أسطورة المادة

صورة المادة في الفيزياء الحديثة

تأليف : بول ديفيز

وجون جريبين

ترجمة : م. علي يوسف علي

الهيئة المصرية العامة للكتاب

هذه هي الترجمة العربية الكاملة لكتاب :

THE MATTERS MYTH

by

Paul Davies

John Gribbin

فهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة الطبعة العربية	٧
مقدمة	١١
الفصل الأول	
موت المادة	١٥
الفصل الثاني	
الهيولية وتحرر المادة	٣٢
الفصل الثالث	
الحاضر العجيب	٥٩
الفصل الرابع	
الكون على رحابته	٩٩
الفصل الخامس	
الثانية الأولى	١٢٢
الفصل السادس	
والأخيرة	١٥٠
الفصل السابع	
أعاجيب الكم	١٦٧
الفصل الثامن	
الشبكة الكونية	١٩٣
الفصل التاسع	
ما وراء المستقبل اللامتناهي	٢١٣
الفصل العاشر	
الكون الحي	٢٣٠
كشاف	٢٥١

مقدمة الطبعة العربية

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله ..

يهدف كتابنا الذى نقدمه للقارىء الكريم الى توضيح ما آل اليه العلم في ثوبه الحديث ، وكما يراه علماء القرن العشرين ، في مقابل ما تعارف عليه الناس طويلا فيما يتعلق بمفهوم العلم ومنهجه . كما ارخص له كوبرنيكس ، وأسسه جاليليو ، وصاغه نيوتن ، وسار على دربهم افذاذ من العلماء ، في شتى الفروع ، تعارفوا جميعا على الاستهداء بالمنطق البديهى كما يتصوره العقل البشرى ، كأداة لاستكشاف الحقيقة .

وللبشر عادة معروفة على مر الدهور ، هم تسميم ما يألفونه تحت شعار المنطق البديهى ، ورفض الأفكار المخالفة بدعوى « ما سمعنا بهذا في الملة الآخرة ، ان هذا الا اختلاق » ، يتساوى في هذا الاتهام أن تكون الفكرة رأيا اصلاحيا تجديديا ، أو احدى الغيبيات التى وردت فى كتاب الله الكريم ، أو نظرية علمية ثبت فيما بعد احترامها كالنظرية الكمية أو النظرية النسبية .

لقد تقدم ماكس بلانك بنظريته الكمية للجمعية العلمية ببرلين فى السابع عشر من ديسمبر عام ١٩٠٠ ، وقوبلت بالاستهجان والاعراض ، فانطوت في غياهب النسيان لخمس سنوات تالية ، ولم يشفع لها انها انجزت ما عجز عنه العلم بمنطقه البديهى آنذاك فى موضوع الاشعاع الحرارى . ولولا جسارة موظف مغمور فى مكتب تواريخ البراءات بيرن ، لظلت ضحية هذا الانكار لزمن يعلمه الله ! لقد تبنى آينشتين هذه الفكرة المغضوب عليها ، ليجعلها أساسا لتفسيره للظاهرة الكهروضوئية ، وقمط

في عام ١٩١٩ ، منح ماكس بلانك جائزة نوبل اعترافا بفضله في وضع نظرية اصبحت احد اساسين راسخين للعلم في القرن العشرين .

هذا عن الاعتراف بالنظرية الكمية . فماذا عن الأساس الثاني ، النظرية النسبية ؟ الاجابة ، لم تحظ بذلك الاعتراف من قبل مانحي الجائزة المذكورة . فمما يدعو للتأمل ، أن آينشتين حين منح جائزة نوبل عام ١٩٢١ ، كان بسبب تطبيقه للنظرية الكمية ، وليس عن وضعه للنظرية النسبية بشقيها الخاصة والعامة ، رغم ما تحقق لهما من نجاح عبر العالم آنذاك ، وهو انكار يحسب على مانحي الجائزة على مر التاريخ ، وليس على آينشتين وأعماله الخالدة بكل تاكيد .

بهذا القول اهدف الى التخفيف عن القارىء الكريم وقع ما سيعرضه الكتاب من افكار غريبة عن منطقنا المألوف . والى هذا هدف المؤلفان أيضا في الفصل الرابع ، والذي وضع لكي يساعد القارىء على تقبل انكار النظرية النسبية الغريبة . وهنا يقول المؤلفان نفس ما يقوله رجال الدين لمنكري الغيبيات ، ألا يتعجل المرء رفض فكرة لمجرد عدم تقبل عقله لها ، وهي نصيحة لا احسب من تعود التواضع أمام علم الله وقدرته بحاجة اليها . فاذا كان الكتاب في ذلك الملحق يستحث القارىء على أن يستخدم مخيلته كما يفعل في قراءة القصص الخيالية ليتقبل هذه الأفكار ، كخط رجعة ضد انكار افكار النسبية فيما جاءت به ، فان خط الرجعة عندي هو « **لو كان البحر مداد لكلمات ربي لنفد البحر قبل أن تنفد كلمات ربي ، ولو جئنا بمثله مددا** » صدق الله العظيم .

ان تصديقي لما جاء في كتاب الله من تغير الزمن بين نظام ونظام : بين « **كن فيكون** » و « **خالدين فيها أبدا** » ، و « **ان يوما عند ربك كالف سنة مما تعدون** » ، و « **في يوم كان مقداره خمسين الف سنة** » ، ولاسراء الرسول الكريم ومعراجه في ليلة واحدة ، لن يجعل عصيا علي أن أتقبل ما جاءت به النسبية من أن يوما في اطار مرجعي معين قد يساوي عدة قرون في اطار مرجعي آخر .

وينطبق نفس القول على ما جاءت به النظرية الكمية من افكار بشبه ما خطها بعضا من غيبيات الكتاب الكريم . من ذلك مثلا : « تعدد الأكوان، او وجود كائنات « شبحية » لا تدركها حواسنا أو « **انا آتيك به قبل ان يرتد اليك طرفك** » . في مقابل ما جاء من امكانية التنقل عبر الفضاء الكوني في لمح البصر (راجع الفصل «عجائب الكم») .

ولست اقول بذلك ان القرآن قد نبأ بالنظرية النسبية او الكمية ، كما يحلو لبعض السذج أن يفعل في مواطن كثيرة ، فشتان بين علم الله وعلم البشر ، وغيبيات الله سبحانه موكول اليه تاويلها-ولكن ما اقوله هو أن التواضع في نظرة الانسان لامكانات عقله في تمييز الخطأ من الصواب مطلوب ، بل ومفترض اساسي ، لتقبل الأفكار ، سواء أكانت اجتماعية أم دينية أم علمية .

والربط بين الفهم العلمي وبين افكار معنوية ليست بدعا من لدني، فالى هذا يهدف الكتاب الذي بين أيدينا صراحة ، ويهدف كتاب عل شاكلة « Beyond Science » للبروفيسور John Polkinghorne بصراحة أكثر . ولعل هذا المقتطف منه يوضح الفكرة : « ان الفيزياء قد علمتنا ان انجح النظريات هي التي يعبر عنها بأجمل المعادلات » . « ترايت كيف ان الجمال قد اصبح معيارا لتمحيص صحة النظريات العلمية ؟ هل كان متصورا في العلم بمفهومه الكلاسيكي ان يكون لمثل هذه المعنويات دور في البحث العلمي المجرد » .. ولكنه العلم في ثوبه الجديد .

واذا كان اللجوء لمعنى الجمال في تمحيص النظريات العلمية امرا مستغربا ، فما بالك أن يكون اساسا لوضع نظرية من النظريات أصلا . وأية نظرية ، النسبية العامة التي قد لا يغالي في القول بأن وضعها كان من أعظم الانجازات العلمية على مر التاريخ الانساني ؟ وفي هذا المعنى يقول الكتاب المذكور : « لقد تعلمنا درسا بليغا من بحث بول ديراك الدءوب عن المعادلات الجميلة ، ومن قبله الورت آينشتين في نظريته النسبية العامة » . ولو أتيح للقارىء الكريم الاطلاع على قصة حياة آينشتين كما كتبها مساعده ريتشارد هوفمان (تحت الطبع في الهيئة

الفيزيائية العامة للكتاب) . لوجد كيف ركز المؤلف على ان وضع هذه النظرية كان مبنيا ، وليس على اى شيء آخر ، على احساس آينشتين بوحدانية الله وجمال خلقه . مما دعاني الى ان اصف هذه النظرية في مقدمتي للكتاب المذكور بانها ، صورة فريدة من صور التسبيح بوحدانية الله » .

لقد نزع العلم عن نفسه ثوبا اثريا « تبيض الايام » ، ليستبدل به ثوبا فضفاضا يتسع لمعان مستقاة من رواقد أخرى للمعرفة الانسانية، معان تتسع للفكر والجدال ، وسبحان القائل « سنريهم آياتنا في الآفاق وفي انفسهم حتى يتبين لهم انه الحق » .. صدق الله العظيم .

مقـــــدمة

ان اضفاء صفة النظرية على العلم أصبح من التعبيرات الدارجة . ومع ذلك ، فحتى أولئك الذين ليست لهم الا علاقة سطحية بالعلوم يحسون بان هناك شيئا ثوريا حقيقيا يحدث في مضماره . ولسنا نشير بذلك الى ما يظهر من اختراعات بين الحين والآخر ، ولا الى ما نشهده من تقدم في مجالات التقنية مهما كان مذهلا ، رغم كون هذه وتلك تحمل صفة الثورية بكل معانيها . ذلك ان تحولا أعمق يجرى في أساس العلم ذاته ، في النظرة التي يرى بها العلماء العالم .

وقد ذهب الفيلسوف ، توماس كون Thomas Kohn » الى أن العلماء يبنون تصوراتهم عن الحقيقة بناء على ، نمط قياسي Paradigm » فكري . مثل هذا النمط ليس نظرية في حد ذاته ، ولكنه اطار للفكر ، أو ان شئت القول ، منهج لاستنباط المفاهيم ، يتشكل حوله تفسير مشاهدات وبيانات التجارب العلمية . هذا النمط القياسي يعتريه التغير بين الحين والآخر ، وحين يحدث ذلك ، لا تتغير النظريات فحسب ، ولكنها المفاهيم العلمية تتغير كذلك ، ومن ثم تتبدل نظرة العلماء للعالم . وهو ما نشهده الآن .

