل . وبهذه الطريقة يمكنني بسهولة تمييز موقع أي مجموعة من مجموعات الباني ، ولكن مثل هذا النظام سيكون مستحيلًا بدون هندسة إقليدس . فثلاً لا يمكنني تقسيم سطح الأرض كله بنفس الطريقة التي قسمنا بها مساحة المدينة الأمريكية . ونظرة واحدة إلى خريطة العالم تمنعنا بهذا وكذلك لا يمكننا تقسيم القرص الذي نعيش عليه بنفس الطريقة . وأنت تدعي أن مجال الجاذبية يؤثر على أبعاد قضبانك ، ولا شك أن هجرك عن إثبات نظرية إقليدس الخاصة بتساوي نسبة أنصاف الأقطار ومحيطات الدوائر ليثبت لك بوضوح أنك إذا قت بمثل هذا التقسيم للشوارع فإنك ستقابل إن أجلاً أو عاجلاً صماباً كثيرة وستجد أن مثل هذا العمل لا يمكن القيام به على سطح القرص . والمهندسة التي تتبعها على قرصك الدائر تشبه هندسة السطح المنحني حيث لا يمكننا إقامة مثل هذا النظام على بقعة كبيرة من السطح . ولذا كر مثال ذي صلة بعلم الطبيعة سنعتبر مستوى يسخن بغير انتظام في نقط مختلفة من سطحه . فهل يمكنك بواسطة استخدام قضبان حديدية صغيرة ممتدة في الطول بتأثير الحرارة ، لإتمام عملية تقسيم المستوى إلى شوارع متوازية وأخرى متعامدة كالرسم في الشكل

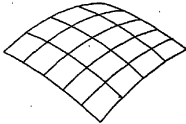


الرفق ؟ بالطبع لا ! إن مجال الجاذبية الذي تفرضه يؤثر على قضبانك ككتأثير التنير في درجة الحرارة على القضبان الحديدية الصغيرة .

« ح » : كل هذا لا يروعي . إن الفرض

من نظام الشوارع المتوازية والمتعامدة كان لتعيين

أماكن النقط ، وتستخدم الساعة لتنظيم وقوع الأحداث ولا يلزم أن تكون المدينة أمريكية ، بل قد تكون مدينة أوروبية قديمة . لنفرض أن مدينتنا المثالية قد صنعت من الصلصال ثم غيرت أشكالها بعد ذلك . سأستطيع مع ذلك أن أتذكر مجموعات المنازل والشوارع المتوازية والأخرى المتعامدة على الرغم من أنها لم تعد متوازية وعلى أبعاد متساوية من بعضها . وبالمثل ترمز خطوط الطول والعرض على سطح أرضنا إلى أوضاع النقط رغمًا عن عدم وجود « نظام تقسيم المدينة الأمريكية » .



« ه » : ما زالت هناك

صعوبة . فأنت مضطر دائماً إلى

إلى استخدام « نظام المدينة

الأوروبية » ، وأنا أوافقك على

أنه يمكنك تنظيم النقط أو

الأحداث ، ولكن هذا التنظيم

سيحدث اضطراباً في جميع قياسات المسافات ، ولن يعطيك الخواص القياسية للعالم كما هي الحالة في التنظيم الذي سبق أن ذكرته . فمثلاً في مدينتي الأمريكية ، لكي تقطع مسافة متكافئة لمشرة لمجموعة بنائية ، يجب أن تسير ضعف مسافة خمسة مجموعات . وحيث أنني أعلم أن جميع المجموعات متساوية فمأستطيع تعيين المسافات على الفور .

« ح » : هنا صحيح ؛ ففي « نظام مدينتي الأوروبية » لا أستطيع قياس

المسافات فوراً بعدد المجموعات ذات الأشكال التنيرة . ويجب أن أعرف شيئاً

أكثر ، يجب أن أعرف الخواص الهندسية للسطح . فكما نعرف أن المسافة عند خط الاستواء بين خطي الطول 0° ، 10° لا تساوي المسافة بين 0° ، 10° عند القطب الشمالي ، فإنه في استطاعة كل بحار أن يعرف المسافة بين مثل هاتين النقطتين على سطح الأرض لأنه يعرف خواصها الهندسية . ويمكنه عمل ذلك إما بطريق الحساب المبنى على أساس معرفته لحساب الثلاثات الكرى أو عملياً بقياس المسافة بواسطة تحريك سفينته بسرعة ثابتة في كلا المسافتين . أما في حالتك فالسألة جد بسيطة ، لأن كل الشوارع تبعد عن بعضها بنفس المسافة . والأمر أكثر تعقيداً على سطح الأرض لأن خطي الزوال 0° ، 10° يتقابلان عند قطب الأرض الشمالي ، وتبلغ المسافة بينهما نهايتها العظمى عند خط الاستواء . وبالمثل في حالة « نظام مدينتي الأوروبية » يجب أن أعرف شيئاً أكثر مما نعرفه في حالة مدينتك الأمريكية « لسكي أندر المسافات . ويمكنني معرفة هذه المعلومات الإضافية بدراسة الخواص الهندسية لعالمى في كل حالة خاصة .

« ب » : ولكن هذا كله يهدف إلى إظهار الصعوبات والتعقيدات التي تنشأ عند نبذ النظام البسيط الناتج عن هندسة إقليدس ، واتباع نظام السقالة المعقد الذي لا بد لك من استخدامه . فهل هناك ضرورة لذلك ؟

« ح » : نعم لا مفر من ذلك ، إذا أردنا تطبيق علم الطبيعة على أية مجموعة إحدائية ، دون الإشارة إلى المجموعة الإحدائية القاصرة المهمة . وأنا أوافقك على أن وسائل الرياضيات أكثر تعقيداً من وسائلك ، ولكن فروض الطبيعة أكثر بساطة وأقرب إلى الطبيعة من فروضك .

وقد أخصرت دراستنا حتى الآن في العالم ذي البعدين . ويتركز اهتمام النظرية العامة للنسبية في عالم أكثر تعقيداً ، هو عالم الزمان والمكان ذو الأربعة الأبعاد . ولكن الآراء والمعتقدات هي نفسها التي ذكرناها في حالة البعدين . ولا يمكننا استخدام « السقالة الليكانية » ذات القضبان المتوازية والتعامدة والسطات المضبوطة في نظرية النسبية العامة ، كما في نظرية النسبية الخاصة . وفي أية مجموعة إحدائية لا يمكننا تعيين النقطة والمحطة اللتين يقع عندهما الحدث ، باستخدام

قضبان ممتسكة وساعات مضبوطة ذات نظام توقيت موحد، كما هي الحال في المجموعة الإحداثية القاصرة المفروضة في نظرية النسبية الخاصة. ولكن يمكننا تنظيم الأحداث بواسطة قضباننا غير الإقليدية وساعاتنا ذات التوقيت المختلف. ولكن القياسات الفعلية التي تحتاج إلى قضبان ممتسكة وساعات مضبوطة ذات نظام توقيت موحد، يمكن عملها فقط في المجموعات الإحداثية القاصرة المحلية. وتتحقق نظرية النسبية الخاصة في هذه المجموعات الأخيرة، ولكن مجموعتنا الإحداثية الصحيحة محلية فقط وخواصها القاصرة محدودة في المكان والزمان. ويمكننا التنبؤ في أية مجموعة إحداثية بنتائج القياسات التي تقوم بها في المجموعة الإحداثية القاصرة. ولعمل ذلك يجب أن نعرف الخواص الهندسية لماننا المكاني — الزماني.

وتوضح لنا تجاربنا المثالية فقط الخواص العامة لعلم الطبيعة النسبي الحديث، وتظهر لنا هذه التجارب أن موضوعنا الرئيسي هو الجاذبية، وأن النظرية العامة للنسبية تؤدي إلى تعميم أكبر لمعتقدات المكان والزمان.

النسبية العامة وتحقيقتها :

تحاول النظرية العامة للنسبية صياغة القوانين الطبيعية لكي تتحقق في جميع المجموعات الإحداثية. والموضوع الأساسي للنظرية هو الجاذبية. وتبذل النظرية أول محاولة جديّة — منذ عهد نيوتن — لصياغة قانون الجاذبية، فهل هذا ضروري، مع ما نلّمسه من انتصارات نظرية نيوتن والتقدم الكبير في علم الفلك المبني على أساس قانون نيوتن للجاذبية؟ ومع أن هذا القانون ما يزال يعتبر حتى الآن أساساً لكل الحسابات الفلكية. ومن ناحية أخرى لا تخفى علينا الاعتراضات على هذه النظرية القديمة.

ويتحقق قانون نيوتن فقط في المجموعة الإحداثية القاصرة لعلم الطبيعة الكلاسيكي، أي في المجموعات الإحداثية التي يشترط فيها — كما نذكر — تحقيق قوانين الميكانيكا. وتتوقف القوة الموجودة بين كتلتين على المسافة الموجودة بينهما. والعلاقة الموجودة بين القوة والمسافة هي كما نعلم لازمة — أي لا تتغير: — بالنسبة

للتحويلات الكلاسيكية . ولكن هذا القانون لا يتفق ونظرية النسبية الخاصة . فليست المسافة لازمة بالنسبة لتحويلات لورنتر . ويمكننا أن نحاول — كما فعلنا بنجاح في حالة قوانين الحركة — تعميم قانون الجاذبية لكي نجعله يتفق مع نظرية النسبية الخاصة أو بعبارة أخرى نصوغه بحيث يكون لازماً بالنسبة لتحويلات لورنتر ، لا بالنسبة للتحويلات الكلاسيكية . ولكن قانون نيوتن للجاذبية قاوم بعناد جميع الجهود التي بذلت لتبسيطه وجعله متمشياً مع نظرية النسبية الخاصة . وحتى إذا فرضنا نجاحنا في ذلك فإن هناك خطوة أخرى ضرورية لا بد منها : هي الانتقال من المجموعة الإحداثية الاختيارية إلى نظرية النسبية العامة . ومن جهة أخرى فإننا نرى بوضوح من التجارب المثالية المتعلقة بالمصد الساقط أنه لا مندوحة لنا من حل مشكلة الجاذبية لكي تتمكن من صياغة نظرية النسبية العامة . ويتضح لنا من دراستنا سبب اختلاف حل موضوع الجاذبية في علم الطبيعة الكلاسيكي عنه في النسبية العامة .

وقد حاولنا إيضاح الطريق المؤدى إلى النظرية العامة للنسبية والأسباب التي تدفعنا مرة أخرى إلى تفسير آرائنا القديمة . وسنحاول — دون أن ندخل في تفاصيل التركيب الرياضى للنظرية — إظهار بعض خصائص لنظرية الجاذبية الجديدة تميزها عن النظرية القديمة . ولن يكون من العسير علينا التنبه إلى طبيعة هذه الفروق نظراً لما سبق لنا إيضاحه :

١ — يمكن تطبيق معادلات الجاذبية لنظرية النسبية العامة في أى مجموعة إحداثية . وسيكون لأى شخص حرية اختيار المجموعة الإحداثية المناسبة في أى مسألة خاصة . وستكون كل المجموعات الإحداثية شكلياً سواء في نظرنا . وإهمال الجاذبية زجع أوتوماتيكياً إلى المجموعة الإحداثية القاصرة في النظرية النسبية الخاصة .

٢ — يربط قانون نيوتن للجاذبية بين حركة جسم في لحظة ما بمكان معين وبين فعل جسم آخر في نفس اللحظة على مسافة بعيدة من الجسم الأول . وهذا

هو القانون الذى وضع لنا أساس نظريتنا الميكانيكية كلها . ولكن النظرية الميكانيكية قد انهارت ، ولسنا فى قوانين ما كسويل نظاماً جديداً لقوانين الطبيعة . ومعادلات ما كسويل هى قوانين بنائية ، إذ أنها تربط الأحداث التى تقع الآن فى مكان ما بتلك التى ستحدث بعد فترة وجيزة فى نقطة قريبة . وهى تودى إلى القوانين التى تصف التنيرات فى المجال الكهرومغناطيسى . ومعادلات الجاذبية الجديدة هى أيضاً معادلات بنائية تصف التنيرات فى مجال الجاذبية . ويمكننا القول بأن الانتقال من قانون نيوتن للجاذبية إلى النسبية العامة يشبه لحد ما الانتقال من الموائع الكهربائية وقانون كولوم إلى نظرية ما كسويل .

(٣) وليس عالمنا إقليدياً ، وتكيف طبيعته الهندسية بالكتل الموجودة وسرعها . وتحاول معادلات الجاذبية فى نظرية النسبية العامة إظهار الخواص الهندسية للعالم .

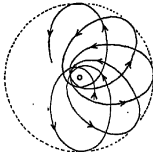
ولنفرض الآن أننا نجحنا فى إتمام برنامج نظرية النسبية العامة . ولكن أسنا فى خطر الحصول على استنتاجات قد تكون بعيدة عن الحقيقة ، ونحن نعلم أن النظرية القديمة تشرح تماماً المشاهدات الفلكية ؟ هل يمكننا مطابقة النظرية الجديدة بالمشاهدات العملية ؟ ويجب تحقيق كل نتائج نظرية النسبية عملياً ، ونبدأ أى نتائج — مهما كانت شيفة وجذابة — إذا كانت تتعارض مع الحقائق العملية . وماذا كانت نتيجة مقارنة نظرية الجاذبية الجديدة بالحقائق العملية ؟ يمكننا الإجابة على هذا السؤال بعبارة واحدة : النظرية القديمة هى حالة خاصة نهائية للنظرية الجديدة . فإذا كانت القوى الجاذبية ضعيفة نسبياً ، فإن قانون نيوتن القديم يصبح قريباً جداً من قانون الجاذبية الجديد . وإذن ينتج أن النتائج التى تؤيد النظرية الكلاسيكية ستؤيد أيضاً النظرية العامة للنسبية . وهما نحن قد توصلنا ثانية إلى النظرية القديمة من طريق النظرية الجديدة .

وحتى على فرض عدم وجود مشاهدات إضافية تؤيد النظرية الجديدة ، وإذا كانت شروحها صالحة تماماً مثل القديمة وكان علينا أن نختار بين النظريتين فإنه

يجب علينا بلا شك أن نتجاز إلى جانب النظرية الجديدة . ومعادلات النظرية الجديدة هي أكثر تعقيداً من الوجهة الشكلية ولكن فروضها ، من وجهة نظر الافتراضات الأساسية ، أكثر سهولة . فقد اختلف الشهبان الخفيان : الزمن المطلق والمجموعة القاصرة ؛ ولم تناض عن تكافؤ الكتلتين القاصرة والجاذبية ؛ ولن نحتاج إلى فرض بخصوص القوى الجاذبية وتوقفها على المسافة ، ولعادلات الجاذبية شكل القوانين البنائية وهو الشكل المطلوب لجميع القوانين الطبيعية منذ الانتصارات الرائعة لنظرية المجال .

وقد أمكننا الحصول على استنتاجات جديدة من قوانين الجاذبية الجديدة ، لا يشملها قانون نيوتن للجاذبية . وإحدى هذه الاستنتاجات هي ظاهرة انحناء الأشعة الضوئية في مجال الجاذبية التي نوهنا عنها فيما سلف . وسنذكر الآن مثالين آخرين .