وما يتسع حاليا من قول بأننا وسط تحول في نمط التفكير العلمي لا يمثل سوى جزء من الحقيقة . فقد أدرك الكثيرون ان مفاهيم فريدة متحدية لادراكنا البشري طفت على السطح في السنوات الأخيرة . فما الثقوب السوداء ، والثقوب الدودية ، وخطوط الكم الشبحية ، والهيولية chaos ، والحواسب الذكية ، كمزيد لقليل من كثير ، سوى قمة لجبل

الجديد . ذلك أنه كلما اقتربنا من نهاية القرن العشرين ، زاد تحرر العلم من أغلال فكرية كبلته لقرون ثلاثة ، يطلق عليها « الميكانيكية » ، تعنى وببساطة شديدة تصوير الكون كآلة هائلة ، منضبطة فى كل أجزائها . تسير بلا انقطاع أو هدف . ويمكن أن تعود بأسس هذا النمط الفكرى لقدماء الاغريق ، الا أن جذوره الحديثة ترجع لاسحق نيوتن الذى صاغ قوانين الميكانيكا الشهيرة ، والتى بمقتضاها فتح الباب أمام الادعاء بأن كافة النظم الفيزيقية يمكن النظر اليها كجزء من النظام الميكانيكى . وهذا الزعم هو ما دخلنا به القرن العشرين .

الا أن الحركة تجاه « ما بعد المادية » كنمط فكرى مناسب للقرن التالى يتم على نطاق واسع : فى علم الكونيات ، وكيمياء الأنظمة ذاتية التنظيم ، والنظم البيولوجية ، وميكانيكا الكم ، وفيزياء الجسيمات ، ونظم المعلومات ، و (على شىء من التردد) المنطقة المشتركة بين البيولوجيا والفيزياء . فى كل تلك الفروع من العلم وجد العلماء أنه من المجدى ، بل ومن الضرورى ، أن ينظر للجزء من الكون الذى تبدد أبحاثهم نظرة جديدة تماما ، لا تحمل سوى النزر اليسير من التصور الميكانيكى للكون ذى الصفة المادية الصرف .

ولقد وصف الفيزيائى «جوزيف فورد» Joseph Ford المنطق الميكانيكى المادى بأنه أحد « الأساطير القاعدية » للعلم الكلاسيكى . والاسطورة بالطبع ليست تمثيلا حرفيا للحقيقة . فهل لنا أن نتصور على ذلك أن ما حدث من تقدم علمى على مدى القرون الثلاثة الماضية كان على أساس فهم خاطىء لحقيقة الطبيعة ؟ كلا ، فهذا سوء فهم لدور الأطر الفكرية . فالاطار الفكرى لا هو بالصحيح ولا بالخاطىء . انه ليس الا انعكاسا للتصور ، تصوير للحقيقة له وجاهته طبقا للظروف ، بالضبط كما الأسطورة ، تحمل بعضا من التصورات الزعمية التى لها فائدتها فى ظروف ما . ولقد لعب المنطق الميكانيكى دورا بلغ من النجاح درجة ولدت لدينا ميلا فطريا لاعطائه صفة الحقيقة القاطعة ، وليس تصويرا معينا لها . ولقد تعرف العلماء مدى محدودية هذا النمط الفكرى ، وأدركوا أنه يوجد الكثير خلاف الدروس والمجلات كمكونات لهذا العالم .

وفى هذا المؤلف نستكشف هذه التغيرات المثيرة والمتحدية ، ومدى ملاءمتها لنا ، وليس فقط للعلماء .

وفى سردنا للقصة ، علينا أن نسبر أغوارا عميقة فى العلم . ولكننا ألينا على أنفسنا أن نجعل الحديث فى أبسط صورة ممكنة له ، وعزفنا على وجه الخصوص عن الرياضيات كلية ، حتى ولو كانت بعض المفاهيم الفيزيقية لا تجد معنى حقيقيا لها الا فى نطاق التعبير عنها رياضيا . فهدفنا هو اعطاء لمحة عن الصورة التى تبزغ شيئا فشيئا عن الكون ، وهى صورة لا تزال تعذبنا بمراوغتها ، الا أنها تشدنا لما تحقق بالفعل من تقدم . وليس لدينا من شك فى أن الثورة التى قدر لنا أن نكون عليها شهودا محظوظين ، سوف تغير جذريا نظرة البشر للكون .

Paul Davies بول ديفيز

John Gribbin جون جريبن

فبراير ١٩٩١

الفصل الأول

موت المادة

نعلم من مشاهداتنا اليومية أن أشياء تقبل التغيير ، بينما أشياء أخرى ليست كذلك . كلنا نتقدم في العمر ، وقد نزداد حكمة ، ولكن « أنفسنا » التي اعتراها مثل هذه التغيرات هي لنفسها لم تتغير . ونشهد كل يوم الجديد من الحوادث ، ولكن الشمس والنجوم على طبيعتها الثابتة . فالى أي مدى تكون مثل هذه الأمور مجرد تصورات منا ، محدودة بحواسنا البشرية ؟

وقد اثار قدماء الاغريق جدلا واسعا حول طبيعة التغيير . فقد ذهب « هيرقليطس Heraclitus » الى أن كل شيء معرض للتغيير بصورة أو بأخرى ، بينما اتجه « بارمنيدس Parmenides » الى الرأي بأن الأشياء على ما هي عليه ، وليس لها ان تكون خلاف ذلك . وبالتالي لا يكون التغيير ملائما للوجود . فالحقيقة لا تكون كذلك الا في ثوب من الثبات .

وفي القرن الخامس قبل الميلاد عرض « ديموقريطس Dimocritus » مخرجا من هذه المشكلة . فقد افترض أن كل المواد مخلوقة من وحدات غاية في الضآلة لا تقبل التجزئة ، أسماها « ذرات atoms » . وهذه الذرات هي التي لا تقبل التغيير . فهي ذات مواصفات محددة كالشكل والحجم . الا أنها قد تنجول في الفراغ وتتحد سويا بطرائق مختلفة ، مما يجعل الأجسام المرئية تبدو في صور متباينة . وبذلك يمكن الجمع بين التصورين :

دوام التغير ودوام الثبات ، على اساس ان كل تغيير في العالم المرئي مبني على اعادة للترتيب للمكونات الثابتة . ومنذ ذلك الحين بدا اعتناق مذهب المادية materialism .

وكان على هذا المذهب ان يكافح ضد غيره من الافكار لعدة قرون خلت . كان تكون المواد حاوية على خواص سحرية او فعالة ، او انها تتمتع بقوى حيوية او غامضة . هذه الصور الغيبية اندحرت مع تقدم العلم في صورته الحديثة ، وتتمثل خطوة حاسمة في هذا المضمار في كتاب « المبادىء او البرنسيبيا Principia » لاسحاق نيوتن ، وهو الكتاب الذي حوى قوانين نيوتن الشهيرة للحركة . وكما ذهب ديموقريطس من قبله ، عامل نيوتن المادة كشيء خامد غير فعال . ففكرة « القصور inertia » تلعب دورا اساسيا في نظريته عن العالم . فلو وجدت مادة في حالة من السكون ، فهي ستظل كذلك للابد ، ما لم تؤثر عليها قوة من خارجها . وبالمثل ، لو كانت في حالة من الحركة ، فستظل في نفس الاتجاه ونفس السرعة ما لم تتعرض لقوة خارجية . وبمعنى آخر ، المادة في حالة من السلبية المطلقة .

وتعبر كلمات نيوتن نفسه عن كل ذلك . فالمادة تتكون من « جسيمات متكتلة (ذات كتلة) صلبة لا تقبل الاختراق ، قابلة للحركة » . وليس من فرق لديه بين الجسيمات المكونة للمادة وما تتكونه من مواد مرئية سوى قابلية الاختراق .

عصر الآلات :

تمسكت نظرة نيوتن للمادة كشيء خامد يتشكل بالقوى الخارجية في الفكر الغربي ، وقبلت كمبدأ اصولي في عصر الثورة الصناعية الذي تمخض عن ثروة وقوة هائلتين . ففي القرنين الثامن عشر والتاسع عشر طوعت اوربا وسخرت قوى الطبيعة لاغراضها الانتاجية . فمع البخار والصلب طهرت القاطرات والبواخر العملاقة ، وغيرها مما غير وجه البسيطة حرفيا وليس مجازا . ومرتبطة بذلك تولدت الحمية للتملك ، في صورة او اخرى .

وقيست الثروة بمكتنزات الاراضي او اطنان الفحم او الذهب او اية سلعة اخرى .

وكانت الثورة الصناعية عصر الثقة المفرطة ، اوج انتصار المادية . لم تكن ثقة المهندسين مبنية على مجرد النجاح بناء على التجربة والخطأ ، بل على كم من المعرفة والفهم للمبادىء التي تاسس عليها عصر الآلات . مبادىء وضعها نيوتن منذ قرنين من الزمان . وازدادت تبلورا على ايدي العديد ممن تلوه .

وفي عصر كتابة « البرنسيبيا » كانت اغلب الآلات المعقدة هي الساعات . فمنذ نظرته للعالم كساعة منضبطة وترا حساسا . فالساعة تمثل النظام ، والتناسق ، والدقة الرياضية . افكار توافقت جيدا مع الفكر الديني السائد . وولت ايام النظر للكون ككائن حي مزود بقوى سحرية . لقد اوجدت آلات نيوتن رباطا وثيقا بين السبب والنتيجة ، اذ يتطلب الحساب الميكانيكي ان تتحرك المادة بناء على قوانين رياضية قاطعة . ليس من مجال فيها لصفات غامضة ذاتية الفعالية . وفي الواقع مثلت السماوات ـ وهي التي ارتبطت على الدوام بمثل هذه القوى السحرية ـ حين اخضعت تماما لقوانين نيوتن قمة انتصار آرائه . فبربط الجاذبية بقوانينه للحركة امكن له ان يعطي تبريرا مقنعا لحركة القمر ومسارات الكواكب والمذنبات .

وليس لنا ان نقلل من أثر هذا التصور على تشكيل النظرة للعالم . فمذهب الكون المخلوق من مواد خامدة مرتبطة بآلة هائلة منضبطة كالساعات تغلغلت في كافة فروع المعرفة . فهي قد تسودت البيولوجيا مثلا . فنظرت للوحدات الأولية الحية كمجرد تجمعات معقدة من الذرات تخضع بصورة صماء للجذب والدفع من جيرانها . وقد أطلق « ريتشارد داوكنز Ritchard Dawkins » الفارس المتوهج للبيولوجيا المادية ، على الانسان (وغيره من المخلوقات الحية) « الآلات الجينية » . وعلى ذلك عوملت الكائنات الحية كآلات ذاتية الحركة . بل اخترقت هذه الأفكار مجال العلوم النفسية ، فذهبت المدرسة السلوكية الى معاملة كافة الأنشطة الفردية على

غرار النموذج الديناميكي لنيوتن ، يلعب فيه العقل دورا سلبيا ، وتترتب الاستجابة السلوكية بصورة آلية على القوى والمؤثرات الخارجية .

ليس من شك أن نظرة نيوتن الآلية كان لها فضل كبير على تقدم العلم بتقديم منهج فكر أمكن من خلاله دراسة العديد من الظواهر . ولكن ليس من شك أيضا في أنها ساهمت بقدر كبير في ابعاد البشر عن الكون الذي يقطنونه . وقد كتب « دونالد ماكاي Donald Mackay » وهو خبير في عمل العقل كنظام للاتصالات ، عن « مرض العقلية الميكانة » ، مبينا أنه « توجد نزعة متزايدة في عصرنا الحالي عند البحث عن تفسير ما أن نتصور كل موقف على أساس المقارنة بالآلة » . وحين تمتد هذه النزعة الى مجالات انسانية ، كالسياسة والاقتصاد ، فان ذلك يؤدي الى اللاأخلاقية واللاشخصانية ، يشعر معها الناس بانعدام الحيلة ، لكونهم مجرد تروس في الآلة الهائلة التي تدور غير عابئة بمشاعرهم أو افعالهم . ولقد عزف الناس عن النظرة العلمية لكونها نظرة مادية وفلسفة جرداء ، تهبط بالانسان الى الآلية ولا تدع مجالا للابداع والخلق . ولمثل هؤلاء فبشرهم ، لقد ماتت المادية .

فيزياء جديدة لنظام اجتماعي جديد :

من الملائم أن نشبه الفيزياء ــ وهي العلم الذي أبدع المادية ــ أيضا نهايتها . وخلال هذا القرن تسمت الفيزياء الحديثة في تطورات مذهلة أسس المذهب المادي. فاولا كانت النظرية النسبية،التي هدمت فكرة نيوتن عن الفراغ والزمن بافتراضات تصف بالاحساس الفطري بالعالم، فنفس الحالة التي كانت تدور فيها الساعة الكونية الهائلة تعرضت للتزحزح والالتواء . ثم من بعدها أتت النظرية الكمية ، والتي غيرت من تصورنا للمادة تغييرا جذريا ، وهجر افتراض أن الجسيمات الأولية ما هي الا صورة من الأجسام الرئية لكن بمقياس أصغر ، واستبدلت بآلة نيوتن المنضبطة خليطا مبهما ملغزا من الموجات والجسيمات، تلعب فيه القوانين الاحتمالية دورا حاسما ، كبديل للقواعد السببية القاطعة . والمذهب نظرية هي امتداد للنظرية الكمية ، وهي « النظرية المجالية الكمية quantum field theory »

لما هو ابعد من ذلك . فترسم صورة تختفي منها المادة الصماء ، وتبدل الى نهيج وتذبذب غريبين ، للطاقة المجالية « field energy » . وتبعا لتلك النظرية ، لم يتبق الا القليل من التفرقة بين جوهر المادة والفراغ الخالي ظاهريا والمحيط بها ، والذي هو ذاته مجال لنهيج حامي الوطيس للنشاط الكمي . وتصل هذه الأفكار ذروتها فيما يسمى بنظرية « الأوتار الفائقة superstrings » ، والتي تهدف الى توحيد الفراغ والزمن والمادة ، والى مناء كل منها من ذبذبات حلقات دون مجهرية من أوتار غير مرئية ، تقبع في كون تخيل من عشرة أبعاد .

وتحط فيزياء الكم من المادية لكونها تبين ان المادة لها جوهر اقل ماشر مما كنا نعتقد . ولكن تطورا يذهب الى ابعد من ذلك بهدم صورة نيوتن للمادة ككتلة خاملة . هذا التطور هو « نظرية الهيولية (*) theory of chaos » والتي نالت مؤخرا قدرا كبيرا من الاهتمام. والهيولية هي في الواقع جزء من ثورة حاصلة في طريقة رؤية العلماء الآن للنظم الديناميكية . ولقد اتضح ان ما يسمى بـ « التأثيرات غير الخطية non-linear effects » تجعل المادة تتصرف تصرفات غاية في الغرابة، كان تكون ذاتية التنظيم ، وخلاقة للهياكل والنماذج بصورة تلقائية . والهيولية من هذا التطور هي حالة من ذلك ، تحدث في النظم غير الخطية التي تصبح غير مستقرة وتتغير كيفما اتفق بصورة غير قابلة للتنبؤ تماما . وبذلك تتبخر الساعة الكونية المنضبطة لتفسح المجال لعالم ذي مستقبل مفتوح ، تتحرر المادة فيه من قيود تكتلها وتكتسب عنصرا خلاقا .

وسوف نمحص في الفصول القادمة كل هذه التطورات التي تأخذ بالالباب . ونتعرف على العالم الذي يتمخض عنها. وسوف نرى أن المادة قد انزلت من موضعها المركزي لتحل محلها مفاهيم مثل التنظيم،التعقيد، والمعلوماتية . ويقوم ذلك بالفعل باعادة تشكيل اولوياتنا الاجتماعية . خذ مثلا « ثورة تكنولوجيا المعلومات » ، حيث يتوقع أن يكون المستقبل للشركات القادرة على حيازة قصب السبق في المعلومات والاستراتيجيات التنظيمية ، على حساب الثروة المادية التي كانت عماد الثروة الصناعية الأولى . وعلى حد تعبير الكاتب جورج جيلدر :

(*) في بعض المراجع يشار لها بنظرية الفوضى .

« ان الأمم والمؤسسات الصاعدة اليوم هي المسيطرة ليس على الأراضي والمصادر المادية ، ولكن على الأفكار والتكنولوجيات ... فالشبكة العالمية للاتصالات يمكنها أن تحمل بضائع أكثر قيمة مما تحمله البواخر العملاقة ، وسوف تأتي الثروة ليس لمستغل العبيد ، ولكن لمطلقي الطاقة الخلاقة للانسان ، ليس لغزاة الأراضي ولكن لمجري العقول » .

ويستطرد جيلدر : « وفي هذا التخلي عن المادية ستتفوق قدرة العقل في كل مكان على القدرة الغاشمة للأشياء ، محولة عالما ماديا مكونا من أجسام صماء خامدة الى مجال ثري بومضات مشرقة من الطاقة المعلوماتية » .

وليس من دولة تواجه مثل هذا التحدي مثل استراليا . فعلى مدى تاريخها كان اقتصادها منحصرا في صادرات مثل الفحم والبوداليوم والصوف ، ولأسباب تاريخية واقتصادية لم تحظ بتطور تصنيعي ، حيث انها لم تلحق بالثورة الصناعية التي شكلت مجتمعات كالولايات المتحدة واليابان وأوربا . وعلى ضوء تفكير مستنير ، اتخذت الحكومة قرارا غير عادي ، أن تقفز فوق مرحلة الثورة الصناعية ، وأن تقتحم سوق الأفكار والمعلومات والتعليم . وقد أعلن رئيس وزرائها أن على استراليا ألا تقنع بكونها « الدولة المحظوظة » ، بل أن تتحول الى « الدولة الماهرة » .

وتتمثل النتيجة الملموسة حتى الآن لهذا القرار في خطة لانشاء طراز جديد من المدن ، يعرف باسم « مدينة الأنشطة المتعددة multifunction Police (MFP) » مقرها أديليد Adelaide . وفي هذه سوف تنشأ معاهد للأبحاث ، وتصمم نظم للبيئة على أسس علمية ، وتقدم التسهيلات الصحية والترفيهية المتطورة . وستصمم المدينة على مفهوم الشبكات ، بمعنى أنها ستتكون على هيئة قرى مستقلة مترابطة بشبكات اتصالات على أعلى مستوى تكنولوجي من السرعة والكفاءة . كما ستربط المدينة بغيرها من مدن الدولة ، وشبكيا فشبكيا مع مدن العالم بما ينتهي بكسر العزلة الجغرافية لاستراليا .

ولعل أكثر العناصر حيالا في المشروع هو الاعتراف بأن التعليم والأبحاث العلمية هي مصادر للثروة عالية القيمة، يمكن تسويقها كأية سلعة أخرى. ومن خلال الشبكة العالمية يمكن أن تلقى المحاضرات لبلدان العالم الثالث ، ويمكن أن تجرى العمليات الجراحية في جانب ما من العالم وتراقب من الجانب الآخر . ولتنفيذ ذلك سوف تنشأ في المدينة المذكورة « جامعة عالمية » تربط مع الجامعات المحلية والعالمية . وبمعنى آخر تطوير للجامعة المفتوحة التي ارتادت بها بريطانيا هذه الفكرة ولكن على مستوى عالمي باستغلال التطور التكنولوجي في الاتصالات .

وهذه الخطط المستقبلية لاستراليا ستصبح نماذج تعمم على مستوى العالم ، تتضاءل معها قيمة السلع المادية لتتزايد قيم السلع الذهنية من افكار ومعلومات . ومع مركز النظام الاجتماعي الجديد ليس على مفهوم الساعة الكونية النيوتونية ، بل على صورة الشبكات لعالم ما بعد نيوتن . ذلك اننا نعيش في شبكة كونية ، وليس ساعة كونية ، شبكة من القوى والمجالات ، ومن ترابطات كمية ، ومن مادة خلاقة غير خطية الخواص .

طبيعة الحقيقة العلمية :

في تخلينا عن النظرة القديمة للعالم ، فان تغييرا حاسما في نمط التفكير يغير مفهومنا للحقيقة ، والتي كانت تبنى على أساس فهم فطري للسببية . فبينما كانت الصورة النيوتونية للحقيقة على أساس الادراك الانساني الفطري مفيدة في عهد ما ، فانه في عالم التجريد الفيزيائي العجيب ليس لدينا من وسيلة سوى المعادلات الرياضية المعقدة لتفهم الطبيعة . وفي تخلينا عن المفهوم النيوتوني المادي علينا تقبل أن الأشياء في نماذجنا النظرية وكيونات العالم الخارجي تحمل علاقات أكثر خفاء مما افترضناه حتى الآن . بل انه في الواقع ، ان ما تعنيه أصلا بالحقيقة والواقعية يجب أن يعاد تشكيلهما .

ورغم أننا نعيش فيما يسمى بعصر العلم ، فان العلم وحده ليس النظام الوحيد للفكر الذي يثير انتباهنا . فالعديد من الديانات والفلسفات

تدعي أنها تقدم نظرات من العالم أكثر غنى وشمولية . فالقضية بالنسبة للعلم ترتكز على ادعاء أنه يتعامل مع الواقع . فمهما كانت النظرية العلمية جميلة الصياغة ، ومهما كان حظ واضعها من الشهرة ، فهي لن تكون مقبولة ، ما لم تعززها نتائج التجارب .

ان النظرة للعلم كأساس خالص وموضوعي لاستجلاء الحقيقة من معايشة العالم الواقعي هي نظرة مثالية ، فالواقع يبين أن الحقيقة العلمية كثيرا ما تكون أكثر خفاء ومشاكسة .

في قلب الطريقة العلمية تكمن صياغة النظريات . وهي أساسا محاولة للحقيقة ، أو جزء منها . ويهتم قدر كبير من مفردات العلم بالنماذج أكثر من الحقيقة . فعلى سبيل المثال ، يستخدم العلماء غالبا كلمة « اكتشاف » للاشارة الى تقسيم علمي خالص . وعلى ذلك فاننا نسمع أن « ستيفن هوكنج » قد « اكتشف » الثقوب السوداء . هذا القول يثير حقيقة لتحليل رياضي ، فلم يتمكن أحد للآن من رؤية مثل هذه الأجرام ، أو حتى استشعار أية انبعاثات حرارية منها .