إذا كانت القوانين القديمة تنتج من الجديدة عند ما تكون القوى الجاذبية ضعيفة فإننا يمكننا توقع الانحراف عن قانون نيوتن للجاذبية فقط في حالة مجالات الجاذبية القوية . لنعتبر مجموعتنا الشمسية مثلاً . فالكوكب — بما فيها الأرض — تتحرك في مسارات حول الشمس على شكل قطاعات ناقصة . وأقرب هذه الكواكب إلى الشمس هو المشترى ، وإذن يكون التجاذب بين الشمس والمشتري أقوى من ذلك الموجود بين الشمس وأي كوكب آخر ، لأن بعده أقل من أبعاد الكواكب الأخرى . فإذا كان هناك أمل في إيجاد انحراف عن قانون نيوتن ، فإن احتمال وجوده يكون أقوى



في حالة المشترى . وينتج من النظرية الكلاسيكية أن مسار الكوكب المشترى لا يختلف في شيء عن مسار أي كوكب آخر سوى أنه أكثرها قرباً إلى الشمس أما في حالة النظرية النسبية العامة ، فيجب أن تكون الحركة مختلفة قليلاً . فلن

يتحرك المشتري حول الشمس في قطع ناقص فقط ، بل إن هذا القطع الناقص نفسه يجب أن يدور بيطة كبير بالنسبة لمجموعة الإحداثية المثبتة في الشمس . ودوران القطع الناقص هو التأثير الجديد لنظرية النسبية العامة . وتطينا النظرية مقدار هذه الظاهرة ، ولكي ندرك مقدار صغر هذا التأثير وعدم احتمال استطاعتنا إدراكه في حالة الكواكب البعيدة عن الشمس يكفي أن نذكر أن دورة خسوف المشتري تستغرق ثلاثة ملايين سنة !

وقد كان انحراف حركة الكوكب المشتري عن القطع الناقص معروفاً قبل نشوء نظرية النسبية العامة ، ولم يتمكن العلماء من وضع شرح له . بل على العكس نشأت النظرية العامة للنسبية دون التنبه إلى هذا الموضوع الخاص ، ولكن فيما بعد ظهرت من معادلات الجاذبية الجديدة ، النتيجة الخاصة بدوران القطع الناقص أثناء حركة كوكب حول الشمس . وقد شرحت النظرية بنجاح انحراف الحركة عن قانون نيوتن في حالة المشتري .

وما زالت هناك نتيجة أخرى يمكننا استخلاصها من النظرية العامة للنسبية ومقارنتها بالتجربة . سبق أن رأينا أن ساعة موضوعة على الدائرة الكبيرة لقرص دائر تتميز بنظام توقيت مختلف عن نظام الساعة الموضوعة على الدائرة الصغيرة . وبالمثل ينتج من نظرية النسبية أن ساعة موضوعة على الشمس سيكون لها نظام توقيت مختلف عن نظام الساعة الموجودة على سطح الأرض ، لأن تأثير مجال الجاذبية أقوى بكثير على الشمس منه على الأرض .

وقد لاحظنا (في صفحتي ٧٢ - ٨٣) أن الصوديوم التوهج يشع ضوءاً أصفر متجانساً ذا طول موجي معين . وتكشف الذرة في هذا الإشعاع عن ناحية من حركتها الدورية . إذ أن الذرة تمثل ساعة يكون طول الموجة المشعة هو وحدة تقديرها للزمن . وإذن طبقاً لنظرية النسبية العامة يكون الطول الموجي للضوء الصادر من ذرة الصوديوم في سطح الشمس مثلاً ، أكبر قليلاً من الطول الموجي الصادر من ذرة الصوديوم الموجودة على سطح الأرض .

ويعتبر تحقيق نتائج النظرية العامة للنسبية بالملاحظة مسألة معقدة ، وغير منتهية

حتى الآن . وحيث أننا نهم بالأراء الأساسية فإننا لا ننوي أن نتمنى كثيراً في هذا الموضوع بل يكفي أن نقول إن حكم التجربة يبدو حتى الآن مؤيداً للنتائج المستخلصة من نظرية النسبية العامة .

المجال والمادة :

رأينا فيما سبق سبب وكيفية فشل وجهة النظر الميكانيكية ، فقد كان من المستحيل شرح جميع الظواهر بفرض وجود قوى بسيطة بين جسيمات لا تتغير . وقد كان التوفيق حليف محاولاتنا الأولى للتمنى إلى أبعد من الوجة الميكانيكية وكذلك أصابت معتقدات المجال نجاحاً كبيراً في عالم الظواهر الكهرومغناطيسية ، ثم تمت بعد ذلك صياغة القوانين البنائية للمجال الكهرومغناطيسى ، وهي تربط بين الأحداث القريبة جداً من بعضها في المكان والزمان . وهذه القوانين تلائم بناء النظرية الخاصة للنسبية حيث أنها لا تتغير بالنسبة لتحويلات لورنتز . وبعد ذلك صاغت النظرية العامة للنسبية قوانين الجاذبية . وهذه أيضاً قوانين بنائية تصف مجال الجاذبية بين الجسيمات المادية . وقد كان من السهل تعميم معادلات ماكسويل بحيث يمكن استخدامها في أية مجموعة إحداثية ، كما حدث لقوانين الجاذبية في النظرية العامة للنسبية .

ولدينا حقيقتان : المادة والمجال . وليس هناك أدنى شك في أننا لا يمكننا أن نتخيل في الوقت الحاضر أن علم الطبيعة مبني كله على أساس المادة ، كما فعل علماء الطبيعة في أوائل القرن التاسع عشر . سنقبل الآن كلا الرأيين مؤقتاً . هل يمكننا أن نعتبر المادة والمجال حقيقتين متميزتين ومختلفتين ؟ فإذا كان لدينا جسماً صغيراً من المادة . فإننا يمكننا البرهنة بطريقة سهلة أن هناك سطحاً خاصاً للجسيم ، لا تكون مادة الجسم موجودة به ، ولكن تظهر فيه آثار مجال جاذبيته . وخلال دراستنا اعتبرنا أن المنطقة التي تتحقق فيها قوانين المجال تنفصل تماماً بطريقة جاثية عن المنطقة التي توجد بها المادة . ولكن ماهي الخواص الطبيعية التي تميز كلا من المادة والمجال ؟ وقبل أن تظهر النظرية النسبية حاولنا الإجابة على هذا السؤال بالطريقة التالية : تتميز المادة بوجود

كتلة لها في حين أنه ليست للمجال كتلة . ويمثل المجال طاقة في حين تمثل المادة كتلة . ولكننا نعرف مما سبق أن مثل هذه الإجابة تعتبر غير كافية بالنسبة للمعلومات الحديثة . تبيننا نظرية النسبية أن المادة تمثل خزائن كبيرة من الطاقة . وأن هذه الطاقة تمثل مادة . ولا يمكننا بهذه الطريقة التمييز ظاهرياً بين المادة والمجال لأن التفرقة بين الكتلة والطاقة ليست ممكنة شكلياً . ويتركز الجزء الأعظم من الطاقة في المادة ولكن المجال المحيط بالجسم يمثل طاقة أيضاً ولو أنها ذات قدر ضئيل نسبياً — وإذن يمكننا أن نقول : توجد المادة حينما يكون تركيز الطاقة عظيماً ، ويوجد المجال عند ما يكون تركيز الطاقة ضئيلاً . ولكن إذا كانت الحال كذلك فإن الفرق بين المادة والمجال هم مسألة تتوقف على مقدار الكمية الموجودة ، ولا معنى لاعتبار المادة والمجال صورتين مختلفتين كثيراً عن بعضهما . ولا يمكننا أن نتخيل سطحاً معيناً يفصل المجال تماماً عن المادة .

وتنشأ نفس الصعوبة في حالة الشحنة الكهربائية ومجالها . ويسدو من المستحيل أن نعطي خواصاً شكلية واضحة للتمييز بين المادة والمجال أو الشحنة والمجال . وقوانيننا البنائية أى قوانين ماكسويل وقوانين الجاذبية لا تنطبق على حالات تركيز الطاقة الكبيرة جداً أو عند أماكن وجود مصادر المجال ، أى الشحنات الكهربائية أو المادة . ولكن هل يمكننا تحويل معادلاتنا بحيث تصبح صحيحة في كل مكان حتى في المناطق التي تكون فيها الطاقة مركزة جداً ؟

لا يمكننا بناء علم الطبيعة على أساس المادة فقط ، ولكن الانقسام إلى مادة مجال ، بعد إدراك التكافؤ بين الكتلة والطاقة ، يعتبر شيئاً مصطنعاً وغير واضح تماماً . فهل يمكننا بذ فكرة المادة وبناء علم الطبيعة على أساس المجال؟ وأن يكون ما يؤثر على إحساساتنا كإدراكنا ليس في الحقيقة سوى تركيز عظيم جداً للطاقة في حيز صغير ؟ ويمكننا اعتبار أن المادة هي تلك المناطق من الفضاء التي يكون المجال ذا تركيز كبير فيها . ويمكننا بهذه الطريقة تكوين رأى فلسفى جديد ، يهدف إلى شرح جميع أحداث الطبيعة ، بواسطة قوانين بنائية تتحقق دائماً في كل مكان . ومن وجهة النظر هذه ، يكون « الحجر المقذوف في الهواء » مجالاً متغيراً

ذا شدة كبيرة يتحرك في الفضاء بسرعة الحجر . ولن يكون هناك مكان في علم الطبيعة الحديث لكلا المجال والمادة ، فالمجال هو الحقيقة الوحيدة . وتدفعنا إلى هذا الرأي الانتصارات العظيمة التي أحرزتها معتقدات المجال في علم الطبيعة وكذلك نجاحنا في صياغة قوانين الكهرباء والمغناطيسية والجاذبية على شكل قوانين بنائية ، ثم التكافؤ بين المادة والطاقة . وستكون مشكلتنا الأخيرة هي تحويل قوانين المجال بشكل يجعلها تظل متحققة في المناطق التي تكون الطاقة فيها مركزة جداً .

ولكننا لم ننجح حتى الآن في بلوغ هذا الهدف بطريقة مقبولة ومرضية ، وترتك للمستقبل الحكم فيما إذا كان في الإمكان تحقيق هذا الفرض . وحتى الآن يجب أن نستمر في فرض وجود المادة والمجال في جميع دراستنا . وما زالت أمامنا مسائل أساسية . فنحن نعلم أن المادة مكونة من أنواع قليلة فقط من الجسيمات . كيف تتكون المادة في صورها المختلفة من هذه الجسيمات المختلفة ؟ كيف تتفاعل هذه الجسيمات الصغيرة مع المجال ؟ وللإجابة على هذه الأسئلة وضعت آراء جديدة في علم الطبيعة هي : معتقدات نظرية الكم .

تلخيص .

ظهر في علم الطبيعة أعظم اختراع منذ عهد نيوتن وهو المجال . وقد احتاج العلماء إلى خيال علمي كبير ليدرکوا أن المجال (الموجود في الفراغ بين الشحنات أو الجسيمات) ، وليست الشحنات أو الجسيمات نفسها ، أساسى جداً لوصف الظواهر الطبيعية . وقد نجحت فكرة المجال نجاحاً كبيراً وأدت إلى صياغة معادلات ماكسويل التي تصف بناء المجال الكهرومغناطيسى والتي تتحكم في الظواهر الكهربائية والضوئية .

وتنشأ نظرية النسبية من مشاكل المجال . فقد دفعنا التناقض بين النظريات القديمة إلى الحاق أوصاف جديدة لعالم السكان والزمان الذي تقع فيه جميع أحداث العالم الطبيعي .

وقد تكونت نظرية النسبية على خطوتين ، أدت الأولى منهما إلى مانسميه بالنظرية الخاصة للنسبية التي تنطبق فقط على المجموعات الإحداثية القاصرة أى على المجموعات التي يتحقق فيها قانون القصور الذاتى كما وضعه نيوتن . وتبنى نظرية النسبية الخاصة على فرضين أساسين وهما أن قوانين الطبيعة واحدة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بانتظام بالنسبة لبعضها ؛ وأن لسرعة الضوء دائماً نفس القيمة . ومن هذه الفروض التي أيدتها التجارب العملية أمكننا استنتاج خواص القسبان والساعات المتحركة ، وتغير أطوالها ونظام توقيتها بالنسبة لسرعتها . وقد غيرت نظرية النسبية قوانين الميكانيكا . فالقوانين القديمة لا تتحقق إذا اقتربت سرعة الجسم المتحرك من سرعة الضوء . وقد أيدت التجربة القوانين الميكانيكية الجديدة لجسم متحرك كما صاغها النظرية النسبية . وهناك نتيجة أخرى للنظرية الخاصة للنسبية وهى العلاقة بين الكتلة والطاقة . فالكتلة هى الطاقة وللطاقة كتلة . ويتحد قانونا بقاء المادة والطاقة فى قانون واحد فى النظرية النسبية هو قانون بقاء المادة والطاقة معا .

وتذهب النظرية العامة للنسبية إلى أبعد من ذلك فى تحليل خواص عالم المكان والزمان . ولا تنحصر صحة هذه النظرية فى المجموعات الإحداثية القاصرة فقط ، فهى تدرس مشكلة الجاذبية وتضع قوانين بنائية جديدة لمجال الجاذبية . وهى تدفعنا إلى تحليل الدور الذى تلعبه الهندسة فى وصف العالم الطبيعي . وهى تعتبر تساوى كتلة الجاذبية مع الكتلة القاصرة شيئاً أساسياً وليس فقط مجرد صدفة ، كما كانت الحال فى الميكانيكا الكلاسيكية . وتختلف النتائج العملية للنظرية العامة للنسبية اختلافاً بسيطاً فقط عن نتائج الميكانيكا الكلاسيكية ، وقد تأيدت هذه النتائج مما أمكننا الحصول عليه من النتائج العملية . ولكن قوة النظرية تكمن فى بساطة فروضها وخلوها من التناقص .

وتؤكد نظرية النسبية أهمية فكرة المجال فى علم الطبيعة . ولكننا لم نتجح بعد فى صياغة علم الطبيعة بأكمله على صورة مجالية صرفة ، ولذا فإنه يجب علينا الآن أن نفرض وجود المجال والمادة على حد سواء .

الباب الرابع

الكلمات

[الاتصال وعدم الاتصال — الكلمات الأولية للمادة والكهرباء —
كلمات الضوء — طيف الضوء — موجات المادة — موجات الاحتمال —
علم الطبيعة والواقع] .

الاتصال وعدم الاتصال :

لنفرض أن أمامنا خريطة لمدينة نيويورك وضواحيها ودعنا نتساءل عن أى
النقط على هذه الخريطة يمكن الوصول إليها بالقطار ؟ ولنسجل هذه النقط على
الخريطة بعد العثور عليها في دليل القطارات . لنغير الآن سؤالنا إلى الصيغة : أى
النقط يمكننا الوصول إليها بالسيارة ؟ فإذا رسمنا خطوطاً على الخريطة تمثل كل
الطرق الممتدة من نيويورك فإننا يمكننا عملياً الوصول بالسيارة إلى أى نقطة على
هذه الطرق . وعندنا في كلتا الحالتين مجموعتان من النقط ؛ في الحالة الأولى نجد
أن النقط تنفصل عن بعضها وتعين محطات السكة الحديدية المختلفة وفي الحالة الثانية
نجدها تقع على كل النقط التي تمثل الطرق . وسيكون سؤالنا الثاني عن أبعاد كل
من هذه النقط عن نيويورك أو على الأبعد عن نقطة محددة في المدينة . وسيكون
لدينا في الحالة الأولى بضعة أرقام متناسبة مع النقط المحددة على الخريطة . وسنرى
أن هذه الأرقام تتغير بغير انتظام ولكن على وثبات أو قفزات محدودة . ويمكننا
القول إذن بأن أبعاد الأماكن التي يمكن الوصول إليها بالقطار تتغير بطريقة غير
متصلة . أما في حالة الأماكن التي يمكن الوصول إليها بالسيارة فإن هذه الأبعاد
تتغير بكميات يمكن تصغيرها كيفما نريد ، أى أن هذا التغير يمكن أن يحدث
بطريقة متصلة ، وأنه يمكن جعل التغير في المسافة صغيراً في حالة السيارة . ولكن
الحالة ليست كذلك في حالة القطار .