ان العلاقة بين النمذجة العلمية والواقع الذي تدعي أنها تعبر عنه لتثير قضية أعمق . ولتوضيح المشكلة ، سنبدأ بشيء مباشر للغاية ، في القرنين السادس عشر والسابع عشر قلب أعمال كوبرنيكس وكبلر وجاليليو وليوتن معتقدات دينية سادت لقرون عن مركز الأرض بالنسبة للكون . وقد قدم جاليليو للمحاكمة أمام الكنيسة لموافقته لكوبرنيكس في دوران الأرض حول الشمس ، الأمر الذي يتعارض مع نظرة الانجيل للفلك التي تجعل من الأرض مركزا للكون .

والحقيقة المثيرة للدهشة أن السلطات الكنسية لم تعترض على مفهوم حركة الأرض حينما استخدم كنموذج لحساب حركة الأجرام السماوية . والذي أثار اعتراضهم هو الاعتقاد بأنها تتحرك حقيقة . ولكن هذا يثير سؤالا مهما ، متى يعتبر النموذج مجرد أداة حسابية ، ومتى يعتبر وصفا للحقيقة ؟

لقد بدأ العلم كامتداد للمنطق الفطري يعدل منه ويبسطه بدرجة أكبر . وعلى ذلك فحينما بدأ العلماء في وضع النظريات فانهم غالبا ما يأخذون العالم بحقيقته السطحية . ولذا فحينما بدأ الفلكيون الأقدمون في معالجة موضوع حركة الأجرام السماوية ، قاموا بوضع نموذج للكون جعل الأرض فيه مركزا لكرات متحركة تحمل الشمس والقمر والنجوم والكواكب . وبزيادة الدقة في الملاحظة كان من اللازم تعديل النموذج لتشمل المزيد من الكرات . والكرات المتداخلة . وازداد النموذج تعقدا . وحين وضع كوبرنيكس الشمس في المركز ، تبسط النموذج بصورة جذرية .

واليوم ، لا يشك عالم في كون الشمس مركز المجموعة الشمسية . وان الأرض هي التي تدور وليست السماء . ولكن هل يؤسس هذا حقا على مجرد أن نموذج الشمس المتمركزة أبسط من الأرض المتمركزة ؟ أم أن المسألة أعمق من ذلك ؟

ان النظريات العلمية يفترض أن تكون مجرد تصوير للحقيقة . وليست هي الحقيقة ذاتها . ولقد بدا من الواضح أنه مهما حاولنا من تعديل لنموذج الدوائر المتداخلة ليكون أكثر دقة في حساب مواضع الأجرام السماوية ، فسيظل هناك خطأ بمعنى أو بآخر . والمشكلة كيف يتسنى لنا أن نعرف أن وصفنا اليوم للنظام الشمسي صحيح ؟ مهما كانت درجة تأكدنا من الصورة الحالية ، فليس لنا أن نستبعد كلية أن صورة أكثر دقة قد تكتشف في المستقبل . وطالما أن النماذج العلمية مرتبطة برباط قوي بالتجارب ، حيث يكون المنطق البديهي مرشدا يعول عليه . فنحن نشعر بثقة في قدرتنا على التمييز بين النموذج والحقيقة . ولكن هذا ليس ميسرا في بعض فروع الفيزياء . فمفهوم الطاقة مثلا مألوف لنا اليوم ، ولكنه كان قد أدخل في الأصل ككمية رياضية بحتة لتيسير وصف بعض عمليات الديناميكا الحرارية . ونحن لا نرى مثل هذه الطاقة . ولكنا نتقبل وجودها لكوننا قد تعودنا على استخدام هذا المصطلح .

والوضع أسوء في الفيزياء الحديثة ، حيث أحيانا ما تتميع الحدود بين النموذج والحقيقة بدرجة تدعو للياس - ففي نظرية المجال الكمي على سبيل المثال ، غالبا ما يشير العلماء لكينونات مجردة مثل الجسيمات « التقديرية » ، هذه الأشياء اللحظية الوجود تتخلق من لا شيء ، وغالبا ما تتلاشى في لمح البصر - وعلى الرغم من امكانية رصد اثر وجودها العابر على المادة العادية ، الا أنها هي ذاتها غير قابلة للرؤية - فال اى مدى يمكننا القطع بوجودها حقيقة ؟ هل الجسيمات التقديرية هي مجرد وسيلة تساعد المنظرين على وصف عمليات يستحيل وصفها بمسميات الأشياء المألوفة ، أم أنها ـ كالدوائر المتداخلة ـ جزء أساسي من نموذج سيتكشف خطؤه في المستقبل ، ويستبدل به ما هو أحدث ؟

ما الحقيقة ؟

بصفة عامة ، كلما ابتعد العلم عن المنطق البديهي ، صعب التمييز بين النموذج وما يفترض احتواءه وصفا أمينا للعالم الواقعي - فمن الغرائب المرتبطة بالجسيمات الأولية ما تحمله من كتل - البروتون مثلا كتلته اثقل من الالكترون بمقدار ١٨٣٦ مرة ، لماذا هذه النسبة بالتحديد ؟ لا أحد يعلم - ويضم الحصر الكامل مئات من مثل هذه الأرقام - ورغم أنه يمكن استشفاف شيء من التسلسل المنتظم ، الا أن القيم الدقيقة لتلك الأرقام تظل أمرا عجيبا -

وليس من المستبعد أن يخترع شخص ما آلة موسيقية تعزف على نوتة ينفس هذه الأرقام ، ووقتها سنقول ان تلك الآلة هي نموذج لكتل الجسيمات ، ولكن هل يمكن لأحد أن يقول ان هذه الكتل هي حقا نوتة في نظام موسيقي مجرد ؟ تبدو الفكرة بلهاء ، ولكن حذار ، فقد سبق القول بأن الفيزيائيين مهتمون حاليا بنظرية الأوتار الفائقة ، والتي تدعي أن ما نخيلناه دائما على أنه جسيمات دون الذرية ما هي الا استنارة ، أو تذبذب ، لحلقات من أوتار صغيرة ! وعلى ذلك ففكرة الآلة ليست مجنونة تماما في نهاية الأمر - وفي المقابل ، ليس لنا أن نرى تلك الأوتار لضآلتها البالغة ، فهل لنا أن نعتبرها موجودة حقيقة ، أم مجرد تكوين نظري ؟

واذا كان لنا أن نستعرض التاريخ ، فان للطبيعة عادة سيئة في مفاجأتنا حول ما هو حقيقي وما هو من صنع خيالنا - وليست الحركة الظاهرية للنجوم سوى واحدة من قائمة طويلة لحالات تضليل العلماء حين يأخذون الطبيعة بصورتها السطحية -

واليك امثلة اخرى من البيولوجيا - فالجسيمات البيولوجية لها من الخواص الواضحة ما يجعلنا نتصور أنها مطعمة بقوى خاصة - وهذه النظرية تسمى نظرية المذهب الحيوي vitalism - وكان له شيوع في مطلع هذا القرن - فقد كان هانز دريش Hans Dreisch مقتنعا بالطريقة التي يتطور بها الجنين من بويضة ملقحة الى مخلوق كامل الأعضاء - وما شد انتباهه بصورة خاصة مقدرة بعض الأجنة على مقاومة ما قد تتعرض له من فساد ، وبدا له أنها تحت رقابة من قوة خفية تقود خطواتها، اسماها entelechy (١) -

وقد هجر المذهب الحيوي اليوم بعد ما تم من دراسات متقدمة لبيولوجيا الجزيئية ، كاكتشاف حمض الـ D.N.A والتعرف على الشفرة الجينية ، حيث اتضح أن الحياة مؤسسة على تفاعلات كيميائية لا تختلف من تلك التي تجرى بين المواد الخامدة - وقد اتضح ما وقع فيه دريش وأمثاله من تضليل نتيجة عدم فهمهم لكيفية امكان عدد ضخم من الجزيئات ان تعمل معا بصورة تأخذ شكل التعاون المشترك دون حاجة لخطة مسبقة تفرض عليها -

وتاريخ نظرية التطور مليء بمثل هذه الزلات - خذ مثلا كيف كانت وجهة نظر لامارك منطقية في نظريته للنشوء والارتقاء ، ويقتضاها تكسح الكائنات لبلوغ هدف تصبو اليه ، الأسود تحاول زيادة سرعة عدوها ، لتلحق بفرائسها ، والزراف يحاول اطالة رقبته للوصول الى أوراق شجر اعلى ، وهكذا - مثل هذه المحاولات لها تأثير على النسل ، بحيث يكون الجيل التالي من الأسود أسرع بدرجة بسيطة ، ومن الزراف أطول أعناقا بقدر ما - ويكون ابن الحداد ، بناء على هذه النظرية ،

مولودا بعضلة ساعد اقوى ، حيث ان اباه قد استعملها بدرجة اكبر طوال حياته . وبهذه النظرية تزداد المخلوقات تكيفا مع بيئتها .

ولهذه النظرية وجاهتها بناء على ما نشاهده . فالمخلوقات تكدح بالفعل للوصول لأغراضها ، والحفريات تبين أنها تزداد تكيفا مع ظروفها البيئية الخاصة مع تطور الأجيال . ولكن النظرية خاطئة ، اذ بينت التجارب أن مثل هذه الصفات لا تورث . بل ان التغيرات بين الأجيال ، وكما بين داروين بحق ، تتم عشوائيا ، ويقوم الانتخاب الطبيعي باستبقاء الأصلح منها . وبذلك يكون التطور في الطبيعة .

ويعتقد الفيلسوف توماس كون أن العلماء يتمسكون بنظمهم الفكرية بشدة . فلا يبدلونه الا حين تظهر دلائل قاطعة على فساده . ومثل هذا التمسك يشكل أسلوبهم في وضع نظرياتهم . وله تأثير قوي على طريقة استخلاصهم للنتائج . واذا كان التجريبيون يفحصون موضوعيتهم ، الا انه مع الوقت يأخذون في تكييف بياناتهم عن غير وعي لتوائم افكارهم المسبقة . واحيانا تجري أكثر من تجربة ، ويستنتج منها نفس النتيجة الخاطئة ، لأنها النتيجة المتفقة مع ما كان متوقعا .

وقنوات المريخ مثال لذلك . فما أن أعلن G. V. Schiaparelli عن رصده لها عام ١٨٧٧ ، حتى أكد عدد من الفلكيين وجودها ، بل ووضعت لها خرائط تفصيلية . ولكن مركبة الفضاء مارينر ٤ لم تظهر اي وجود لمثل هذه « القنوات » .