وقد يحدث لاتاج منجم غم أن يتغير تنيراً متصلاً لأن كمية الفحم الناتج في الإمكان زادت أو تقليلها بخطوات صغيرة . ولكن عدد عمال النجم المستخدمين يتغير تنيراً غير متصل ، إذ أنه من اللغوان نقول « ازداد عدد العمال منذ أمس بمقدار ٣٧٨٣ » . وإذا سئل رجل عن مقدار ما يحمل من النقود فإنه يمكنه الإجابة بعدد يحتوى على رقين عشرين . ويمكن تغيير مبلغ من المال على قفزات فقط بطريق غير متصل . ففي أمريكا أصغر وحدة للعملة أو ما يمكننا تسميته الكم الأولى للعملة الأمريكية هو سنت واحد . والكم الأولى للعملة الإنجليزية هو الفاردينج وهو يساوى نصف قيمة الكم الأولى الأمريكي . فلدينا الآن إذن مثل لكين أوليين يمكننا مقارنة قيمتهما . ونسبة قيمتهما لها معنى محدد إذ أن أحد الكين يساوى ضعف قيمة الآخر .

ويمكن القول بأن بعض الكميات تتغير بطريقة متصلة وأخرى تتغير بطريقة غير متصلة ، على خطوات لا يمكن تصغيرها . وهذه الكميات غير القابلة للقسمة تسمى بالكمات الأولية للمقادير السابق ذكرها .

ويمكننا أن نزن كميات كبيرة من الرمال ونعتبرها متصلة رغم علمنا بتركيبها المجهب . ولكن إذا أصبحت الرمال ذات قيمة عظيمة واستعملت موازين دقيقة لوزنها فإنه يتحتم علينا أن نعتبر أن الكتلة تتغير بمضاعفات لكمية ثابتة هي الحبة . وبذلك يصبح وزن تلك الحبة هو كمننا الأولى للكتلة . ونرى من هذا كيف أن خاصية التقطع أو الانفصال لكمية - كانت لازال تعتبر متصلة - يمكن تأكيدها بزيادة حساسية مقاييسنا .

وإذا كان علينا أن نصف الفكرة الأساسية لنظرية الكم في جملة واحدة لوجب علينا أن نقول : إن بعض الكميات الطبيعية التي كانت مازال تعتبر متصلة تتكون من كرات أولية .

ومدى الحقائق التي تشملها نظرية الكم فسيح جداً ، وقد أكتشفت هذه الحقائق بواسطة الأجهزة الدقيقة الصنع التي استخدمت في التجارب الحديثة . ومع أننا لن نستطيع وصف أو حتى مجرد الكلام عن التجارب الأساسية ، فإنه

لامناس لنا من ذكر نتائج هذه التجارب حيث أن هدفنا هو شرح الآراء الأساسية الموجودة فقط .

الكهات الأولية الموجودة للمادة والكهرباء :

تبتنا نظرية الحركة أن جميع العناصر تتكون من جزيئات . فإذا اعتبرنا سهل الحالات ، باختيار أخف عنصر وهو الإيدروجين ، فإننا نعلم كيف أدت دراسة «الحركة البراونية» إلى تقدير كتلة جزيء واحد من الإيدروجين (صفحة ٤٧) ، وهي :
٣٣ و . جرام .

وهذا يدفعنا إلى أن نعتقد أن الكتلة غير متصلة حيث أن كتلة أى كمية من الإيدروجين يمكن أن تتغير فقط بمدد كامل من مقادير صغيرة كل منها يتناسب مع كتلة جزيء الإيدروجين . ولكن العمليات الكيميائية ترىنا أن جزيء الإيدروجين يمكن تقسيمه إلى قسمين أو بعبارة أخرى إن جزيء الإيدروجين يتكون من ذرتين . وفي العمليات الكيميائية تلعب الذرة - لا الجزيء - دور السك الأولى . وبقسمة العدد السابق على اثنين ، نحصل على كتلة ذرة الإيدروجين وهي حوالى :

١٧ و . جرام .

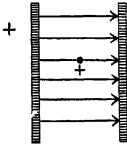
وإذن فالكتلة كمية غير متصلة ؟ ولكننا طبعاً لانمير هذه الحقيقة أى اهتمام عند تقدير الوزن . وحتى أدق المقاييس أبعد ماتكون عن الوصول إلى درجة الدقة اللازمة لا اكتشاف عدم الاتصال في تغير الكتلة .

لنعد الآن للتكلم عن حقيقة مألوفة . لنفرض أن لدينا سلكاً متصلاً بمصدر تيار كهربائى حيث يسير التيار خلاله من النقطة الأعلى إلى الأقل جهداً . ولعلنا نذكر أن كثيراً من الحقائق العملية قد أمكن تفسيرها بالنظرية البسيطة التى تفرض وجود مائع كهربائى يسير خلال السلك . ولعلنا نذكر أيضاً أن قرارنا (صفحة ٥٧) انحصار بالتساؤل عما إذا كان المائع الموجب يفيض من الجهد المرتفع إلى المنخفض أو أن المائع السالب يفيض من الجهد المنخفض إلى المرتفع كان مجرد اصطلاح . لنترك الآن جانباً كل ما طرأ من تغيير وتحسين كنتيجة لظهور

معتقدات المجال وتقبل جدلا الصورة البسيطة الخاصة بفرض وجود المائع الكهربائي..
وحتى عند أخذنا بفكرة المائع البسيطة فإترال هناك بعض أسئلة تنتظر الجواب .
فكما نفهم من اللفظ « مائع » اعتبرت الكهربائية منذ فجر العلم كشيء له صفة
الاتصال ، وفي الاستطاعة طبقاً للصور القديمة تغيير كمية الشحنة بمقادير صغيرة
اختيارية ولكن لم يكن هناك داع لفرض كبت كهربائية أولية . ثم أدى نجاح
نظرية الحركة بعد ذلك إلى أن تساءل هل توجد كبت أولية للموائع الكهربائية ؟
والسؤال الآخر الذى مازال ينتظر الجواب هو هل يتكون التيار من فيضان المائع
ال موجب أو السالب أو كليهما ؟

وللحصول على أجوبة لهذه الأسئلة لابد من أن نطرد المائع الكهربائي من
السلك وندفعه إلى الحركة فى الفضاء ، أى أن نستخلصه من برائن المادة ثم ندرس
خواصه التى يجب أن تظهر جلية حينئذ . وقد أجريت تجارب عديدة مثل هذه
فى القرن التاسع عشر ، وقبل أن نشرح فكرة إحدى هذه التجارب العملية
سنذكر النتائج أولا : يتميز المائع الكهربائي الذى يمر خلال السلك بشحنة
سالبة ، وإذن فهو يتجه من النقطة الأقل جهداً إلى الأعلى جهداً . ولو أننا كنا
قد توصلنا إلى هذه النتيجة فى بادئ الأمر عند ما كانت نظرية الموائع الكهربائية
لا تزال فى طور التكوين لغيرنا بلا شك مصطلحاتنا ، ولسمينا كهربائية القضيب .
المطاط بالكهربائية الموجبة وكهربائية قضيب الزجاج بالسالبة ، وكان يصبح حينئذ
من الأوفق أن نعتبر المائع السالب موجباً . وعلينا الآن أن نتحمل تبعه هذا
انطفاً الناتج من عدم إصابتنا حسنا . وسؤالنا الثانى المهم هو عما إذا كان تكوين
الكهربائية السالبة « محبباً » ، أى عما إذا كانت أو لم تكن مكونة من كبت
كهربائية ؟ وقد أثبتت بعض تجارب منفصلة بشكل لا يقبل الشك وجود هذه
الوحدة الأولية للكهرباء السالبة . وإذن يتكون المائع الكهربائي السالب من
حبيبات ، تماماً ، كما يتكون الشاطئ من حبيبات الرمال ، أو المنزل من البنات
وتم إثبات ذلك على يدى السير . ج . ج . تومسون منذ أكثر من خمسين عاماً .
وتسمى هذه الوحدات الأولية للكهرباء السالبة بالإلكترونات . وإذن تتكون

كل شحنة كهربائية سالبة من عدد كبير من تلك الشحنات الأولية المثلة بالالكترونات (أو الكهارب) . ويمكن للشحنة السالبة أن تتغير مثل الكتلة تثيراً غير متصل . وتبلغ الشحنة الكهربائية حداً من الصغر يجعلنا في كثير من الأحوال نعتبر الشحنات عموماً — وربما يكون ذلك من الأوفق — كيات متصلة ؛ وهكذا أدخلت نظريات الذرة والكهارب إلى العلوم فكرة الكيات الطبيعية غير المتصلة التي يمكن أن تتغير فقط على شكل دفعات .



لتصور الآن لوحين معدنين متوازيين موضوعين في مكان مفرغ من الهواء ، يحمل أحدهما شحنة موجبة والآخر شحنة سالبة . فإذا قربنا جسماً صغيراً موجب الشحنة من اللوحين ، فإنه ينجذب إلى اللوح السالب التكهرب ويتردد بعيداً

عن الآخر . وإذن تتجه خطوط القوى الكهربائية من اللوح السالب إلى اللوح الموجب التكهرب . وسيكون اتجاه القوة المؤثرة على جسم سالب التكهرب مضاداً للاتجاه السابق . وإذا كان اللوحان كبيرين بدرجة كافية فإن كثافة هذه الخطوط ستكون موزعة بانتظام بينهما في كل مكان ، ولن يهمنا أين نضع جسم الاختبار لأن القوة — وبالتالي كثافة هذه الخطوط — ستكون متائلة . وإذا وجدت كهارب بين هذين اللوحين فإنها تتحرك مثل حركة قط المطر في مجال الأرض المغناطيسي ، أي أنها تتحرك موازية لبعضها متجهة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب . وهناك طرق عملية كثيرة لدفع جمع من الالكترونات إلى مجال يوحد بين اتجاهاتهم . ومن أسهل هذه الطرق إحضار سلك مسخن بين لوحين مشحونين ، لأن خطوط قوى المجال الخارجى توجه الكهات المنبعثة من السلك الساخن . وتبني صمامات الراديو العادية على نفس هذه الفكرة .

وهناك تجارب رائمة عديدة سبق إجراؤها على سيال من الكهارب ، درست فيها وبحيث بالتفصيل تغيرات اتجاهاتها في مختلف المجالات الكهربائية

والغناطيسية الخارجية ، وأصبح في الإمكان أيضاً عزل كهرب واحد وتعيين شخصته الأولية ، وكتلته ، أى مقاومته الذاتية لفعل مجال خارجى . وسنذكر هنا فقط كتلة الالكترون ، إذ قد ظهر أنها أصغر من ذرة الإيدروجين عشرين ألف مرة . وهكذا نرى أن كتلة ذرة الإيدروجين الصغيرة تظهر كبيرة بالنسبة لكتلة الكهرب . وتستلزم نظريات المجال الطبيعية أن تكون كتلة الكهرب أو بمباراة أخرى طاقته ناشئة عن طاقة مجاله نفسه ، الذى تبلغ شدته أقصاها داخل كرة صغيرة جداً ، وتصبح مهمة إذا بعدنا عن مركز الكهرب .

وقد سبق لنا أن ذكرنا أن ذرة أى عنصر ماهى إلا أصغر كتله الأولية ، وقد ظل العلماء مدة طويلة مؤمنين بهذا الرأى ، ولكنه الآن أصبح باطلا ، فقد أظهر العلم نظريات حديثة أوضحت بطلان المعتقدات القديمة . ولا يوجد في علم الطبيعة الآن من النظريات ما هو مبنى على أسس متينة من الحقائق أكثر من تركيب الذرة المعقد . فقد تنبه العلماء أولاً إلى أن الكهرب وهو الكم الأولى للكهربائية السالبة ، هو أحد مكونات الذرة ، أى إحدى اللبئات الأولية التى تنبى منها جميع الأجسام . وقد ذكرنا مثال السلك الساخن وانبعث الكهارب منه ، وليس هذا سوى مثال واحد من أمثلة عديدة لاستخلاص هذه الكهارب من المادة . وهذا المثال — الذى يوضح لنا ارتباط تركيب المادة بتركيب الكهرباء — ظهر على صورة لا تقبل الشك من حقائق عملية كثيرة جداً .

ومن السهل نسبياً استخلاص بعض الكهارب التى تسهل في تركيب الذرة بالحرارة أو بطريقة أخرى كقذف الترات بقذائف من كهارب أخرى خارجية . لنفرض أننا أدخلنا سلكاً معدنياً لدرجة الاحمرار في جو من الإيدروجين المخلخل . ستنبعث الكهارب من السلك في جميع الاتجاهات وتكتسب سرعة بتأثير مجال كهربائى خارجى . وستزداد سرعة الكهرب تماماً كما يحدث لحجر ساقط في مجال الجاذبية الأرضية . ويمكننا بهذه الطريقة الحصول على أشعة من الكهارب مندفعة بسرعة معينة في اتجاه معين ، وقد أصبح الآن في إمكاننا أن نجعل الكهارب تتحرك بسرعه تقرب من سرعة الضوء بتعريضها لتأثير مجال قوى جداً . ماذا يحدث إذن عند ما يسقط شعاع من الكهارب، ذات سرعة معينة ، على جزيئات الإيدروجين .

المخلخل ؟ لن يؤدي تصادم كهرب متحرك بسرعة فائقة مع جزيء الإيدروجين إلى انشطاره إلى ذرتين فقط ولكنه سيترد كهربياً آخر من إحدى هاتين الذرتين .

دعنا نسلّم بالحقيقة القائلة بأن الكهارب هي بعض مكونات المادة ، وإذن لن تصبح الذرة التي فقدت كهربياً واحداً بلا شحنة كهربائية كما كانت قبل أن تفقد الكهرب . وذلك لأنها فقدت شحنة كهربائية أولية سالبة وإذن يجب أن يحمل ما بقي من الذرة شحنة موجبة . ولما كانت كتلة الكهرب أصغر بكثير جداً من كتلة أخف الذرات فإننا نستطيع القول بأن معظم وزن الذرة ليس ممثلاً في الكهارب ولكن في الجسيمات الأولية الأخرى المتبقية والتي تفوق كتلتها بكثير كتلة الكهرب ، والتي نسئها بنواة الذرة .

وقد استحدث علم الطبيعة التجريبية الحديث طرقاً لتحطيم نواة الذرة وتغيير ذرات عنصر ما إلى ذرات عنصر آخر ولاستخلاص الجسيمات الأولية التي تتكون منها النواة ذاتها . وهذا الفصل من علم الطبيعة والمسمى « بطبيعة النواة » والذي قام فيه رذرفورد بدور كبير ، يعتبر شاملاً جداً من الناحية العملية . ولكننا مازلنا حتى الآن في حاجة إلى نظرية بسيطة في أسسها تربط بين الحقائق العملية في عالم الطبيعة التواوية . وبما أننا معنيون في هذه الصفحات فقط بدراسة المعتقدات الطبيعية العامة فإننا سنترك هذا الفصل رغباً عن أهميته الكبيرة في علم الطبيعة الحديث .

كلمات الضوء :

إذا تصورنا حائطاً مقاماً على طول الشاطئ ، فإن أمواج البحر ستأخذ في مهاجمة الحائط ملحقة بسطحه بعض البلبل ، ثم ما تلبث أن ترند مفسحة الطريق لأفواج الأمواج القادمة التي ستواصل الهجوم على الحائط مزيلة جزءاً من المصيص الذي يكسى سطحه ، وبذلك يقل وزن الحائط ، ويمكننا أن نتساءل عن القدر الذي ستفقده الحائط في عام مثلاً . لتتخيل الآن طريقة أخرى لإيقاص وزن الحائط بنفس القدر ، بأن نطلق الرصاص عليها محدثين بها ثقوباً عديدة . سيقول وزن الحائط بهذه الطريقة

كما قل في الحالة الأولى ؟ ولكن مظهر الحائط ببئنا ما إذا كان النقص ناتجاً عن الفعل المستمر لأمواج البحر أم عن سيل الرصاص المتقطع . وسيكون من المفيد لكي نفهم ماستكلم عنه من الظواهر الطبيعية أن ندرك الفرق بين أمواج البحر وسيل الرصاص المنطلق .

سبق أن تكلمنا عن انطلاق الكهارب من السلك الساخن . وسندكر هنا طريقة أخرى لاستخلاص الكهارب من المعدن بتسليط أشعة متجانسة مثل الأشعة البنفسجية - التي هي عبارة عن أشعة ذات طول موجى معين - على سطحه ، فتنبت منه الكهارب بفعل تلك الأشعة التي تقتنصها من المعدن وتبعها إلى الخارج أفواجاً متتالية متحركة بسرعة معينة . ويمكننا أن نقول من وجهة نظر قاعدة الطاقة ، أن طاقة الضوء تتحول جزئياً إلى طاقة حركة للكهارب المرودة . ونستطيع بفضل التجارب العملية الحديثة معرفة هذه الرصاصات وتعيين سرعتها وبالتالي طاقتها . ويسمى استخلاص الكهارب بالضوء الساقط على المعدن : الظاهرة الكهرضوئية .

وقد استخدمنا في التجربة السابقة أشعة ضوئية متجانسة ذات شدة معلومة ، ويجب علينا الآن - كما هي العادة في جميع التجارب العملية - أن نغير ظروف التجربة لترى ما إذا كان لهذا أثر في النتائج التي حصلنا عليها .

لنبداً أولاً بتغيير شدة الضوء البنفسجي المتجانس الساقط على لوح معدنى ولندرس الكيفية التي تتوقف بها طاقة الكهارب المنبثقة على شدة الضوء الساقط . لنحاول أيضاً أن نمتر على الإجابة عن طريق المنطق العلمى بدلاً من التجربة . يمكننا القول بأن قسماً من طاقة الإشعاع يتحول إلى طاقة حركة للكهارب في الظاهرة الكهرضوئية . فإذا أسقطنا على المعدن أشعة لها نفس طول الموجة ولكن من مصدر أقوى فإن طاقة الكهارب المنبثقة ستكون أكبر لأن الإشعاع سيكون أغنى بالطاقة . وإذن يكون من الطبيعي أن نتوقع ازدياد سرعة الكهارب المنبثقة بازدياد شدة الضوء . ولكن عند إجراء هذه التجربة عملياً

حصلنا - لهشتنا - على نتيجة تتعارض مع استنتاجنا أيضاً . وهكذا نرى أن قوانين الطبيعة لا تسير وفق أهوائنا ، وقد وجدنا الآن تجربة حكمت على الأسس التي بنينا عليها نظرتنا بالفشل ، وكانت نتيجة هذه التجربة مدعاة لأشدّ العجب من وجهة نظر النظرية الموجية . إذ قد أظهرت أن الكهارب المنبعثة لها نفس السرعة (نفس الطاقة) التي لا تتأثر بزيادة شدة الضوء الساقط ، ولم يكن في الاستطاعة التنبؤ بهذه النتيجة على أساس النظرية الموجية . وهكذا نرى هنا أيضاً كيف يؤدي التعارض بين إحدى النظريات القديمة والتجربة إلى ظهور نظرية جديدة .

لنتعمد أن تكون ظالمين للنظرية الموجية غامطين لها أفضالها العظيمة ، فنتناس نصرها الشامل في شرح انحناء الضوء حول العوائق الصغيرة جداً ، ولننحصر الآن اهتمامنا بالظاهرة الكهروضوئية ، ولنحاول إيجاد نظرية تضع لنا شرحاً مقبولاً لهذه الظاهرة . فمن المقطوع به أننا لا يمكننا أن نستنتج من النظرية الموجية عدم توقف طاقة الكهارب المطرودة من سطح المعدن على شدة الضوء الساقط . فلنبحث الآن عن نظرية أخرى . لارجع البصر مرة أخرى إلى نظرية الجسيمات لنيوتن التي نجحت في شرح كثير من ظواهر الضوء المألوفة وفشلت في شرح انثناء الأشعة الضوئية . وهي الظاهرة التي ستعمد عدم ذكرها وتجاهل نباح النظرية الموجية في هذا الشأن . وفي عهد نيوتن لم تكن حقيقة الطاقة قد وضحت بعد ، فكانت جسيمات الضوء في رأيه لا وزن لها ، ولكن عندما ظهرت نظريات الطاقة فيما بعد وأدرك الجميع أن للضوء طاقة يحملها معه لم يفكر أحد في تطبيق هذه المعتقدات على نظرية الجسيمات الضوئية . وبذلك ظلت نظرية نيوتن في عداد الأموات ولم يفكر أحد جديداً في بعثها إلى الحياة حتى أوائل قرننا الحالي .

ولكي نحفظ بالفكرة الأساسية في نظرية نيوتن يجب أن نفرض أن الضوء المتجانس مكون من جسيمات ضوئية ثم نستبدل بجسيمات الضوء القديمة كرات ضوئية سنطلق عليها اسم الفوتونات - وهي عبارة عن ذرات طاقة صغيرة تتحرك في الفضاء الخالي بسرعة الضوء . وإحياء نظرية نيوتن على هذه الصورة يؤدي بنا إلى

نظرية الكم للضوء ، فليست المادة والكهرباء فقط بل الطاقة الاشعاعية أيضاً ، تتميز جميعها بتركيب حبيبي ، أى أنها مركبة من كرات ضوئية وبذلك يصبح لدينا كرات طاقة فضلاً عن كرات المادة والكهرباء .

وقد كان بلانك أول من استحدث كرات الطاقة في مستهل القرن الحالى لىكى يتمكن من شرح بعض ظواهر طبيعية أكثر تعقيداً من الظاهرة الكهرضوئية . ولكن الظاهرة الكهرضوئية توضح لنا بشكل قاطع وسهل ضرورة تغيير معتقداتنا القديمة .

ولا حاجة بنا لىكى نقول أن نظرية الكم للضوء تفسر على الفور الظاهرة الكهرضوئية ، فعند ما يسقط سيل من الفوتونات على سطح معدنى فإن التفاعل بين الأشعة والمادة عبارة عن مجموعة كبيرة جداً من عمليات فردية ، يصطدم فيها الفوتون بالذرة فيقتطع منها كهرباً يقذف به إلى الخارج . وحيث أن جميع هذه العمليات الفردية متشابهة فإن جميع الكهارب المنبعثة سيكون لها نفس الطاقة في كل حالة . وليست زيادة شدة الضوء في هذه النظرية الجديدة سوى زيادة عدد الفوتونات الساقطة . وينتج عن ذلك طبعاً زيادة عدد الكهارب المنبعثة ولكن يحتفظ كل كهرب بنفس طاقته السابقة دون أن يمتريها أى تغيير . ويثبت لنا هذا أن النظرية الجديدة تتفق تماماً مع التجارب العملية .

ماذا يحدث عند ما تسقط أشعة متجانسة ذات لون آخر ، أحمر مثلاً ، بدلاً من البنفسجى على سطح معدنى ؟ لنترك التجارب العملية تتولى الإجابة على هذا السؤال ، ويجب حينئذ أن نقيس طاقة الكهارب المنبعثة ونقارنها بطاقة الكهارب الناتجة من استخدام الضوء البنفسجى . وقد وجد بالتجربة أن طاقة الكهرب المنبعث بفعل الضوء الأحمر أقل من طاقة الكهرب المنبعث بفعل الضوء البنفسجى وهذا يدلنا على أن طاقة كرات الضوء تختلف باختلاف الألوان . فطاقة الفوتونات المكونة للون الأحمر تبلغ نصف طاقة تلك المكونة للون البنفسجى ، أو بعبارة أدق ، تقل طاقة الكرات الضوئية المكونة للون متجانس بازياد أطوال موجات

الضوء . وهناك فرق أساسي بين كرات الطاقة وكرات الكهرباء ، إذ أن كرات الضوء تختلف باختلاف طول الموجة في حين أن كرات الكهرباء ثابتة لا تتغير . وإذا كان لا بد من استخدام أحد الأمثلة السابقة فيمكننا تشبيه كرات الضوء بأصغر وحدات العملة التي تختلف باختلاف كل دولة .

دعنا نستمر في تجاهل النظرية الموجية للضوء ونفرض أن الضوء له تركيب حبيبي ، أى يتكون من كرات ضوئية - فوتونات - تتحرك في الفضاء بسرعة الضوء . وإذا أخذ الضوء صورة سيل من الفوتونات أو الكرات الأولية لطاقة الضوء ، وإذا نبذنا النظرية الموجية فإن فكرة الطول الموجي تختفي . ولكن ما الذى يحل محله ؟ هى طاقة كرات الضوء ! وبذلك يمكننا ترجمة العبارات التي تحتوي على مصطلحات النظرية الموجية إلى أخرى تستخدم فيها مصطلحات النظرية الكمية للإشعاع . فمثلا :

في لغة النظرية الموجية | في لغة النظرية الكمية

يحتوى الضوء المتجانس على فوتونات ذات طاقة معينة ، فطاقة الفوتون المكون للون نهاية الطيف الأحمر تبلغ نصف طاقة ذلك المكون لطرف الطيف البنفسجي .

يتميز الضوء المتجانس بطول موجى معين ، فطول موجة الضوء الأحمر الموجود فى نهاية الطيف يبلغ ضعف طول موجة الضوء البنفسجي الموجود فى طرفه الآخر .

ويمكننا تلخيص الموقف الحالى كما يلى :. هناك من الظواهر الطبيعية ما يمكن شرحها بواسطة النظرية الموجية ، لا بواسطة نظرية الكم كظاهرة انحناء الضوء حول العوائق الصغيرة . وهناك أيضاً بعض ظواهر أخرى مثل انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة يمكن شرحها سواء بنظرية الكم أم بالنظرية الموجية .

ولكن ما هى حقيقة الضوء ؟ أهو موجات أم سيل من الفوتونات ؟ . وقد سبق أن وضعنا سؤالاً مماثلاً لهذا حيناً تساءلنا : هل الضوء موجات أم سيل من

جسيمات ضوئية ؟ وكان لدينا حينئذ من الأسباب ما دفعنا إلى نبذ نظرية الجسيمات الضوئية وقبول النظرية الموجية التي شرحت جميع الظواهر الطبيعية . ولكن الموضوع هنا أكثر تعقيداً ، فليس لدينا من الدلائل ما يشير إلى إمكان شرح جميع الظواهر الطبيعية باختيار إحدى هاتين النظريتين . ويبدو لنا أنه لا مفر من استخدام إحدى هاتين النظريتين في حالات معينة والأخرى في حالات مختلفة ، واستخدام أى منها في حالات ثالثة . وهاتين نواجه صعوبة من نوع جديد . فلهذا صورتان طبيعيتان متعارضتان لا نكفي إحداهما لشرح جميع الظواهر الضوئية . ولكنهما معاً تنجحان في ذلك .

فكيف يمكننا أن نجمع بين هاتين الصورتين ؟ كيف يمكننا فهم هذه الصورة المتعارضة عن طبيعة الضوء ؟ وليس من السهل حل هذه المعضلة ، وهاتين نواجه الآن مرة أخرى معضلة أساسية .

لنفرض الآن أننا نتبع نظرية الفوتونات ولنحاول بمساعدتها أن نفهم الحقائق التي تمكنت النظرية الموجية من شرحها . وبهذه الطريقة سنتكلم عن الصعاب التي تجعل النظريتين يبدوان لأول وهلة كأنهما متناقضتان .

ولعلنا ما زلنا نذكر أن شمعاً متجانساً من الضوء يمر خلال فتحة صغيرة في حجم رأس الدبوس يحدث على حاجز صغير حلقات مضيئة ومظلمة على التوالي (صفحة ٨٣) . كيف يمكننا شرح هذه الظاهرة على أساس نظرية السكم الضوئية ، تاركين النظرية الموجية جانباً ؟ لنفرض أن الفوتونات أخذت تمر من الثقب الصغير فيمكننا توقع إضاءة الحاجز الموجود خلف الثقب إذا مررت الفوتونات خلاله أو إظلامه إذا لم تمر . ولكن بدلاً من ذلك فإننا نشاهد حلقات مضيئة وأخرى معتمة . ويمكننا أن نحاول شرحها كما يلي : يحتمل أن يكون هناك تفاعل ما بين حافة الثقب الصغير والفوتونات مما يتسبب عنه تكون حلقات الحيود . ويصعب علينا قبول هذه العبارة كشرح واف للفرص ، بل لأنها - على أحسن الفروض - قد تصلح لكي تكون أساساً لنظرية مستقبلية لشرح الحيود بتفاعل بين المادة والفوتونات . وحتى هذا الأمل الضئيف تقضى عليه دراستنا السابقة لمثل على آخر . لنفرض

أن لدينا ثقبين صغيرين يمر خلالهما ضوء متجانس فيحدث خطوطاً مضيئة وأخرى معتمة على الحاجز الصغير الواقع خلف الثقبين . كيف نستطيع شرح هذه الظاهرة . على أساس نظرية الكم الضوئية ؟ يحتفل أن يمر فوتون من أحد الثقبين ، فإذا كان إحدى فوتونات الأشعة المتجانسة يمثل كما ضوئياً أولاً فإن من العسير علينا تصور انقسامه ومروره من كلا الثقبين . وحتى في هذه الحالة يجب أن تؤدي الظاهرة إلى تكوين حلقات مضيئة ومعتمة لا إلى خطوط مضيئة وأخرى مظلمة كما يحدث . فكيف أدى وجود الثقب الآخر إلى وجود هذه الظاهرة ؟ لعل الثقب الذي لم يمر الضوء خلاله قد أثر على الحلقات فجعلها خطوطاً !! إذا كان الفوتون شبيهاً بالجسيم المادى في الطبيعة الكلاسيكية فإنه يجب أن يمر خلال أحد الثقبين فقط . وفي هذه الحالة يشق علينا جداً فهم ظاهرة الحيود .

يظننا العلم دائماً إلى وضع آراء جديدة ونظريات حديثة لتتخطى حواجز التناقضات التي تعترض طريق التقدم العلمى . وقد تولدت الأسس والآراء العلمية من التناحر بين الحقائق ومحاولاتنا لفهمها . وتجاهلنا الآن معضلة يلزم حلها وضع مبادئ جديدة . وقيل أن نذكر محاولات علم الطبيعة الحديث لشرح التناقض بين الصورتين الكمية والموجية للضوء ، سنبين أن هذه المعضلة تعترض طريقنا أيضاً عند دراستنا لكيات المادة بدلا من كيات الضوء .

الطيف الضوئى :

نعلم مما سبق أن جميع المواد الموجودة في الطبيعة تتكون من بضعة أنواع من الجسيمات الأولية . وقد كانت الكهارب أول ما اكتشف من هذه الجسيمات . ولكن الكهارب هي أيضاً الكيات الأولية للكهرباء السالبة . وقد سبق أن رأينا كيف تضطربنا بعض الظواهر الطبيعية إلى أن نفرض أن الضوء مكون من كيات ضوئية أولية تختلف باختلاف أطوال الموجات . ويجدر بنا قبل أن نستمرس في دراستنا أن نتاقت بعض الظواهر التي تلعب فيها المادة والاشعاع دورين أساسيين .