او خذ مثال نظرية « الفلوجستون phlogiston » (٢) في الاحتراق . ففي القرن السابع عشر اقترح جورج ارنست شتال George Earnst Stahl انه عندما تحترق مادة او تصدأ ، فانها تعطي مادة أعطاها ذلك الاسم . وكانت الفكرة بادية الوجاهة ، فالمواد المحترقة او الصدئة تبدو أنها تعطي بالفعل شيئا ما . ولكن مرة اخرى يتبين خطأ هذا الرأي . اذ بينت التجارب التالية أن تلك المواد تأخذ من الهواء شيئا ما . ألا وهو الأكسوجين .

وما هذه الا امثلة تبين كيف ان العلماء قد يرون امورا على غير حقيقتها . وفي أحايين أخرى يفشلون في رؤية ما هو موجود . فوجود الشهب ظل امرا مشكوكا فيه لقرون ، اذ كان ضربا من الخطل ان يظن ان السماء تمطر صخورا . ولكن حالة من هذه اجبرت الجمعية العلمية الفرنسية على تغيير موقفها ، ثم تلتها بقية الجمعيات .

ما وراء المنطق البديهي ؟

حين يحدث تحول في منهج التفكير ، فغالبا ما يكون ذلك مصحوبا بخلافات حادة . ومثال على ذلك ، الأثير ، . فقد بين ماكسويل James Clerk Maxwell ، ان الضوء ما هو الا موجات كهرومغناطيسية . وكان من المنطقي ان هذه الموجات محتاجة لوسط لتنتشر فيه . فمن البديهيات أن الموجات تنتشر خلال شيء ما . فالموجات الصوتية تنتشر خلال الهواء ، وأمواج البحر تنتشر خلال الماء . ولما كان الضوء يصلنا من الشمس وغيرها من النجوم فيما يبدا فراغا ، كان لابد من تصور مادة غير مرئية او محسوسة تملأ هذا الفراغ ، وتنتقل خلالها موجات الضوء .

وبلغ من ثقة العلماء بوجود هذه المادة ان اجريت التجارب لقياس سرعة الأرض بالنسبة لها . ولكن هيهات ، فقد بينت التجارب بصورة قاطعة ان الأثير ليس له وجود . وأثارت هذه النتيجة جدلا واسعا ، الى ان كان المخرج من المحنة عام ١٩٠٥ ، من خلال تغيير في منهج التفكير . فبالنظر للزمان والمكان كأشياء مرنة تتغير بحسب اطار الاسناد ، تمكن أينشتين من بيان ان نظريته النسبية تجعل من الأثير افتراضا لا داعي له . وبدلا منه عومل الضوء كاضطرابات على شكل موجات في مجال كهرومغناطيسي مستقل الوجود ، يتحول من اطار اسناد للآخر بصورة تجعل حركة الأرض خارجة عن الموضوع .

أما بالنسبة لأهل القرن الماضي ، فقد كان الأثير حقيقة موجودة . بل ان بعض الناس (ليس منهم الفيزيائيون بالطبع) ما زالوا متمسكين بالفكرة . فكثيرا ما نسمع أن موجات الاذاعة تنتقل « عبر الأثير » . ولكن

على سبيل التجاور اللغوى . والسؤال هنا ، كيف لنا أن نتأكد من عدم وجود الأثير ؟ فأولا وأخيرا ، المجال الكهرومغناطيسى هو أيضا كينونة مجردة غير قابلة للرؤية المباشرة . يمكن للمرء مرة أخرى أن يقول ان نظرية النسبية أبسط من غيرها ، ولكن بينما حالة الأرض فى دورانها حول الشمس واضحة ، فان حقيقة وجود الأثير ، أو المجال الكهرومغناطيسى، أو عدم وجود شىء منهما ، يظل أمرا أكثر غموضا .

وقد يبلغ التمسك بالمنطق البديهى درجة المجادلة حتى فى أكثر افكار العلم الحديث رسوخا . فحتى بعد ما يقرب من قرن من الاختبارات الجادة لنظرية النسبية ، لا تفتأ بعض المجلات العلمية تنشر بحوثا لأفراد (لعلهم ممن ليس له وزن علمى يذكر) يدعون وجود ثغرات فى النظرية النسبية ، محاولين ارجاعنا الى عهد الزمان والمكان المطلقين . والأساس المعتاد لمثل هذه الهجمات هو ان العالم لا يمكن أن يكون حقيقة على الصورة التى ادعاها آينشتين ، وان نظرية تتعامل مع الحقيقة يجب أن تكون مفهومة ببساطة فلا تلجأ الى نماذج مجردة .

على أن المصاعب الخاصة بالعلاقة بين النماذج المجردة والواقع لا يجب أن تقلل من كون العلم يتعامل مع الحقيقة ، فمن الواضح أن النظريات العلمية ـ حتى فى أكثر صورها تجريدا ـ تحتوى على بعض عناصر الواقع ، ولكن السؤال هو ما اذا كان بمقدورنا أن ندعى أن العلم يعبر عن الحقيقة الكاملة . هناك بالطبع علماء ينكرون أن العلم قد ادعى من قبل مثل هذا الادعاء المتبجح . فالعالم قد يفلح بدرجة كبيرة فى وصف الالكترون مثلا ، ولكنه محدود القدرة حين يتحدث عن شىء كالحب ، والمثاليات ، أو معنى الحياة . مثل هذه المعايشات هى جزء من الحقيقة ، ولكن يبدو أنها خارج مجال العلم .

ولعل هذا القصور من جانب العلم قد تسبب فى الهجمة المضادة للعلم التى نشاهدها حاليا فى العالم الغربى ، والخطر أن العلم سوف

يخلى عنه لحساب نظم من التفكير مبنية على الغيبيات لا الوقائع . والأسوأ من ذلك أن يتمسك بالعلم ، ولكن لتسخيره لأفكار عقيدية ، فنسمع عن « العلم الاسلامى » أو « العلم الآتوى » . فلا يوجد بالطبع سوى علم واحد ، وهو يتعامل مع الحقائق وليس مع العقائد . والشىء المهم هو تقدير أن هذه الحقائق قد تكون محدودة ، أو قد تفشل فى شفاء غليل البعض لفهم الحقيقة المطلقة .

وقد يتساءل المرء اذا كان العلم سيظل محدود القدرة فى هذا المضمار . هل من الممكن أن نتصور العلم قادرا فى المستقبل على الاجابة على الأسئلة الفاصلة ، والتعامل مع الحقيقة المطلقة ؟ يبدو أن الاجابة هى بالنفى ، حيث ان العلم يحتوى بداخله تعبيرا عن تصوره .

فى الثلاثينيات ، كان الفيزيقيون تحت تأثير قوى لحركة تسمى « الوضعية » positivism ، تنشد البحث عن جذور الحقيقة فيما يمكن مشاهدته فقط . وقد ذهب مؤسسو ميكانيكا الكم ، خاصة نيلز بوهر Neils Bohr وفيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg الى أننا حين نتحدث عن الذرة والالكترون وغيرهما ، لا يجب أن نسقط فى زلة تصورها كمجرد أشياء صغيرة تعيش على استقلال حياتها الخاصة . فميكانيكا الكم تمكننا من ربط مشاهدات مختلفة على الذرة مثلا ، ويجب اعتبار النظرية على أنها اجراء لربط هذه المشاهدات فى نوع من النظام المنطقى المستقر ـ خوارزم (٣) algorithm رياضى ، واستخدام كلمة « ذرة » ما هو الا طريقة غير رسمية للحديث عن هذا الخوارزم ، أو وسيلة معاونة لتدبيج هذا المعنى المجرد فى اللغة الفيزيقية ، ولكنها لا تعنى أنه توجد « كينونة » معروفة تعريفا دقيقا وذات خصائص محددة تحديدا قاطعا من موضع وسرعة .

وتعبر كلمات هايزنبرج عن هذا المعنى : « فى التجارب المتعلقة بالأحداث الذرية علينا أن نتعامل مع أشياء وحقائق ، ومع ظواهر واقعية شأنها فى ذلك شأن أية ظواهر فى حياتنا اليومية . ولكن الذرات أو الجسيمات الأولية ذاتها ليست بنفس هذه الواقعية ، فهى تكون عالما

من الاحتمالات والامكانات وليس من الأشياء والحقائق » . كما يعبر بوهر عن ذلك بقوله : « ليست الفيزياء متعلقة بماهية الأشياء . ولكن بما يمكن أن نقوله عنها » . فبالنسبة لهؤلاء الفيزيائيين لم تتجاوز الحقيقة حقائق التجارب . فالنتائج تظهر على أجهزة مرئية ، أما مصطلح « ذرة » فلم يعد إلا شيفرة لنموذج رياضي ، ليس مقصودا منه التعبير عن جزء مستقل من الواقع .

ولم يكن كل الفيزيائيين مستعدين لتقبل هذا الوضع فأينشتين على سبيل المثال عارضه بشدة ، مصرا على أن عالم الكم المجهري يحتوي على أشياء مثل الذرات لها حقيقتها الكاملة . كالكرسي والمائدة . والفرق من وجهة نظره هو مجرد قياس الابعاد . كما يتمسك داڤيد بوم David Bohm بنفس المنطق ، ذاهبا الى أنه توجد حقائق كاملة في العالم الكمي المجهري ، وحتى وان كانت مشاهداتنا قاصرة عن إبصاره بصورة تامة .

هذا الانقسام العميق بين العلماء حول طبيعة الحقيقة يظهر مدى التردد في القول بأن العلم يتحدث عن الحقيقة الكاملة . فميكانيكا الكم يبدو أنها تضع حدا مناسبا للعلم فيما يمكنه أن يخبر عن العالم ، وتجعل من الأشياء التي تعودنا على اعتبارها حقيقة مجرد كينونات للنمذجة .

وعلى الرغم من الدعم الهائل الذي تلقته فلسفة هايزنبرج وبوهر ، فان الرغبة في التساؤل عما يكونه العالم حقيقة ما تزال جياشة . هل الذرة موجودة حقا ؟ هل الأثير موجود حقيقة ؟ يبدو أن الاجابة هي « ربما » و « ربما لا » على الترتيب . ولكن العلم ليس قادرا بالقوة على اختيارنا .

وفي مواجهة هذا القصور قد يحلو للبعض أن يتخلى عن العلم وبالجا للدين ، أو يعتنق نظاما من النظم الشاذة التي نشاهدها في أيامنا هذه . ولكن هذا سيكون خطأ جسيما . فمن المؤكد أنه من الأفضل لنا نظام فكري يضع لنفسه حدودا غير متساهلة بالنسبة للموضوعية والتشكك ، حتى

وان كان لا يعبر عن جزء من الحقيقة ، عن اعتناق عقائد عن غير تبصر . وليس معنى ذلك ان الدين ليس له دور . طالما كان متعلقا بالمسائل الخارجة عن نطاق العلم الرسمي (٤) . وبالنسبة لكثير من الناس فهذه المسائل هي الأكثر أهمية .