يمكننا تحليل الأشعة الشمسية إلى مركباتها بواسطة منشور زجاجي ولذا يمكننا الحصول على طيف الشمس المستمر ، وسنحصل بذلك على كل أطوال الأمواج المحصورة بين طرفي الطيف المرئي . نعتبر مثلاً آخر . سبق أن أشرنا إلى أن معدن الصوديوم التوهج يبعث بإشعاعات متجانسة ، ذات لون واحد أو طول موجي واحد . فإذا وضعنا الصوديوم التوهج أمام منشور زجاجي فإننا نرى خطأً واحداً ذا لون أصفر . وعلى العموم إذا وضعنا جسماً مشعاً أمام منشور فإن الضوء الصادر منه يتحلل إلى مركباته ميبيناً خصائص طيف الجسم المشع .

ويؤدي مرور الكهرباء في أنبوبة مليئة بالغاز إلى تولد ضوء كالذي نشاهده مبنياً من أنابيب النيون المستخدمة في الإعلانات المضيئة . لنضع مثل هذه الأنبوبة أمام الطيف الذي هو عبارة عن جهاز يقوم بعمل المنشور ولكنه أكثر حساسية وأعظم دقة فهو يرد الضوء إلى مركباته التي يتكون منها أى يحلله . فإذا نظرنا خلال الطيف إلى أشعة الشمس فإننا نشاهد طيفاً مستمراً تمثل فيه جميع الأطوال الموجية . أما إذا كان المصدر الضوئي ناشئاً عن مرور تيار كهربائي خلال غاز مخلىض فإن الطيف يصبح ذا خصائص مختلفة في هذه الحالة . فإننا نشاهد ، بدلا من الطيف المستمر ذي الألوان العديدة الموجودة في طيف الشمس ، خطوطاً دقيقة مضيئة منفصلة عن بعضها بمناطق مظلمة . ويشير كل خط دقيق إلى لون معين أو إلى طول موجي معين بلغة النظرية الموجية . فإذا شاهدنا عشرين خطأً من خطوط الطيف مثلاً فإننا سنرسم لكل منها رقم يشير إلى طول موجته ، فبذلك تميز أبحرة العناصر المختلفة بمجموعات مختلفة من الخطوط أى بمجموعات مختلفة من الأرقام التي ترمز لأطوال الأمواج المكونة للطيف الضوئي المشع . ولا يمكن أن يكون لمنصرين نفس مجموعة الخطوط في طيفيهما المميزين ، كما أنه لا يمكن أن يكون لشخصين نفس بصمات الأصابع . وعندما أخذ علماء الطبيعة في اكتشاف هذه المجموعات الخطية لجميع العناصر أمكنهم اكتشاف وجود علاقات بين هذه الخطوط وأصبح بذلك في الإمكان الاستعاضة بمعادلة رياضية بسيطة عن أعمدة طويلة من الأرقام الدالة على أطوال موجات الطيف المختلفة .

ويمكننا نقل هذا الكلام إلى لغة الفوتونات . فهذه الخطوط تشير إلى أطوال موجات معينة أو بعبارة أخرى إلى فوتونات ذات طاقة محددة . ويتبع من ذلك أن الغاز التوهج لا يرسل فوتونات لها جميع قيم الطاقة الممكنة بل فقط تلك التي لها قيم تميز نفس الغاز التوهج . وهكذا نرى هنا أيضاً كيف تحد الحقائق من كثرة الاحتمالات الممكنة .

فدرات عنصر معين كالإيدروجين مثلاً نبعث فوتونات ذات طاقة معينة ، ويسمح لتلك الفوتونات ذات الطاقة المعينة بالإنتلاق بيناً بحال دون خروج الفوتونات الأخرى . ولنفرض — بقصد السهولة — أن عنصراً ما أرسل إشعاعات ذات خط طيفي واحد أى فوتونات ذات طاقة معينة . وحيث أن الذرة تفقد جزءاً من طاقتها بالإشعاع فنستطيع بتطبيق قانون الطاقة أن نستنتج أن طاقة الذرة قبل الإشعاع كانت أعلا منها بعده وأن الفرق بين مستويي الطاقة هذين يجب أن يساوى طاقة الفوتون المنبعث . وإذن يمكننا التفسير عما نشاهده من انبعاث أشعة ذات طول موجي واحد أى فوتونات ذات طاقة معينة بالعبارة التالية : يوجد مستوياً طاقة فقط في كل ذرة من ذرات العنصر وبدلنا انبعاث فوتون من الذرة على انتقالها من مستوى الطاقة المرتفع إلى آخر منخفض .

ولكن يوجد عادة أكثر من خط واحد في أطراف العناصر ، وإذن تشير الفوتونات المنبعثة إلى وجود مستويات طاقة كثيرة لا واحداً فقط . أو بعبارة أخرى يمكننا أن نفرض أن لكل ذرة مستويات طاقة كثيرة وأن إشعاع فوتون يشير إلى انتقال الذرة من مستوى عال إلى آخر منخفض . ومن المهم أن نعلم أنه لا يمكن للذرة أن ترقى إلى كل مستوي للطاقة لأننا لا نجد أبداً فوتونات لها جميع قيم الطاقة ، أى أشعة لها جميع الأطوال الموجية في طيف أى عنصر — فبدلاً من أن نقول إن طيف كل ذرة يحوى خطوطاً معينة يمكننا القول بأن لكل ذرة مستويات طاقة معينة وأن انبعاث فوتونات الضوء مصحوب دائماً بانتقال الذرة من مستوى طاقة إلى آخر . وتكون مستويات الطاقة عادة منفصلة وغير متصلة . وهذا أيضاً يبين لنا كيف تحد الحقائق الطبيعية من كثرة الاحتمالات العلمية .

وقد كان العالم بوهر أول من علل في (١٩١٣) سبب ظهور بعض خطوط الطيف دون أخرى في أطيف العناصر . وقد رسمت نظريته التي وضعت منذ أكثر من أربعين عاماً ، صورة للذرة ، أمكننا بواسطتها - على الأقل في الحالات البسيطة - حساب أطيف العناصر . وبذا أصبحت تلك الأرقام التي كانت لا صلة بينها فجأة ترتبط ببعضها أشد ارتباط على ضوء نظرية بوهر .

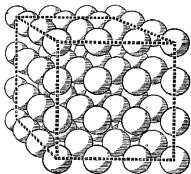
وقد كانت نظرية بوهر طريقاً مؤدياً إلى نظرية أكبر وأدق تسمى بالميكانيكا الموجية أو الكمية . وفرضنا في هذه الصفحات الأخيرة أن نتفرع للدراسة معتقدات هذه النظرية الأساسية . وقيل أن نبداً ذلك يجب علينا أن نذكر نتيجة نظرية وأخرى عملية ذات طابع خاص .

يبدأ الطيف المرئي بطول موجي خاص اللون البنفسجي، وينتهي بطول موجي آخر للون الأحمر، أو ببساطة أخرى إن طاقة الفوتونات في الطيف المرئي دائماً محصورة بين قيمتي طاقتي فوتونات اللونين البنفسجي والأحمر . ويرجع السبب في هذا التحديد طبعاً إلى تحديد قدرة العين الإنسانية . فإذا كان الفرق بين طاقتي مستويي طاقة في ذرة ما كبيراً جداً فإن الذرة تتدفد خارجها إحدى فوتونات الأشعة فوق البنفسجية وهذا يمثل بخط خارج الطيف المرئي . ولا يمكن إدراك هذا الخطط بالعين المجردة بل بلوح فوتوغرافي مثلاً .

وتتكون أشعة إكس مثلاً من فوتونات ذات طاقة أكبر بكثير من فوتونات الطيف المرئي أو ببساطة أخرى تقل أطوال موجاتها آلاف المرات عن أطوال أمواج الضوء المرئي .

ولكن هل يمكننا عملياً قياس أطوال موجية بهذا القدر من الصغر؟ لقد كان التوصل إلى ذلك غاية في الصعوبة في حالة الضوء العادي ، إذ كان علينا أن نعد عوايق صغيرة أو ثقوباً دقيقة لكي يمر خلالها الضوء . فالتقنان الدقيقان الذنان كانا في حجم رأس الدبوس والذنان استخدماهما لتعيين حيود الضوء العادي يجب أن يزداد حجمهما صغراً ويقل بعدها عن بعض ، إذا أردنا مشاهدة حيود الأشعة السينية .

كيف نستطيع إذن قياس أطوال موجات هذه الأشعة ؟ لقد ساعدتنا الطبيعة في حل هذه المعضلة . تتكون البلورة من مجموعة من الذرات تقع على مسافات صغيرة من بعضها ومرتبة ترتيباً خاصاً . يبين لنا الرسم المرفق مثالا بسيطا لترتيب



البلورة . فبدلاً من الثقوب الدقيقة، تكون الذرات الموجودة في البلورة عوائق متناهية في الصغر مرتبة ترتيباً دقيقاً وتقع على مسافات صغيرة من بعضها البعض . وتبلغ المسافات بين الذرات ، حسب نظرية تركيب البلورات حداً من

الصغير يجعلنا نتوقع احتمال إحداثها لظاهرة الحيود للأشعة السينية . وقد أثبتت التجربة أن من الممكن حدوث ظاهرة الحيود لأمواف الأشعة السينية أثناء مرورها خلال هذه العوائق المتراسة في هذا الحجم الصغير أي حجم البلورة .

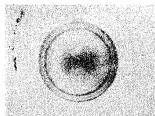
لنفرض أن شعاعاً من الأشعة السينية سقط على بلورة ثم بعد ذلك على لوح فوتوغرافي لكي نحصل على نموذج لظاهرة الحيود . هناك طرق عديدة استخدمت في دراسة طيف الأشعة السينية واستنتاج أطوال موجاتها من نموذج الحيود . ويتقضى منا ذكر ذلك كله بالتفصيل مجلدات بأسرها إذا رغبتنا في ذكر كل التفاصيل العملية والنظرية . وفي اللوحة «٣» نرى نموذج الحيود الذي حصل عليه العلماء بأحدى هذه الطرق المختلفة . وهنا أيضاً نرى الحلقات المتممة والمضيئة المميزة للنظرية الموجية . ونشاهد في المركز أثر الشعاع الذي لم يمان أي حيود والذي ما كنا نحصل على سواء في حالة عدم وجود البلورة بين مصدر الأشعة السينية واللوح الفوتوغرافي . ومن مثل هذه الألواح الفوتوغرافية يمكننا تقدير أطوال موجات الأشعة السينية ، وبالعكس إذا علمنا أطوال الموجات أصبح في استطاعتنا الحصول على معلومات عن تركيب البلورة .

اللمعة الثالثة



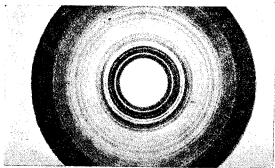
(أخذ الصورة أ. حنتون)

خطوط الطيف



(أخذ الصورة لاستوبكي وجريبور)

حيود الأشعة السينية



(أخذ الصورة لوريا وكليجر)

حيود الموجات الكهربائية

أصواع المادة :

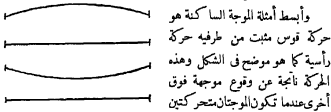
نرجع الآن إلى السؤال : كيف نستطيع فهم وجود بعض أطوال موجات مميزة في طيف كل عنصر ؟ ما أكثر ما نجد في علم الطبيعة أمثلة لما يحدث من تقدم أساسى نتيجة لدراسة مقارنات تعقد بين ظواهر لا يبدو أن بينها علاقة ما . وقد رأينا في هذه الصفحات كيف أن معتقدات وضعت وتطورت في أحد فروع العلم ثم طبقت في فرع آخر فحازت نجاحا كبيرا . ويمطينا تطور الآراء الميكانيكية والمجالية أمثلة كثيرة في هذا الصدد . ولعل ربط هذه الموضوعات المحلولة بغيرها التي لم تحل بعد يلقى بعض الضوء على مصاعبنا ويوحى إلينا بأراء جديدة . فمن السهل العثور على علاقة سطحية لا تنفى شيئا في الحقيقة ولكن اكتشاف صفات أو علاقات أساسية مخفية تحت سطح من الاختلافات الظاهرية ثم استخدامها أساساً لنظرية ناجحة عمل جدى بلا شك غاية في الأهمية . ونشوء ما نسميه بالميكانيكا الموجية وتطورها على أيدي دي بروجلي وشريدنجر منسذ أكثر من خمس وعشرين سنة خير مثل لبناء نظرية ناجحة ، على أساس مقارنة بارعة موقفة .



ولنبدا الآن بمثل كلاسيكى لاعلاقة له بعلم الطبيعة الحديث . لنقبض بأحدى أيدينا على طرف أنبوبة طويلة جداً من المطاط أو سلك حلزوني طويل ونحاول تحريكه بانتظام حركة دورية إلى أعلا وإلى أسفل حتى يتذبذب طرفه . سنرى - كما سبق رؤيته ذلك في أمثلة أخرى - نشوء موجة بسبب هذه الذبذبة وانتشارها خلال الأنبوبة بسرعة معينة . فإذا تصورنا أنبوبة ذات طول لانهاى فإن أقسام الموجة المتباعدة ستواصل حركتها اللانهائية المستمرة بدون حدوث تداخل .

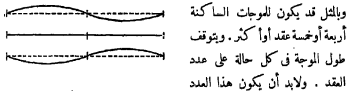
لنعتبر مثلاً آخر . لنثبت طرفى هذه الأنبوبة أو لمله من الأفضل أن نعتبر قوس كنجة . ماذا يحدث الآن إذا ما تولدت موجة ماعند أحد طرفى أنبوبة المطاط أو القوس ؟ ستبدأ الموجة رحلتها كما في المثال السابق ولكنها سرعان ما ترد عند

الطرف الآخر للأنبوبة . وسيكون لدينا بذلك موجتان : إحداهما تولدت من حركة الذبذبة والأخرى بالانعكاس ، وستتحركان في اتجاهين متضادين ويحدث بينهما تداخل . وليس من العسير علينا تتبع هذا التداخل واكتشاف الموجة الوحيدة الناتجة من تركيبهما مع بعضهما والتي نسميها بالموجة الساكنة ، ولعل الكلمتين « الموجة والساكنة » تظهران متناقضتين ، ولكن تركيب هاتين الموجتين مع بعضهما أدى إلى الجمع بين هاتين الكلمتين .



في اتجاهين متضادين . ومن مميزات هذه الحركة ثبوت طرفي السلك ، وتسمى نقطتا الطرفين بالمعدتين . ويمكننا القول بأن الموجة تسكن بين عقدتين بينما تواصل بقية السلك حركتها الرأسية .

ولكن هذه أبسط أنواع الموجة الساكنة ، فهناك أخرى ، إذ قد يكون للموجة الساكنة ثلاثة عقد ، اثنان في طرفي السلك والآخر في منتصفه . وتكون لدينا في هذه الحالة ثلاثة عقد ساكنة . وتكني نظرة نلقها على الرسوم الموضحة هنا لترينا أن طول الموجة هنا يبلغ نصف طولها في المثال السابق ذي المعدتين .



صحيحاً وقد يتغير فقط على دفعات ! فمباراة مثل « عدد العقد في موجة ساكنة هو $3r$ » مجرد هراء . وإذن يتغير طول الموجة تغيراً متقطعاً . أى أننا في هذا المثال الكلاسيكي قد وجدنا إحدى

خصائص نظرية الكم المألوفة . وترداد الموجة الساكنة التي يحددها لاعب السكبان تمقيداً ، إذ أنها خليط من موجات عديدة لها ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ عقد ، أى خليط من أطوال موجية كثيرة . وفي استطاعة علم الطبيعة تحليل مثل هذا الخليط إلى مركبات من الأمواج الساكنة البسيطة التي يتكون منها . ويمكننا القول بلغة مصطلحاتنا السابقة أن الوتر المتذبذب له طيف ، تماماً كما يتميز كل عنصر بطيفه الإشعاعي . وكذلك أيضاً - كما كانت الحال في أطيف العناصر - لانشاهد في الوتر إلا ذبذبات معينة لا يسمع بوجود سواها .