ويكفي هذا عن القصور في العلم ، فبعد أن عرضنا بأمانة ما لا يمكن العلم أن يخبر عنه من الكون ، نبدأ من الآن في الحديث عما يمكن للعلم أن يقوله عن العالم الذي نعيش فيه ، والواقعية الجديدة التي تتمخض عن الفهم الحديث ليس لسلوك الجسيمات الأولية (سواء أكانت حقيقة أم لا) منفصلة ، بل مجموعات منها تعمل ، أو تتعاون ، في نظم معقدة . ان التغيير في المنهج الفكري الذي نعايشه حاليا هو تحول من الفكر التجزيئي الى العمومي ، وهو تحول له عظمته كأكل تغيير في المنهج الفكري على مر التاريخ .

هوامش الفصل الأول

(١) كلمة اديبلية تعني « تحقيق الكمال » راجع قاموس The concise Oxford dictionary (المترجم) .

(٢) مادة كيميائية وهمية كان يعتقد ـ قبل اكتشاف الاكسجين ـ انها مقرم اساسي من مقومات الاجسام الملتهبة ـ (المترجم) .

(٣) تسلسل اجرائي لحل مسألة رياضية معينة ـ (المترجم) .

(٤) يقول الرسول الكريم في هذا المعنى « انتم اعلم بامور دنياكم » (المترجم) .

الفصل الثاني

الهيولية وتحرر المادة

العالم بأكمله مؤسس على أن العالم الفيزيقي محدد تحديدا قاطعا ، وأن هذه القطعية معبر عنها بأجلى صورة في القوانين الفيزيقية . ولا أحد يعلم من أين أتت هذه القوانين . ولا لماذا تعمل بصورة تبدو مطلقة ومطردة ، ولكنا نراها تعمل من حولنا في توافق ليل نهار ، على غرار حركة الكواكب أو دقات الساعة .

على أن الانضباط ليس بهذا الاطراد . فتقلبات الطقس ، والدمار الناشيء عن الزلازل ، والشهب الساقطة من السماء ، كلها حوادث تبدو عشوائية لا ضابط لها . وليس من عجب أن يرجع الأقدمون هذه الأفعال الى نزوات الآلهة . ولكن كيف لنا أن نوفق بين هذه « الأفعال الالهية » وما يفترض من وجود قوانين يعمل الكون بمقتضاها ؟ .

ولقد نظر فلاسفة الاغريق للعالم على أنه ساحة للنزال بين قوى تنظيمية ، ينتج عنها الكون المنظم cosmos ، وقوى تعمل في اتجاه العشوائية ، ينتج عنها الهيولى chaos . وكان ينظر لمثل هذه العشوائية أو الهيولية ، على أنها أمر سلبي يمثل الشر . ونحن لا ننظر اليوم للحوادث الخاضعة للصدفة على أنه أمر شرير ، أو تخبط أعمى . فهي لها دورها البناء ، كما في عمليات التطور البيولوجية ، كما أن لها دورها

الهدام ، كما في سقوط جناح طائرة بسبب الاجهاد الذي تعرض له معدنه .

ورغم ان الصدف الفردية قد تبدو بلا قانون يحكمها ، الا أن المجملات العشوائية تظهر خضوعا لنظم احصائية عميقة . ففي الواقع ، يعطي مدير لاريبو القمار ثقته في قوانين الصدفة بقدر ما يعطيه المهندس لقوانين الفيزياء . ولكن هذا قد يبدو تناقضا ، فكيف تخضع عجلة الروليت لقوانين الفيزياء وتخضع في نفس الوقت لقوانين الصدفة ؟

هل الكون حقا آلة ؟

كما رأينا ، فقد أصبح العلماء متعودين تحت تأثير قوانين نيوتن ان ينظروا للكون كآلة منضبطة . وتجد هذه العقيدة أبلغ تعبير عنها في أعمال بيير لابلاس P. Laplace في القرن الثامن عشر . فقد نظر الى كل جسيم في الكون على أنه مقيد بقوانين الحركة تقيدا لا فكاك منه . فهذه القوانين تحكم حتى أصغر ذرة في الكون والى أدق التفاصيل . وعلى ذلك فقد رأى أنه من معرفة حالة الكون في لحظة معينة ، يمكن حساب مستقبله بكل دقة بتطبيق قوانين نيوتن للحركة .

وكما ذكرنا في الفصل الأول، فان النظر للكون كآلة تخضع لقوانين منزهة عن الخطأ قد أثر على النظرة العلمية تأثيرا بالغا . وكان هذا مناقضا تماما للنظرة الاغريقية للكون على أنه كائن حي . فالآلة ليست لديها ، ارادة حرة » ، فمستقبلها محدد بصرامة من بداية حياتها لنهايتها . وفي هذه الصورة لا يلعب الزمن دورا أساسيا . فالمستقبل مختوم بالفعل في الحاضر ، وكما عبر ايليا بريجوجين Ilya Prigogine ببلاغة ، لقيد حجمت صورة الاله الى مجرد كاتب للسجلات ، كل ما عليه أن يقلب صفحات التاريخ المختوم للكون .

ومن داخل هذه الصورة الآلية الصماء للكون تكمن ضمنيا فكرة أنه لا توجد حوادث وليدة الصدفة في الطبيعة . فقد تبدو حوادث أنها

عشوائية ، ولكن تبرير ذلك هو فى جهل الانسان بتفاصيل العمليات التى تولدت عنها .

فلناخذ مثلا الحركة البراونية . جسيم ضئيل معلق فى سائل (أو ذرة غبار فى الجو) . تشاهده تحت المجهر يتحرك فى عشوائية ، مع صدامه المتواصل بجزيئات السائل (أو الهواء) من كل اتجاه . هذه الحركة هى مثال تقليدى للعمليات العشوائية التى يصعب توقعها . ولكن طبقا لمنطق لابلاس ، لو اتيح لنا ان نتعرف على تفاصيل كل حركة لكل جزىء فى السائل ، فان الحركة البراونية ستكون محددة بدقة تماثل حركات الساعة . فالعشوائية البادية فى هذه الحركة ليست الا نتيجة لنقص معلوماتنا عن حركات الآلاف من الجزيئات ، وهو نقص ناتج عن أن حواسنا ، وما لدينا من أجهزة ، ليست بالدقة التى تمكننا من الرؤية على المستوى الجزيئى .

وساد لفترة الاعتقاد بان الحوادث التى تبدو ظاهريا وليدة الصدفة هى نتيجة لجهلنا ، أو لما نقوم به من توسيط (أخذ المتوسطات) لعدد هائل من الحوادث الخفية عنا . فقذف العملة أو رمى النرد او حركة عجلة الروليت ، نظر اليها على أنها عمليات منضبطة ، فقط لو أتيح لنا أن نرى على مستوى الجزيئات . ان الانضباط الصارم للآله الكونية يضمن خضوع كل حادثة مهما بدت عشوائية للقوانين .

وفى القرن العشرين حدث تطوران هزا من الثقة فى هذه الصورة الآلية . أولا كانت ميكانيكا الكم ، وفى صميم قلبها يكمن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ،والذى ينص على أن اى شىء نريد قياسه يخضع بالفعل لتغيرات عشوائية . ولسوف يقال المزيد عن ذلك فى الفصل السابع ، المهم هنا أن هذه التغيرات ليست نتيجة القصور البشرى أو مستويات أخفى للآله الكونية ، انها عشوائية كامنة فى أسلوب عمل الطبيعة على المستوى الذرى . فمثلا ، الوقت المحدد لتحلل نواة معينة فى مادة مشعة أمر بطبيعته غير قابل للتحديد . وهكذا الحق بالطبيعة عنصر اصيل من عدم القدرة على التنبؤ .

وعلى الرغم من هذه اللاقطعية ، فان ميكانيكا الكم تظل نظرية منضبطة بمعنى معين . فاذا كانت العملية الكمية الواحدة غير قاطعة النتائج ، فان الاحتمال النسبى لناتج مجموع العمليات يجرى على نمط منضبط . وبمعنى آخر ، فانه اذا كنا غير قادرين على التنبؤ بنتيجة رمى النرد الكمى ، فى عملية ما ، فاننا نعلم بدقة بالغة كيف تتغير المضاربة من لحظة لاخرى . فميكانيكا الكم ، كنظرية « احصائية » ، هى نظرية محددة . وعلى هذا الأساس يعمل الحاسب الآلى بما صمم عليه ، على الرغم من استحالة توقع تصرف كل الكترون فى نظامه . فالفيزياء تجعل من الصدفة عنصرا أصيلا من عناصر الحقيقة ، مع الابقاء على أثر للنظرة النيوتونية ـ اللابلاسية .

ثم جاءت الهيولية لتلعب دورها . والافكار الاساسية لمعالجة الهيولية كانت موجودة بالفعل فى أعمال الرياضى الفرنسى هنرى بوانكريه Henri Poincaré فى القرن الماضى،ولكن نظرية متكاملة لها لم تظهر الا فى الاونة الأخيرة ، خاصة فى العمليات المرتبطة بالحاسب الآلى .

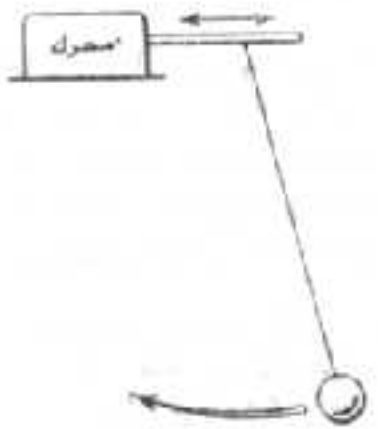
والخاصية الجوهرية للعمليات الهيولية بتطور « الخطأ المتنبأ به Predictive error » مع الزمن . ولبيان ذلك ، لنبدأ بمثال غير عشوائى ، حركة البندول البسيط . تصور بندولين يتارجحان فى تزامن ، ثم افترض أن احدهما قد تعرض لقوة اخرجته عن هذا التزامن بدرجة بسيطة . هذا الفرق فى التزامن سيظل بسيطا مع مرور الزمن .

ولاجراء عملية التوقع لحركة البندول ، نقيس موضعه وسرعته فى لحظة معينة ، ثم نجرى حساباتنا طبقا لقوانين نيوتن للحركة . ولو وجد خطأ فى قياس الظروف المبدئية ، فان هذا الخطأ سيظهر أثره فى الحسابات التالية ، مؤثرا على النتائج المتنبأ بها ، والفرق بين تارجح البندولين المشار اليهما هو بيان لمثل هذا الخطأ وهو يمارس تأثيره .

وفى النظم غير الهيولية nonchaotic systems النمطية ، تتراكم الاخطاء مع الزمن . ولكن الأمر الحاسم هو أنها تتزايد بصورة متناسبة تقريبية مع سريان الزمن ، وعلى ذلك فهى تحت السيطرة نسبيا .