هأنحن قد اكتشفنا بعض أوجه شبه بين القوس المتذبذب والذرة المشعة . ومهما بدا من غرابة في هذا التشابه ، فنستمر في دراستنا محاولين استنتاج ما نستطعمه معه ونسبغى قدما في المقارنة . تتكون ذرات كل عنصر من جسيمات أولية إحداها ثقيلة وتسمى بالنواة والأخرى خفيفة وهى الكهارب وتشبه هذه المجموعة آلة صوتية صغرة تحدث فيها موجات ساكنة .

ومع ذلك فليست الموجة الساكنة سوى نتيجة لتداخل موجتين متحركتين أو أكثر ، فإذا كان في هذه المقارنة بعض الحقيقة فلا بد من وجود صورة أسهل من صورة الذرة لىكى تمثل الموجة المنتشرة . فما هى ياترى أسهل تلك الصور ؟ لا يوجد في عالمنا المادى ما هو أسهل من الكهرب الذى لا تؤثر عليه أية قوى أو بعبارة أخرى الكهرب الساكن أو المتحرك حركة منتظمة . ولعلنا نسترسل في تشبيها فنمثل الكهرب المتحرك بانتظام بأمواج ذات طول معين . وهذه هى فكرة دى بروجلي الحديثة والجرئية في نفس الوقت .

وقد كان معروفاً قبل ذلك وجود ظواهر تتجلى منها الصفات الموجية للضوء وأخرى تتضح منها الصفات الجسيمية . وبعد أن أخذنا بوجهة النظر الموجية ، وجدنا لهشتنا أنه في بعض الحالات كحالة الظاهرة الكهروضوئية مثلاً - يسلك الضوء تماماً سلوك سيل من الفوتونات . أما في حالة الكهارب فنحواصها عكس ذلك تماماً . إذ أننا اعتدنا تشبيه الكهارب بجسيمات هى السكبات الأولية للكهرباء والمادة . وقد درست شحنتها وكتلتها ، فإذا كان هناك شيء من الحقيقة

في فكرة دي بروجلي فإنه لا بد من وجود بعض ظواهر تتجلى فيها الخواص الموجية
للمادة . وهذه النتيجة التي توصلنا إليها عن طريق المشابهة الصوتية تبدو غريبة
يصعب تصديقها ، فكيف يمكن أن يكون لجسم متحرك أى صفات موجية ؟
ولكن ليست هذه أول مرة تقابل فيها معضلة من هذا النوع في علم الطبيعة ،
فقد قابلنا نفس المعضلة في علم الظواهر الضوئية .

تقوم الآراء الأساسية بأهم دور في تكوين النظريات الطبيعية . وكتب علم الطبيعة
مأثرى بمعادلات رياضية معقدة . ولكن الآراء والأفكار - لا المعادلات - هي التي
تؤدي إلى ظهور النظريات الطبيعية . ثم تأخذ الآراء والأفكار بعد ذلك الشكل
الرياضي المحدد للنظرية ، بحيث يمكن مقارنة نتائجها بالتجربة . ويمكننا إيضاح ذلك
بمثل المسألة التي نحن بصدها الآن . فالفكرة الرئيسية هي أن الكهارب المنتظمة
الحركة تسلك في بعض الظواهر المسلك الموجي . لنفرض أن لدينا كهرباً أو مجموعة
من الكهارب - ذات سرعة واحدة - تتحرك بانتظام . ونحن نعلم قيم كتلة
الكهرب وشحنته وسرعته ، فإذا أردنا إلحاق الصفة الموجية للكهرب المنتظم
الحركة بكيفية ما ، فإن سؤالنا التالي هو : ما هو طول الموجة ؟ ويتطلب هذا
السؤال وضع نظرية تمكننا من تقدير قيمة هذا الطول الموجي الملحق بالكهرب .
وهذه مسألة بسيطة ، والسهولة الرياضية لعمل دي بروجلي عند إجابته على هذا
السؤال تدعو حقاً إلى العجب . ففي الوقت الذي وضعت فيه هذه النظرية كانت
النظريات الطبيعية الأخرى مليئة بالرياضيات الغامضة والمعقدة ؛ أما رياضة الأمواج
الملحقة بالمادة فهي غاية في البساطة ، في حين أن الفكرة الأساسية آية في عمق التفكير .

وقد رأينا في حالة الأمواج الضوئية والفوتونات أنه يمكننا نقل أى عبارة
صيغت بلغة الأمواج إلى لغة الفوتونات أو جسيمات الضوء . سنطبق نفس الشيء
على الأمواج الكهربية . ولغة الجسيمات مألوقة لنا في حالة الكهارب المنتظمة
الحركة ويمكننا نقل كل عبارة صيغت بلغة الجسيمات إلى اللغة الموجية تماماً كما
في حالة الفوتونات . وقد سهل لنا مهمة هذه الترجمة عاملان : أولهما هو التشابه بين
أمواج الضوء وأمواج الكهرباء أو بين الفوتونات والكهارب . وسنحاول

استخدام نفس طريقة الترجمة للمادة كما استخدمناها للضوء . وقد أمدتنا نظرية
البنسية الخاصة بالدليل الآخر ، قوانين الطبيعة يجب أن تكون لازمة بالنسبة
لتحويلات لورنتز لا بالنسبة للتحويلات الكلاسيكية . ويمكننا تعيين طول
الموجة الملحقة كهربي متحرك تماماً بواسطة هذين العاملين . فينتج من ذلك أن
كهربياً متحركاً بسرعة ١٠٠٠٠ ميلاً في الثانية مثلاله طول موجي ، من السهل
تقدير قيمته وقد وجد أنه يقرب من أطوال موجات الأشعة السينية . وإذن نستنتج
من ذلك أنه إذا كان إدراك الخواص الموجية للمادة ممكناً فإنه يجب إجراء تجارب
مماثلة لتلك التي أجريت على الأشعة السينية .

لنعتبر حزمة أو شعاعاً من الكهارب تتحرك بانتظام بسرعة معينة أي موجة
كهربية متجانسة ، إذا استخدمنا المصطلحات الموجية ؛ ولنفرض أنها تسقط على
بللورة رقيقة جداً تمثل دور محزوز الحيود . وتبلغ المسافات بين العوائق السبية
للحيود في البللورة - أي بين الذرات - حداً كبيراً من الصغر يكفي لإحداث
الحيود للأشعة السينية . فلهلنا نتوقع ظاهرة مشابهة لتلك عند استعمال الموجات
الكهربية ذات الطول الموجي القريب من الأشعة السينية . ويمكن تسجيل
حيود هذه الموجات الكهربية عند مرورها خلال الطبقة الرقيقة من البلورات
الموجودة في لوح فوتوغرافي . وفي الحقيقة تظهر هذه التجربة ما يمكننا اعتباره
بلاشك نصراً رائعاً للنظرية ، ألا وهو ظاهرة حيود الموجات الكهربية . والتشابه
بين حيود الموجات الكهربية والأشعة السينية ملفت للنظر كما يرى من مقارنة
النماذج في اللوحة (٣) . وتمكننا مثل هذه الصور من تقدير أطوال موجات
الأشعة السينية . وينطبق نفس الكلام على الموجات الكهربية ، فيعطينا أتمودج
الحيود طول الموجة المادية مع التأييد العملي التام للنظرية وفي هذا تأييد شامل
لاستنتاجاتنا .

ومع ذلك فهذه النتيجة تزيد في متاعنا ! كما يتضح من الحالة المشابهة لتلك
في حالة أمواج الضوء التي سبق ذكرها . فإذا سلط كهرب على ثقب دقيق جداً فإنه
سيجيد عن طريقه تماماً كما تفعل موجة ضوئية ، وسنشاهد على اللوح الفوتوغرافي

حلقات مضيئة ومظلمة . وبما كان هناك بعض الأمل في شرح هذه الظاهرة أيضاً بتفاعل بين الكهرباء وحافة الجسم المعرض على الرغم من أن مثل هذا الشرح بعيد الاحتمال . ولكن ماذا عن تقبي الدبوس المتجاورين ؟ ستظهر خطوط بدلاً من الحلقات . كيف يمكن أن يكون وجود الثقب الآخر سبباً في إحداث هذا التغير ؟ فالكهرب لا يمكن شطره وليس له إلا أن يمر خلال أحد الثقبين . كيف يمكن للكهرب أن يعلم أثناء مروره خلال أحد الثقبين أن هناك ثقباً آخر قريباً منه ؟

وقد سبق أن تساءلنا عن ماهية الضوء ؟ أهو شيل من الجسيمات أم موجة ؟ ويحتمل لنا الآن أن نسأل ماهي المادة وما هو الكهرباء ؟ هل هو جسيم أو موجة ؟ فالكهرب له خواص الجسيم عند ما يتحرك في مجال كهربائي أو مغناطيسي خارجي وله الخواص الموجية عند ما يحميد أثناء مروره خلال بلورة . وقد قابلنا عند دراستنا لكلمات المادة الأولية نفس الصعاب التي لاقيناها أثناء دراستنا لكلمات الضوء . وبذلك ينشأ الآن السؤال التالي وهو من أهم الأسئلة التي أثارها التطور العلمي الحديث : كيف نجتمع بين الرأيين المتعارضين عن المادة والأمواج ، وهذه المعضلة هي من ذلك النوع الذي يؤدي حلها إلى تقدم علمي لا شك فيه . وقد حاول علم الطبيعة الحديث حل هذه المشكلة ؟ والأمر الآن متروك للمستقبل لكي يقرر ما إذا كان هذا الحل الذي اقترحه علم الطبيعة الحديث دائماً أم مؤقتاً فقط !

أمواج الاحتمال :

.. إذا علمنا موضع نقطة مادية وسرعتها والقوى الخارجية المؤثرة عليها فإننا نستطيع - طبقاً لقواعد الميكانيكا الكلاسيكية - التنبؤ بمحركة النقطة المستقبلية بواسطة استخدام القوانين الميكانيكية . والعبارة « للنقطة المادية السرعة كذا عند انوضع كذا في لحظة ما » لها معنى محدد في الميكانيكا الكلاسيكية .

وقد حاول العلماء - في أوائل القرن التاسع عشر - شرح جميع ظواهر علم الطبيعة على أساس الفرض بوجود قوى بسيطة تؤثر على جسيمات مادية ذات

مواضع معينة وسرع معينة عند لحظة ما . لنحاول تذكر كيف وصفنا الحركة عند ما تكلمنا عن الميكانيكا عند بدء استعراضنا لظواهر علم الطبيعة الحديث . فقد رسمنا تقاطعاً على مسار معين كي نتحد لنا أوضاع الجسم عند لحظات معينة ، وكذلك مماسات متجهة كي توضح لنا مقادير واتجاهات السرعة . وقد كان هذا كله بسيطاً وسهل الفهم . ولكننا لا نستطيع تطبيق ذلك كله على كرات المادة الأولية (أى الكهارب) أو على كرات الطاقة الأولية (أى الفوتونات) حيث أنه ليس في الإمكان تمثيل حركة فوتون أو كهرب بالطريقة التي تخيلنا بها الحركة في الميكانيكا الكلاسيكية ، وليس مثال ثقبى الدبوس عنا بعيد . ويبدو لنا أن كلا من الفوتون أو الكهرب يمر خلال الثقبين معاً في نفس الوقت . وبذلك يصبح من المستحيل شرح هذه الظاهرة باعتبار مسار الفوتون أو الكهرب طبقاً للنظرية الكلاسيكية القديمة . ويدهى أنه يجب علينا التسليم بوجود حركات أولية مثل حرور الكهارب والفوتونات خلال الثقوب . وليس هناك شك في وجود الكرات الأولية للمادة والطاقة ولكن من المؤكد أيضاً أننا لا نستطيع وضع القوانين الأولية على أساس تحديد الأماكن والسرعة عند لحظة ما بطريقة الميكانيكا الكلاسيكية السهلة .

لنحاول الآن تجربة أخرى بأن نكرر هذه الحوادث الأولية كأن نزل الكهارب الواحد تلو الآخر في اتجاه ثقبى الدبوس الصغيرين . وسيكون استخدام الكلمة « كهرب » على سبيل التحديد فقط في هذه الحالة ، وينطبق نفس الكلام على الفوتونات .

لنفرض أننا أعدنا هذه التجربة مراراً عديدة بنفس الطريقة أى أن الكهارب تتحرك في اتجاه ثقبى الدبوس بنفس السرعة الواحد تلو الآخر . وغنى عن الذكر أن هذه التجربة مثالية أى أننا لا يمكننا القيام بها عملياً ولكننا نستطيع تخيلها فقط إذ أنه ليس في الإمكان إطلاق الكهارب والفوتونات فرادى كما ينطلق الرصاص من البندقية .

ومن الطبيعي أن يؤدي تكرار هذه التجارب إلى الحصول على حلقات

مظلمة وأخرى مضيئة إذا كان لدينا ثقباً واحداً وعلى خطوط مضيئة ومعتمة إذا كان لدينا ثقبان . ولكن هناك فرق أساسي ، وذلك أنه في حالة الكهرب الوحيد كان من المسير علينا تصور نتيجة التجربة في حين أنه يسهل فهمها إذا تكرررت العملية مراراً ، حيث يمكننا أن نقول الآن : تظهر الخطوط المضيئة عند ما تسقط على أماكنها كهارب كثيرة . أما في الخطوط المظلمة فيقل عدد الكهارب الساقطة كثيراً ، وينعدم سقوط الكهارب في المنطقة ذات الظلام الكامل . ويدهسى أننا لانستطيع أن نفرض أن جميع الكهارب تمر خلال أحد الثقبين فقط لأنه إذا كان ذلك صحيحاً فإن تغطية الثقب الآخر يجب ألا تسبب أى فرق ، ولكننا نعلم أن تغطية الثقب الثانى يغير فعلا في نتيجة التجربة . وحيث أن الكهرب غير قابل للانبطار فإننا لانستطيع تصور مروره من كلا الثقبين في نفس الوقت . فإذا يمهذ لنا تكرار التجربة مخرجاً من هذا المأزق ، إذ نستطيع القول بأن بعض الكهارب تمر من أحد الثقبين وتنفذ البقية من الثقب الآخر . ولا يمكننا معرفة سبب تفضيل الكهارب لثقوب خاصة ، ولكن يجب أن تكون نتيجة تكرار التجربة اقسام الثقبين للكهارب الساقطة من المصدر والمتجهة إلى الحاجز الذى تتكون عليه نماذج الحيود . فإذا ذكرنا فقط ما يحدث للكهارب عند اعادة التجربة ، غير عابئين بسلوك الكهارب الفردية فإن شرح الفرق بين دوائر الحيود وخطوطه يصبح يسيراً . وهكذا أدت دراسة سلسلة من التجارب إلى نشوء فكرة «مجموعة» أو «جمع» من الجسيمات التى لانستطيع التنبؤ بخواصها الفردية . فلا يمكننا مثلاً أن نتنبأ بمسار كهرب فردى ، ولكننا نستطيع أن نتنبأ بنتيجة حركة المجموعة كلها ألا وهى حدوث خطوط مضيئة ومظلمة على الحاجز .

لنترك علم الطبيعة الكمى جانباً الآن بعض الوقت . لعلنا نذكر أننا إذا علمنا مكان ومعرفة نقطة عادية عند لحظة ما والقوى المؤثرة عليها في علم الطبيعة الكلاسيكى فإننا نستطيع التنبؤ بحركة النقطة المستقبلية . وقد رأينا بعد ذلك كيف طابقت وجهة النظر الميكانيكية على نظرية الحركة للمادة ، وكيف أدت دراستنا لهذه النظرية إلى نشوء فكرة ستكون ذات فائدة كبيرة لنا فيما بعد إذا فهمناها حق الفهم .