والآن صور سلوك نظام هيولى . ففى نظام كهذا ، يتضاعف اى خطأ الشدنى تضاعفا سريعا-والواقع ، ان العلامة المميزة للنظم الهيولية هى ان الخطأ فيها يتضاعف بصورة « اسية exponentially » . فبدلا من ان يكون الخطأ فى لحظة مساويا تقريبا لقيمته فى اللحظة السابقة ، قد تكون قيمته فى لحظة مساوية لتراكم كافة الاخطاء فى اللحظات السابقة منذ بدء العملية . وبعد فترة وجيزة ، يصبح الخطأ هو المسيطر تماما على العملية ، وتضيع بالتالى اية قدرة تنبئية . وعلى ذلك فان خطأ صغيرا فى البداية سرعان ما يتضخم الى درجة تعصف بالنظام .

ويبقى التمييز بين النظامين واضحا فى تصور سلوك بندول كروى ، وهو البندول الحر الحركة فى اى اتجاه . وفى الحياة العملية يمكن ان نأخذ صورة كرة معلقة بخيط ، كما هو مبين فى الشكل (١) . فاذا ما حركت نقطة التعليق لحركة اهتزازية منتظمة فى الاتجاه الافقى ،



الشكل (١) ، يمكن لبندول كروى بسيط ان يظهر خواص هيولية . فحين تتذبذب نهاية الخيط ، ستتارجح الكرة ، ويمكن ان تصطدم على نبذة معينة ، ولكن فى غيرها تكون الحركة عشوائية بقدر كبير .

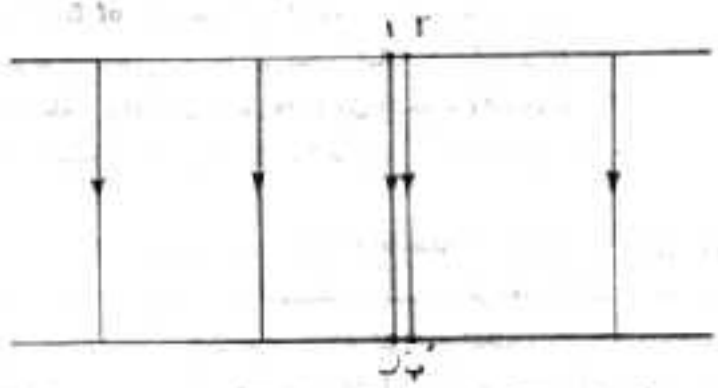
فان الكرة تبدأ فى التارجح ، وبعد فترة قد تستقر فى حركة منتظمة ترسم فيها الكرة مسارا شبه اهليلجى ذا دورة تساوى تردد القوة المحركة ، ولكن اذا ما تغيرت القوة المحركة تغيرا طفيفا ، فان هذه الحركة المنتظمة تتحول الى حركة هيولية ، تدور بها الكرة فى اتجاه مرة ، وفى الاتجاه المضاد مرة أخرى ، وهكذا بلا ضابط معين .

وعدم الانضباط هنا ليس صورة من العشوائية التى صادفناها فى حالة الحركة البراونية ، فهو ليس ناتجا من آلاف التفاعلات على المستوى الجزيئى ، أو ما يسميه الفيزيقيون « درجات الحرية » degrees of freedom . فالنظام المعروض يمكن وصفه رياضيا بثلاث درجات للحرية ، بمعنى أنه نظام محدد تماما ، ولكن حركة البندول هى غير المنضبطة ، وقد كان يربط دائما بين التحديد والقدرة على التنبؤ ، ويثبت مثال البندول هذا أن هذا الترابط ليس صحيحا على اطلاقه .

فالنظام قطعى التحديد deterministic system هو الذى يحدد مستقبله بناء على قانون منضبط ، بمعرفة ظروفه الابتدائية ، أسقط كرة ما ، وسوف تكون سرعتها عند المواضع المختلفة وفى الأزمنة المختلفة محددة تماما بموضعها وسرعتها الابتدائية عند لحظة الاسقاط ، وعلى ذلك فلدينا علاقة « واحد الى واحد » بين الحالات الأولية والنهائية . وبلغة الحواسب ، يفترض ذلك أن لدينا علاقة « واحد الى واحد » بين « المدخلات inputs » و « المخرجات outputs » عند حساب التنبؤ ، ولكن لا يجب ان ننسى أن الحوسبة التنبئية تتضمن دائما شيئا من أخطاء أولية فى المدخلات ، ذلك لانه ليس بامكاننا قياس القيم الفيزيقية بدقة لانهائية .

ويمكن التمييز بين النظم الهيولية وغير الهيولية من خلال المقارنة بين شكلين هندسيين ، كما هو مبين فى الشكل (٢) ، فالنقاط فى الخط الأفقى الأعلى تمثل الأوضاع الابتدائية لنظام غير هيولى (مثلا : وضع كرة على وشك الاسقاط) ، والتحديد يعنى أن هناك علاقة واحد الى واحد

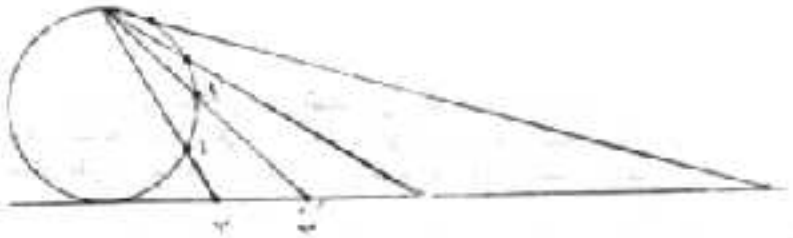
بين نقاط الخط الأعلى والأسفل ، ممثلة بالخطوط الراسية - فكل حالة نهائية (كل نقطة على الخط السفلى) تصل اليها من حالة ابتدائية واحدة (نقطة وحيدة على الخط العلوى) . فاذا كنا جاهلين بدرجة بسيطة بالحالة الابتدائية ، فان ذلك سيترجم الى جهل بسيط فى الحالة النهائية ، ويمثل هذا على الشكل بنقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط العلوى (الفرق بين النقطتين آ و آ') ، تقابلها نقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط السفلى (الفرق بين النقطتين ب ، ب') ، وبمعنى آخر ، فان الأمر البسيط فى الظروف الابتدائية يترتب عليه خطأ بسيط فى النتيجة .



الشكل (٢) : يمكن تصوير الحتمية عن طريق هذا المثال الهندسى البسيط ، كل نقطة على الخط الأعلى مرتبطة بنقطة واحدة فقط على الخط الأسفل ، وينتج عن خطأ بسيط فى تحديد النقطة العلوية خطأ بسيط بنفس القدر فى تحديد النقطة السفلية . فاذا عبرت النقاط فى الخط العلوى عن الحالات الابتدائية ، والسفلى عن الحالات النهائية ، فان مثل هذا يمثل القدرة على التنبؤ .

أما النظم الهيولية ، فيمثلها الشكل (٣) . هنا تمثل الظروف الابتدائية بنقاط على محيط دائرة ، والنتائج النهائية على الخط الأفقى . هنا أيضا لدينا علاقة واحد الى واحد بين مجموعتى النقاط ، فمن معرفة نقطة ما يمكن معرفة النقطة المقابلة فى المجموعة الأخرى . ولكن خطوط الربط هنا تأخذ شكلا مروحيا ، بحيث انه كلما اقتربنا من قمة المنحنى ، كان التباعد بين النقاط على الخط الأفقى أكبر . وعلى ذلك فأى تغيير

ضئيل فى نقاط المجموعة الأولى سيترتب عليه تغيير جسيم فى المجموعة الثانية . وعلى ذلك فان جهلا بسيطا فى الظروف الابتدائية تترتب عليه درجة كبيرة من الشك فى تحديد الظروف النهائية . هذا الوضع يمثل الهيولية ، حيث يكون النظام حساسا بدرجة فائقة للظروف الابتدائية .



الشكل (٣) : يمثل هذا الشكل وضعا مناقضا مع ما صور فى الشكل (٢) ، حيث يترتب على خطأ بسيط فى تحديد نقطة على محيط الدائرة خطأ جسيم فى تحديد النقطة المقابلة على الخط الأفقى ، وتزداد هذه الحساسية للخطأ كلما اقتربنا من قمة الدائرة . رغم وضوح العلاقة نظريا ، فان التنبؤ صعب ، وهو ما يمثل النظم الهيولية .

هذه الحساسية ليست مجرد نتيجة لقصور يطرأ من حيث دقة القياس ، او دقة رسم الخطوط ، فالمفهوم الرياضى للخط هو ضرب من التصوير الخيالى ، يقرب الواقع . فعدم اليقين هو الحق ، والخط الهندسى هو الخيال . ولنا أن نرى هذا واضحا من تعريف الخط هندسيا لدى لعماء الاغريق .

فهم قد ادركوا أنه بامكاننا أن نضع ارقاما على الخط تمثل بعد كل نقطة عن نهايته ، كما هو مبين فى الشكل (٤) بالنسبة لجزء الخط من نقطة الصفر والنقطة رقم واحد . وتعطى النقاط بينهما أعدادا كسرية مكونة من رقم صحيح فى البسط وآخر مثله فى المقام . وقد اطلق الاغريق على هذه الأرقام « rational» (منطقية ، وهى الكسور المنتهية) من الجذر « ratio » ، ضع أى عدد فى البسط وآخر فى المقام فيمكنك الوصول للنقطة المقابلة له . ومع ذلك ، فالرياضيون يمكنهم الاثبات بسهولة أنه ليست كافة النقاط على جزء منفصل من الخط يمكن أن تعطى كسورا منتهية . فبين كل نقطتين ممثلتين بهذا الشكل ، بامكانك أن تجد نقاطا

متوسطة . لا يمكن التعبير عنها بكسر مثله ، بل يعبر عنها بكسر عشرى ذى عدد غير متته من الارقام . ومثل هذه النقاط يمكنك ان تكون قريبا منها بدرجات متفاوتة من الدقة ، ولكن لا يمكن تحديدها بالضبط .

الشكل (٤) : يمكن ان نمثل النقاط على الخط الرقمى بين الصفر والواحد الصحيح . وهذه النقاط لا نهائى على هذا الخط . ولكن تحديد موضع نقطة تحديدا قاطعا امر غير ممكن عمليا ، حيث يتطلب الامر عددا لا نهائيا من الاعداد الكسرية للتعبير عن الموضع .