لنفرض أن لدينا وطاء به غاز . إذا أردنا تتبع حركة كل جسيم فإن علينا أن نبدأ بإيجاد الظروف الابتدائية أى الأوضاع والسرع الابتدائية لجميع الجسيمات . وحتى إذا فرضنا إمكان ذلك فإن تسجيل النتيجة على الورق تستغرق وقتاً أطول من حياة الإنسان نظراً لضخامة عدد الجسيمات التى علينا أن نعتبرها . وإذا رغبتنا بعد ذلك فى استخدام طرق الميكانيكا الكلاسيكية لحساب الأوضاع النهائية للجسيمات فإننا نقابل صعاباً لا يمكننا التغلب عليها . فمن المسلم به مبدئياً أننا نستطيع استخدام الطريقة التنبؤية فى دراسة حركة النجوم ولكننا لا نستطيع القيام بها عملياً ، وإذن لا مفر من أن نلجأ إلى الطريقة الإحصائية . وليست هذه الطريقة فى حاجة إلى المعرفة التامة للأحوال الابتدائية ، وبذلك تقل معلوماتنا عن أية مجموعة من جسيمات الغاز عند لحظة ما ويتبع ذلك ضعف قدرتنا على معرفة الأحوال الماضية والمستقبلية للمجموعة . ولن نهتم بمصير كل جسيم على حدة بل ستصبح مسألتنا الآن ذات طبيعة خاصة . فثلاً لن نسأل « ما هى سرعة كل جسيم عند هذه اللحظة » ولكن ربما نسأل « كم عدد الجسيمات التى تنحصر سرعتها بين ١٠٠٠ ، ١١٠٠ قدماً فى الثانية » . أى أننا لن نهتم أبداً بالأفراد ولكننا سنحاول فقط تعيين الخواص العامة للمجموعة كلها كوحدة . ومن البديهي أن الطريقة الإحصائية لن تصح إلا إذا احتوت المجموعة على عدد كبير جداً من الأفراد .

ولا يمكننا معرفة سلوك فرد داخل مجموعة ما عند استخدام الطريقة الإحصائية بل يمكننا فقط أن نتكلم عن احتمال سلوكها بطريقة معينة . فإذا أخبرتنا القوانين الإحصائية بأن ثلث الجسيمات لها سرعة بين ١٠٠٠ ، ١١٠٠ قدماً فى الثانية فإن هذا يعنى أنه بتكرار عملية القياس على جسيمات كثيرة نحصل على هذا المعدل حقيقة أو بعبارة أخرى أن احتمال وجود جسيم له هذا القدر من السرعة هو $\frac{1}{3}$.

وبالثل لى تقدر معدل التكاثر فى مجتمع كبير ، لا يمكن أن نعلم أن أسرة ما قد رزقت بطفل ، إذ أن ما يهمنى هو معرفة نتيجة إحصائية ليس للأفراد فيها دور خاص .

وإذا حاولنا تسجيل أرقام عدد كبير من السيارات فإننا سرعان ما نكتشف أن ثلث هذه الأرقام تقبل القسمة على ثلاثة . ولكننا لا يمكننا أن نجزم بأن السيارة التي ستمر بنا بعد لحظة ستحمل رقماً له هذه الخاصية . فالتوانين الإحصائية يمكن تطبيقها على مجموعات كبيرة فقط ، ولكنها لا تنطبق على أعضاء تلك المجموعة كلها على أفراد .

ويمكننا الآن العودة إلى موضوعنا الكمي . تتميز قوانين علم الطبيعة الكمي بطابع إحصائي أي أنها لا تخص فرداً واحداً بذاته بل مجموعة أفراد متجانسة ، ولا يمكن تحقيق هذه القوانين بإجراء قياس على فرد واحد بل فقط بسلسلة من تجارب متكررة .

ويحاول علم الطبيعة الكمي مثلاً صياغة قوانين خاصة بالتفكك الإشعاعي لتتحكم في التحولات الذاتية من عنصر إلى آخر . فاللوم مثلاً أنه في ١٦٠٠ عام يتفكك نصف جرام من الراديوم ويتبقى النصف الآخر . ويمكننا معرفة عدد الذرات التي ستتفكك في نصف الساعة القادمة ، ولكننا في نفس الوقت لا نستطيع أن نقول لماذا يقضى على هذه الذرات ذاتها دون الأخرى . وليس في استطاعتنا — حسب معلوماتنا الحالية — تعيين الذرة المقضى عليها بالتفكك ، ولا يتوقف مصرع الذرة على عمرها ، ولا يوجد قانون يختص بدراسة سلوك الذرة الفردى وأحوالها الخاصة ، ولكننا نستطيع فقط صياغة قوانين إحصائية تتحكم في مجموعات من الذرات .

لنعتبر مثلاً آخر . إذا وضع غاز مضيء لمادة ما أمام المطياف ، فإننا نشاهد خطوطاً ذات أطوال موجية معينة . ويعتبر ظهور مجموعة متقطعة ذات أطوال موجية معينة من خواص الظواهر الطبيعية التي اكتشفنا فيها وجود الكعات الأولية . ولكن هناك ناحية أخرى للموضوع فهناك خطوط زاهية وأخرى باهتة ، ويستلزم الخط الزاهي إشعاع عدد كبير من الفوتونات التابعة لهذا الطول الموجي المين ، ومعنى الخط الباهت إشعاع عدد ضئيل نسبياً من الفوتونات الملحقة بهذا الطول الموجي ، وهنا تعطينا النظرية أيضاً شروحاً لها طابع إحصائي فقط .

ويشير كل خط إلى انتقال من مستوى طاقة عال إلى آخر منخفض . وتجربنا النظرية عن احتمال حدوث كل من هذه الانتقالات الممكنة ، ولكنها لا تبين شيئاً عن انتقال ذرة فردية بذاتها ؟ وقد أصابت النظرية نجاحاً كبيراً لأن جميع هذه الظواهر تتضمن جوعاً كبيرة لا أفراداً . ويظهر أن علم الطبيعة الكمي الحديث يشبه نظرية الحركة للمادة بعض الشيء حيث أن لكلهما طابع إحصائي ويشير كل منهما إلى جوع كبيرة . ولن تهتما فقط التشابه في هذه المقارنة فقط بل نقط الاختلاف أيضاً . وينحصر معظم التشابه بين نظرية الحركة للمادة والطبيعة الكمية في الطابع الإحصائي لكل منهما ، ولكن ماهي أوجه الاختلاف ؟

إذا رغبتنا في معرفة الرجال والنساء الذين تزيد أعمارهم عن ٢٥ عاماً في مدينة ما فإننا يجب علينا أن نطلب إلى كل مواطن أن يملأ في استئارة خاصة البيانات التي تقع تحت العناوين « ذكر » ، « أنثى » ، « العمر » . وبفرض صحة كل إجابة فإننا سنحصل - بعد عدد وتقسيم بيانات الاستئارات - على نتيجة ذات طابع إحصائي ، حيث أن أسماء الأشخاص وعناوينهم لا تهتما في شيء . وقد تولد الطابع الإحصائي من معرفة الحالات الفردية . وكذلك الحال في نظرية الحركة للمادة إذ توجد لدينا قوانين إحصائية تتحكم في المجموعات وبنيت على أساس الحالات الفردية .

ولكن الوضع يختلف تماماً الاختلاف في علم الطبيعة الكمي ، إذ تنتج هذه القوانين الإحصائية فوراً دون اعتبار أي وجود للحالات الفردية . وقد رأينا في مثال الفوتون أو الكهروب وشمي الدبوس أننا لانستطيع وصف الحركة الممكنة للجسيمات الأولية في السكان والزمان كما فعلنا في علم الطبيعة الكلاسيكي ، أي أن علم الطبيعة الكمي يلغي وجود القوانين الفردية للجسيمات الأولية ويذكر لنا مباشرة القوانين التي تتحكم في الجوع . ويستحيل علينا - على أساس الطبيعة الكمية - وصف مكان وسرعة جسم أولى أو التنبؤ بحركته المستقبلية كما هي الحال في الطبيعة الكلاسيكية . وتهتم الطبيعة الكمية فقط بالجوع وتطبق قوانينها عليها لا على الأفراد . وإن الحاجة الملحة - وليست الرغبة في التجديد - هي

التي دفعتنا إلى تغيير وجهة النظر الكلاسيكية . وقد سبق لنا إيضاح متاعب تطبيق وجهة النظر القديمة في مثال ظاهرة الحيود ، وهناك أمثلة أخرى عديدة مشابهة يمكننا ذكرها . وتدفعنا محاولتنا لفهم الحقائق الطبيعية إلى تغيير وجهات نظرنا باستمرار . والأمر متروك للمستقبل لكي يحكم ما إذا كنا قد سلكنا الطريق الصواب الوحيد أو إذا كان هناك حل لمتاعبنا خير من هذا الحل الذي وجدناه .

وقد كان علينا أن ننبذ وصف الحالات الفردية كحالات واقعية في الزمان والمكان ، وتحم علينا أن نستحدث قوانين لها طابع إحصائي . هذه هي الخطوط الرئيسية لعلم الطبيعة الكمي .

وعندما بدأنا - فيما سبق - دراسة ظواهر طبيعية جديدة كالجمال الكهرومغناطيسي ومجال الجاذبية حاولنا - في عبارات هامة عامة - شرح الخواص الرئيسية للمعادلات التي صيغت فيها المعاد والآراء رياضياً . وسنحاول الآن عمل نفس الشيء في الطبيعة الكمية مشيرين باختصار إلى أعمال بوهرو ودي بروجلي وشردينجر وهيزنبرج وديراك وبورن .

لنتعتبر حالة كهرب واحد . وقد يكون الكهروب تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي خارجي أو قد لا يؤثر عليه أي مؤثر خارجي . وربما تحرك مثلاً في مجال نواة ذرة ما أو ربما سقط على بللورة وحاد عنها . وترشدنا الطبيعة الكمية إلى كيفية صياغة المعادلات الرياضية الخاصة بكل من هذه الموضوعات .

وقد سلمنا الآن بالتشابه الموجود بين وتر متذبذب أو غشاء طبلية أو آلة هوائية أو أي آلة صوتية أخرى من جانب وبين الذرة المشعة من جانب آخر . وهناك أيضاً بعض التشابه بين المعادلات الرياضية المتحركة في المسائل الصوتية وبين تلك المتحركة في موضوع الطبيعة الكمية . ولكن التفسيرات الطبيعية للكميات المعينة في هاتين الحالتين تختلف كثيراً عن بعضها ، فالكميات الطبيعية التي تصف حركة الوتر المتذبذب تختلف تماماً عن تلك التي تصف الذرة المشعة ، رغمًا عما يبدو من تشابه ظاهري في المعادلات . ويمكننا أن نسأل في حالة الوتر عن مقدار ابتعاد

نقطة ما على الوتر المتحرك في لحظة معينة عن وضعها الأصلي . وإذا عرفنا شكل الوتر المتذبذب عند لحظة معلومة فإننا نستطيع الحصول على ما يزيد . وإذن يمكننا تقدير قيمة الانحراف عن الوضع الأصلي عند لحظة ما من المعادلات الرياضية للوتر المتذبذب ، ونستطيع الآن التعبير عن توقف انحراف القوس عن موضعه الأصلي لكل نقطة من نقط القوس على الوجه التالي: عند لحظة ما يكون الانحراف عن الوضع العادي دالة تتوقف على إحداثيات القوس . وتكون جميع نقط القوس متصلاً ذا إحداثي واحد ؛ ويكون الانحراف دالة تعرف في هذا التصل ذي الإحداثي الواحد - وتقدر قيمتها من معادلات القوس المتذبذب .

وبالمثل في حالة الكهرب توجد دالة معينة لكل نقطة من نقط الفراغ عند أية لحظة ، ونسمى هذه الدالة موجة الاحتمال . وتشير موجة الاحتمال - في مقارنتنا - إلى الانحراف عن الوضع العادي في المسألة الصوتية . أي أن الموجة الاحتمالية - عند لحظة ما - هي دالة في فضاء ذي ثلاثة إحداثيات ، بينما كان الانحراف في حالة الوتر عند لحظة ما دالة في فضاء ذي إحداثي واحد . وتحمل الموجة الاحتمالية في ثناياها كل ما نستطيع الحصول عليه من المعلومات الخاصة بالمجموعة الكمية التي ندرسها ، ونستطيع بواسطتها الإجابة على كل الأسئلة ذات الصبغة الإحصائية التي تتعلق بتلك المجموعة . ولكنها لن تكون بذات فائدة إذا أردنا منها تعيين مكان وسرعة الكهرب عند لحظة ما ، لأنه ليس هناك أي معنى لثل هذا السؤال في الطبيعة الكمية . ولكنها ستخبرنا عن احتمال العثور على الكهرب في مكان ما أو أين نتاح لنا فرصة المشور على الكهرب . ولا تشير التجربة إلى فرد بل إلى تجارب كثيرة متكررة . أي أن معادلات الطبيعة الكمية تعين لنا الموجة الاحتمالية تماماً كما تعين لنا معادلات ماكسويل المجال الكهرومغناطيسي ، وأيضاً كما تعين معادلات الجاذبية مجال الجاذبية . ولكن الكميات الطبيعية التي تعينها معادلات الطبيعة الكمية ليست ذات معان مباشرة كما هي الحال في معادلات المجالات الكهرومغناطيسية والجاذبية ، إذ أنها تعطينا فقط الطرق الرياضية للإجابة على أسئلة ذات طابع إحصائي .

وكنا حتى الآن معنيين بدراسة حركة الكهرب في مجال خارجي معين . فإذا اعتبرنا جسماً آخر له شحنة أكبر تحملها كتلة تبلغ ملايين المرات ضعف كتلة الكهرب فإننا نستطيع أن نفرض النظر عن نظرية الكم بأسرها وندرس المسألة طبقاً لقوانين الطبيعة الكلاسيكية . فإذا تكلمنا عن التيارات الكهربائية داخل الأسلاك ، أو موصلات مشحونة ، أو الأمواج الكهرومغناطيسية فإننا يمكننا تطبيق مبادئ علم الطبيعة البسيطة التي تتضمنها معادلات ماكسويل ، ولكننا لا نستطيع عمل ذلك عند ما نتكلم عن الظاهرة الكهروضوئية أو شدة خطوط الطيف . أو النشاط الأشعاعي أو حيود الموجات الكهربية (الإلكترونية) وظواهر عديدة أخرى يظهر فيها الطابع الكمي للمادة والطاقة . فبينما كنا نتكلم عن مواضع ومرع جسيم واحد في الطبيعة الكلاسيكية إذا بنا نرى أنه يجب علينا الآن أن نعتبر أمواج الاحتمال في متصل ذي ثلاثة أبعاد خاص بهذا الجسيم وحده . وتتميز الطبيعة الكمية بطريقة خاصة في معالجة موضوع ما إذا علمنا كيفية دراسته من وجهة نظر الطبيعة الكلاسيكية .

وللجسيم الأولى - سواء أكان كهربياً أو فوتوناً - أمواج احتمال تنتشر في متصل ذي ثلاثة أبعاد وتعطينا الخواص الإحصائية إذا تكررت التجربة مرات عديدة . ولكن ماذا نظن بجسيمين متفاعلين - بدلاً من حالة الجسيم المفرد التي كنا ندرسها - ككهرين أو كهرب وفوتون أو كهرب ونواة ؟ إن استطعنا دراسة كل على حدة ووصفها بواسطة موجة احتمال في ثلاثة أبعاد فقط بسبب تفاعل الجسيمين معاً . وفي الحقيقة أنه ليس من العسير علينا أن نصف مجموعة مكونة من جسيمين متفاعلين في الطبيعة الكلاسيكية . لذلك يجب علينا أن ندير وجوهنا هنيهة شطر الطبيعة الكلاسيكية . يتميز موضعاً نقطتين ماديتين في الفراغ عند لحظة ما بستة أرقام ، ثلاثة منها لكل من النقطتين . وتكون كل الأوضاع الممكنة للنقطتين الماديتين متصلاً ستة أبعاد - لا ثلاثة - كما كانت الحال عند دراسة جسيم واحد . فإذا أرجعنا البصر ثانية إلى الطبيعة الكمية فإننا نحصل على أمواج احتمال في متصل ذي ستة أبعاد ، لا ثلاثة كما هي الحال عند دراسة

حركة جسيم واحد . وكذلك الحال إذا درسنا ثلاثة أو أربعة جسيمات أو أكثر حيث تكون أمواج الاحتمال دوالاً في متصلات ذات تسعة أو إثني عشر بعداً أو أكثر .

ونرى من هذا بسهولة أن أمواج الاحتمال ليست سوى أمواجاً مجردة ، تختلف عن الأمواج الكهرمغناطيسية والجاذبية التي توجد وتنتشر في فضاءنا ذي الأبعاد الثلاثة . ويمتبر المتصل ذو الأبعاد العديدة أساساً لأمواج الاحتمال . ويكون عدد أبعاد هذا المتصل مساوياً لعدد أبعاد فضاءنا العادي عند دراسة جسيم مادي واحد أى ثلاثة أبعاد . والمعنى الطبيعي الوحيد لموجة الاحتمال هو أنها تتمكننا من الإجابة على أسئلة إحصائية ذات فائدة كبيرة في حالة جسيم واحد أو جسيمات كثيرة . فمثلاً في حالة الكهروب الواحد ، يمكننا أن نسأل عن احتمال وجود الكهروب في مكان ما ، وفي حالة جسيمين يمكننا أن نسأل عن احتمال وجود الكهربين في مكانين معينين عند لحظة ما ؟

وقد كان أول انحراف لنا عن وجهة النظر الكلاسيكية هو في نبذنا لوصف الحالات الفردية كأحداث في الزمان والمكان . وقد كنا مضطرين إلى استخدام الطريقة الإحصائية بواسطة أمواج الاحتمال ، وحيث أننا اخترنا هذا الطريق فقد أصبح زامناً علينا أن نحصى قدماً نحو التجريد المطلق ، وأصبح لا مفر من استخدام أمواج الاحتمال ذات الأبعاد العديدة لوصف مسائل الجسيمات العديدة .

دعنا على سبيل الاختصار نطلق على كل شيء ما عدا الطبيعة الكمية ، اسم الطبيعة الكلاسيكية . فهناك إذن اختلاف جوهري بين الطبيعة الكلاسيكية وبين الطبيعة الكمية ، إذ أن الطبيعة الكلاسيكية تهتم بوصف الأجسام الموجودة في المكان ووضع قوانين لتمثل تغيرها مع الزمن . ولكن الظواهر التي تكشف لنا عن الطابع الجسيمي والوحي للمادة والإشعاع ، والطابع الإحصائي للأحداث الأولية مثل التفتك الإشعاعي والحيود وإشعاع الخطوط الطيفية وغير ذلك اضطرتنا إلى نبذ هذا الرأي . فالطبيعة الكمية لا تهتم بوصف أجسام فردية ذات أوضاع معينة ودراسة تذبذباتها مع الزمن . فلن نجد في الطبيعة الكمية عبارات

مثل « هذا الجسم هو كذا وله من الصفات كذا وكذا » بل ترى عبارات مثل « كذا وكذا تمثل الاحتمال بأن يكون الجسم الفردى هو كذا وكذا وأن تكون له هذه الصفة أو تلك ». فلا توجد في الطبيعة الكمية قوانين تتحكم في تغيرات خواص الجسم مع الزمن . فبدلاً من ذلك نجد قوانين تعين تغير الاحتمال مع الزمن وهذه التغيرات الرئيسية — التي أدخلتها نظرية الكم في علم الطبيعة — هي التي مكنتنا من إيجاد شروح مقبولة وافية للخواص المتقطعة وللطابع الاحصائي للأحداث في علم الظواهر التي تلعب فيها الكمات الأولية للمادة والإشعاع أدواراً كبيرة .

ومع ذلك فما زالت هناك بعض مسائل صعبة لم يتم حلها بعد . وسنذكر هنا فقط بعضاً من هذه المسائل ، فالعلم لم يكن ولن يكون أبداً كتاباً مغلقاً ، إذ أن كل تقدم مهم يؤدي إلى بحث مسائل جديدة وكل تطور جديد تصحبه دائماً مصاعب جديدة .

وقد رأينا أنه في الحالة البسيطة التي نعتبر فيها جسماً واحداً لا أكثر ، نستطيع الانتقال من الدراسة الكلاسيكية إلى الدراسة الكمية ، أى من دراسة حركة الجسيمات في الزمان والمكان إلى دراسة أمواج الاحتمال . ولا شك أن معتقدات المجال المهم في الطبيعة الكلاسيكية لم تنب عن باننا ، ولعلنا نسأل عن كيف نستطيع وصف التفاعل بين كمات المادة الأولية والمجال ؟ وإذا كنا نحتاج إلى موجة احتمالية تنتشر في متصل ذي ثلاثين بعداً لدراسة حركة عشرة جسيمات ، فإنه يلزمنا موجة أخرى تنتشر في متصل ذي عدد لا نهائى من الأبعاد لدراسة المجال طبقاً للنظرية الكمية ، والانتقال من فكرة المجال في النظرية الكلاسيكية إلى الموجة الاحتمالية الملائمة في الطبيعة الكمية أمر في غاية الصعوبة . ويمكننا أن نقول أن جميع المحاولات التي بذلت للانتقال من الوصف الكلاسيكي إلى الوصف الكمي للمجال حتى الآن لا تعتبر وافية بالغرض . وهناك مسألة أخرى أساسية . فقد استخدمنا أثناء دراستنا لطريقة الانتقال من الطبيعة الكلاسيكية إلى الطبيعة الكمية الطريقة القديمة غير النسبية التي لا يعتبر فيها الزمن بنفس الطريقة التي

يعتبر بها المكان . فإذا حولنا أن نبدأ بالوصف الكلاسيكي الذي تطبق فيه قواعد نظرية النسبية فإن انتقلنا إلى الطريقة الكمية يصبح أكثر تمقيداً . وهذه هي معضلة اليوم التي حاول علم الطبيعة الحديث حلها ولكن هذا الحل ما زال مبدئياً عن السكّال . وهناك أيضاً معضلة أخرى نشأت عند ما حاول العلماء وضع نظريات وقواعد كمية لوصف الجسيمات الثقيلة التي تدخل في تركيب النوى . وعلى الرغم من النتائج العملية العديدة والمحاولات الكثيرة لشرح مشاكل النواة ، فإننا ما زلنا نجهد أهم نواحي هذا الموضوع .

وليس هناك ثمة شك في أن الطبيعة الكمية قد نجحت في شرح جانباً كبيراً من الحقائق وكانت النتائج النظرية في معظم الحالات متفقة تماماً مع النتائج العملية . وقد أبعدتنا الطبيعة الكمية الحديثة كثيراً عن وجهة النظر الميكانيكية القديمة وأصبح التهمر إلى مواضعنا القديمة أمراً بعيد الاحتمال . ولكن ليس هناك شك أيضاً في أنه يجب علينا أن نبنى علم الطبيعة الحديث على أساس معتقدات المادة والجال . وفي هذه الحالة تكون النظرية ثنائية وبعبدة عن فكرة لإرجاع كل شيء ونسبته إلى المجال .

هل ستسلك التطورات المقبلة نفس الطريق الذي سلكته الطبيعة الكمية ؟ أو هل يشمل أن تنشأ أفكار ثورية جديدة في علم الطبيعة ؟ وهل سيماني طريق التقدم انحناءة أخرى كبيرة كما حدث ذلك مرات فيا مضى ؟ وقد تركزت جميع معضلات الطبيعة الكمية حول بضع نقط رئيسية قليلة خلال السنوات الأخيرة ، ويتنظر علم الطبيعة حل هذه المعضلات بقلتي ، وليس هناك ما يدلنا على الكيفية أو الوقت الذي ستحل فيه هذه المشاكل .

علم الطبيعة ومفهوم الوجود :

ما هي النتائج العامة التي نستطيع استخلاصها من تطور علم الطبيعة الذي بسطناه هنا بطريقة عامة توضح لنا خطوطه الرئيسية فقط ؟ وليس العلم مجرد مجموعة قوانين أو قائمة بحقائق غير مرتبطة بل هو ابتكارات

العقل الإنسانى بما فيه من معتقدات وأفكار نتيجة تفكير حر طليق .
وتحاول النظريات الطبيعية تكوين صورة للحقيقة وإيجاد رابطة بينها وبين عالم
الشعور . وإذن تكون الزكية الوحيدة لتركيب عقد لنا هي فيما إذا كانت نظريتنا
هذه تنجح في إيجاد هذه العلاقة وفي الكيفية التي وجدت بها .

وقد رأينا حقائق جديدة نشأت عن التقدم في علم الطبيعة ، ولكن اكتشاف
الحقائق لم يكن مقصوداً على علم الطبيعة ، إذ أن الإنسان قد بدأ منذ فجر التاريخ
في تمييز ما حوله من الأجسام . فالصور التي كونها العقل الإنسانى عن الشجرة
والحصان والجسم المادى نتجت عن التجربة على الرغم من أن التأثيرات التي نتجت
عنها هذه الصور أولية بالنسبة لعالم الطواهر الطبيعية . والقطة التي تتحاور فأراً
تكون في نفسها صورة خاصة بذلك . وحيث أن القطة تعامل كل فأر بنفس
الطريقة فإننا نستنتج أنها لا بد كونت في نفسها صوراً وطرقاً هي أدلها في تأثرها
بالحياة الخارجية .

وطبسي أن ثلاثة أحجار شئ^١ مختلف عن شجرتين ، وشجرتين شئ^٢ مختلف
عن حجرين وليست فكرة الأرقام البحتة ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥٠٠ (دون أى ارتباط
بالأشياء التي تميزها) سوى من ثمار التفكير الإنسانى لوصف حقيقة عالمنا .

وبفضل شعورنا الباطنى بمرور الزمن استطعنا تنظيم إحساساتنا لكي تتمكن
من الحكم على أن حدثاً ما قد سبق آخراً ، ولكن لكي نميز كل لحظة زمنية تمر
برقم بواسطة استخدام ساعة أى لكي نعتبر الزمن متصلاً ذا بعد واحد هو أيضاً
في حد ذاته اختراع للذهن الإنسانى . وكذلك الحال في معتقداتنا الهندسية
الإقليدية واعتبار فضاءنا كعالم ذى ثلاثة أبعاد .

وقد بدأ علم الطبيعة حقاً باختراع الكتلة والقوة والمجموعة القاصرة . وهذه
جميعها ابتكارات للعقل الإنسانى أدت إلى نشوء وجهة النظر الميكانيكية . ويتكون
العالم الخارجى ، من وجهة نظر العلماء الطبيعيين في أوائل القرن التاسع عشر ، من
جسيمات تؤثر عليها قوى بسيطة تتوقف على المسافة . وقد حاول هؤلاء العلماء
التمسك بفكرة إمكانهم شرح جميع أحداث الطبيعة على أساس هذه الفروض

الأساسية . ولكن الصعوبات المتعلقة بانحراف الإبرة المغناطيسية ، وتركيب الأثير
دفعتنا إلى بناء عالم أكثر تمقيداً . وقد أدى ذلك إلى الاكتشاف المهم للمجال
الكهرومغناطيسى وقد احتجنا إلى خيال علمى جرى لندرك تماماً أنه ليست
الأجسام المادية ولكن ما يوجد بينها - أى المجال - قد يكون عاملاً أساسياً
لتنظيم وفهم الأحداث .

وقد أدت تطورات العلم الحديث إلى القضاء على المعتقدات القديمة واستحداث
أخرى جديدة . فقد قضت نظرية النسبية على فكرة الزمن المطلق والمجموعة
الإحداثائية القاصرة . ولم يعد مسرح الحوادث هو متصل الفضاء ذى الثلاثة الأبعاد
والزمن ذو البعد الواحد ، بل أصبح هو متصل السكان والزمان ذو الأربعة الأبعاد
الذى تختلف قوانين تحويله عن القوانين القديمة . ولم نعد نحتاج إلى المجموعة
الإحداثائية القاصرة إذ أصبحت كل المجموعات الإحداثائية سواء وتعتبر جميعها مناسبة
لوصف أحداث الطبيعة .

وقد استحدثت نظرية الكم أيضاً آراء ومعتقدات جديدة وأساسية فقد
استبدلت فكرة عدم الاتصال بالاتصال وظهرت قوانين الاحتمال بدلا من القوانين
التي تتحكم في حركة الأجسام الفردية .

وفي الحقيقة أن الآراء التي استحدثت في علم الطبيعة الحديث تختلف عن
تلك التي شاعت عند بدء التطور العلمى . ولكن هدف النظريات العلمية كان
وما زال ثابتاً لم يتغير .

وتساعدنا النظريات الطبيعية على تلمس طريقنا وسط جموع الحقائق العلمية
محاولين تنظيم وتفهم طائناً الإحساسى ، ونود دائماً في أن تتبع الحقائق العملية
نتائج النظريات والآراء الموضوعية . لن يكون هناك وجود للعلم إذا لم نعتقد أننا
نستطيع اكتشاف الحقائق بواسطة نظرياتنا الموضوعية ، وإذا لم نكن نعتقد
في تركيب العالم على أساس دقيق منظم . وستظل هذه العقائد دائماً البواعث الأساسية
لجميع الاستحداثات العلمية . وفي جميع مجهوداتنا وكفاحنا بين الآراء القديمة

والحدیثة نلس الحاجة الملحة للفهم والإدراك العمیق لنظام العالم الدقیق ، هذا الإدراك الذی یزاد وثوقاً وقوة بما نقابله من الصعاب .

المفروض :

تدفعنا الحقائق العملیة الكثیرة فی عالم الظواهر الذریة مرة أخرى إلى وضع نظریات طبیعیة حدیثة . وتتمیز المادة بتركيب حیبی إذ تتركب من جسیات أولیة تسمى بالكلمات الأولية للعادة . أی أن الشحنة الكهربيائية تتمیز بتركيب حیبی وكذلك الطاقة أيضاً ، وذلك هو الأهم من وجهة نظر نظریة الكم . ویكون الضوء من كرات الطاقة المسماة بالفوتونات .

هل یكون الضوء من موجات أو من سیل من الفوتونات ؟ وهل یكون الشعاع الإلكترونی من سیل من الكهارب أم من موجات ؟ هذه هی الأسئلة التي فرضت علی علم طبیعة كنتیجة للتجارب العملیة . ولكی نحاول الإجابة علی هذه الأسئلة یجب أن نترك جانباً وصف الأحداث الذریة كحوادث فی المكان والزمان ، إذ یجب أن یزاد تحررنا من قیود النظریة المیکانیكية القدیمة ویضع علم طبیعة الكمی لنا قوانین تتحكم فی الجموع لا الأفراد . فنحن نتكلم عن الاحتمالات وعن القوانین التي تتحكم فی تغيرها مع الزمن بالنسبة لجموع كبیرة من الأفراد لا عن القوانین التي تصف حركة الأجسام الفردیة المستقبلة ، كما هی الحال فی قوانین المیکانیكا غیر الكمیة .

مطبعة الرسالة
شباب حمودة المتداول ٣ ما بين

Bibliotheca Alexandrina



0405929