ومجموعة الكسور المتنهية وغير المتنهية يطلق عليها معا مجموعة الاعداد الحقيقية ، ومنها بالطبع ما يمكن التعبير عنه بصورة موجزة ، مثل ٥٠ر٠ أو ٣/١ . ولكن الرقم الحقيقى فى صورته النمطية لا يمكن التعبير عنه الا بعدد لانهائى من الارقام ككسور عشرية لا تحمل تتابعا ذا نظام معين . بل هو تتابع عشوائى random . ومعنى ذلك ان التعبير عن عدد واحد من هذه الاعداد يتطلب قدرا لانهائيا من المعلومات . وهو امر مستحيل حتى من ناحية المبدأ . وعلى ذلك فاقوى حاسوب متصور لا يمكنه تذكر عدد حقيقى واحد بالدقة اللانهائية،وعلى ذلك ، فان التعبير عن الخط الهندسى كمتصل من الاعداد الحقيقية يظل خيالا رياضيا محضا .

ما اثر ذلك على العمليات الهيولية ؟ ان التحديد المطلق يعنى ضمنا ان التنبؤ يجرى فى ظروف مثالية من الدقة اللانهائية . ففى حالة البندول . يتطلب تحديد حركته معرفة الوضع الابتدائى له . وذلك بقياس بعده عن نقطة مرجعية معينة . ويتطلب ذلك التعبير عن المسافة المقيسة بعدد حقيقى . وهو ما يستحيل عمله بدقة لانهائية كما بينا .

وفى النظر غير الهيولية ليس هذا القصور بذى اهمية بالغة . حيث ان الاخطاء تتراكم بطيئا . اما فى النظم الهيولية . فالامر اخطر من ذلك. بفرض ان درجة الدقة كانت مثلا فى الرقم العشرى الخامس . وتحن

نقدر حركته فى فترة زمنية « ت » . لو زدنا درجة الدقة الى الرقم العشرى العاشر حتى نرفع من درجة اليقين فى الفترة المذكورة . فان التزايد الاسى قد يعيدنا الى نفس درجة الخطأ فى فترة زمنية « ٢ ت » مثلا . ومعنى ذلك أننا زدنا من الدقة بمقدار ١٠٠٠٠٠٠٠٠ مرة لنزيد من اليقين لفترة لا تزيد عن الضعف .

ان هذه الحساسية للظروف الاولية هى التى ادت الى المقولة المشهورة . بان رفرفة فراشة لأجنحتها فى ملبورن اليوم تؤثر على الطقس فى لندن بعد أسبوع.فحيث ان الطقس فى الكرة الارضية نظام هيولى . وانه لا يوجد نظام من ناحية المبدأ يمكن وصفه بدقة كاملة . فان التنبؤ بالطقس على المدى البعيد لا يمكن تحقيقه . مثله فى ذلك مثل اى نظام هيولى آخر . ولا نفتا نؤكد انه لا علاقة فى ذلك بالقصور البشرى . فالكون ذاته لا يعلم ما يخبئه بدقة مطلقة . ومن ثم لا يمكن التنبؤ به سيحدث مستقبلا بتفاصيل كاملة . فهنالك اشياء تجرى بالفعل بصورة عشوائية .

ومن الواضح أن الهيولية تعطينا برزخا بين قوانين الفيزياء وقوانين الصدفة . فمن وجهة نظر معينة يمكن ارجاع الصدفة او العشوائية للنقص فى التفاصيل . لكن بينما تبدو لحركة البراونية عشوائية بسبب العدد الهول من درجات الحرية التى تضطرنا للتجاوز عنها . فان الهيولية التحديدية تبدو عشوائية بسبب كوننا بالضرورة غافلين عن التفاصيل الغاية فى الدقة لدرجات من الحرية قليلة العدد . وعلى هذا يكون الكون ذاته . وبينما الحركة البراولية معقدة لأن التصادم مع الجزيئات هو فى حد ذاته عملية معقدة . فان حركة البندول معقدة حتى وان كان النظام ذاته بسيطا للغاية . وعلى ذلك فالسلك المعقد لا يعنى بالضرورة تعقد القوانين الحاكمة او القوى المؤثرة . فدراسات الهيولية اوجدت توافقا بين تعقد العالم الفيزيائى حين يظهر تصرفات شاذة وعشوائية . وبين النظام والبساطة التى تتميز بها قوانين الطبيعة .

ورغم ان الهيولية التحديدية هى مفاجاة لنا ، فانه يجب الا ننسى ان الطبيعة ليست فى الواقع تحديدية باى شكل من الأشكال . فعدم اليقين المصاحب للتاثيرات الكمية يتدخل فى ديناميكية كافة النظم ، هيولية او غير هيولية ، على المستوى الذرى . وقد يفترض ان عدم اليقين سوف يترابط مع الهيولية ليضاعف من عدم القدرة على التنبؤ الكونى . ولكن الامر المستغرب هو ان التاثيرات الكمية يبدو أن لها تاثيرا مخففا من الهيولية - فبعض النظم التى تبدو هيولية عند مستوى النيوتونية الكلاسيكية ، قد وجد انها اصبحت غير هيولية حينما اعطيت خواص كمية . وعند هذه النقطة ينقسم العلماء حول امكانية وجود نظم هيولية كمية ، وماهية علاماتها ان كان لها وجود . ورغم اهمية الموضوع بالنسبة للفيزياء الذرية والجزيئية ، فانه قليل الأثر على المستوى الكلى ، لاهيك عن الكون بأسره .

ما الذى نستخلصه من الصورة النيوتونية ـ اللابلاسية للكون كساعة منضبطة ؟ ان العالم الفيزيقى يحتوى على العديد من النظم الهيولية وغير الهيولية - فالطقس بطبيعته ، كما قدمنا ، لا يمكن التنبؤ به الى اقل التفاصيل ، ولكن نتائج الفصول منضبط كالساعة بالفعل . فتلك النظم التى تتصف بالهيولية غير خاضعة للتنبؤ بصورة كبيرة ، وان نظاما واحدا منها ليستهلك قدرة الكون كله فى حساب مسلكه - والبادى اذن ان الكون غير قادر على حساب المستقبل لجزء ضئيل منه ، فما بالك به باكمله ؟

وما من شك فى أن هناك استخلاصا رائعا ان هذا يعنى أنه حتى لو تقبلنا وصف الكون على انه محدد تحديدا قاطعا ، فان مستقبله من وجهة نظر معينة يكون « منفتحا » . ولقد اعتمد البعض على هذه الانفتاحية ليؤكد الحرية الشخصية للانسان . ويدعى البعض الآخر بانها تسبغ على الطبيعة عنصرا من الابداع ، من المقدرة على توليد ما هو مستحدث بمعنى الكلمة ، شىء لم يكن متضمنا فى الحالات السابقة للكون . ومهما كانت قيمة هذا الادعاء ، فانه من الأحوط أن نستخلص من دراسة الهيولية أن

مستقبل الكون ليس محددا تحديدا قاطعا . وباستخدام عبارة بريجوجين، ان الفصل الأخير للكون العظيم لم يحن موعد كتابته بعد .

استيعاب التعقيد

ان النجاح المذهل لبساطة المبادىء والقواعد الرياضية فى تفسيرها لأجزاء كبيرة من الطبيعة هو شىء غير ملموس فى المعايشة اليومية ، كما لم يكن واضحا لأجدادنا أن العالم يسير على مثل هذه الخطوط البسيطة . ففى النظرة العابرة تبدو الطبيعة معقدة وغير مفهومة بالمرة . فالقليل من الظواهر الطبيعية هى التى تتم صراحة عن دقة بالغة تشير الى النظام المستتر . وحين يبدو اطراد او تناغم ، فانه يكون عادة على صورة من التقريب . ويؤكد الواقع انه لقرون عدة فشل قدماء الاغريق ومفكرو القرون الوسطى فى التعرف الا على النزر اليسير (كتتابع الليل والنهار مثلا) من النظام الرياضى فى الطبيعة .

ويمكن توضيح الموقف بضرب مثال السقوط الحر للاجسام . فقد لاحظ جاليليو أن كل الأجسام تتسارع بنفس المعدل تحت تاثير جاذبية الأرض . ولم يكن أحد قد أدرك ذلك من قبل ، لانه فى الحياة اليومية لا يبدو ذلك صحيحا . فكلنا يعرف بداهة أن المظلة تهبط أسرع من ريشة طير . وقد بدت عبقرية جاليليو فى ملاحظة أن الفرق هو امر عارض ، (فى حالتنا هذه بسبب مقاومة الهواء) ، ودخيل على العامل الأساسى (الجاذبية الأرضية) . وبذلك استطاع أن يستخلص من التعقيد البادى فى الحياة اليومية بساطة قانون مثالى للجاذبية .

وتأصل أعمال جاليليو ونيوتن فى القرن السابع عشر عادة كمؤشر لبداية العلم الحديث . فنجاح العلم يرجع بصورة اساسية الى قوة التحليل الذى أجراه جاليليو ، المقدرة على عزل النظام الفيزيقى عن الكون المحيط ، والتركيز على الظاهرة محل البحث . وفى مثال السقط الحر قد يتطلب العزل مثلا اجراء التجربة فى الفراغ . ولم يكن لأحد أتيح له مشاهدة مثل هذه التجربة الا أن يدهش حين نقلت سفينة الفضاء

« أيولو » الطرقة والريشة بالفعل واسقطتهما على سطح القمر الخالي من الهواء .

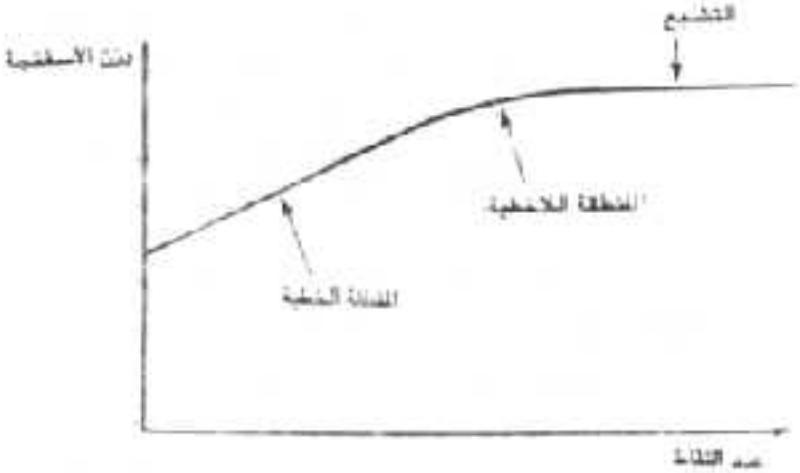
ولكي نحاج مثل هذا التحليل هو امر في حد ذاته محير . فالعالم اولا واخيرا هو كل متكامل . فكيف يمكن فهم جزء منه دون فهم البقية ؟ نعم ، كيف يمكن لنا فهم الكثير ، دون فهم الكل ؟

لو أن الكون كان من قبيل « الكل او لا شيء » ، لما كان هناك علم ولا فهم . فليس بامكاننا ان نستوعب كافة قوانين الطبيعة في قصة واحدة . ومع ذلك ، وعلى الرغم من الاعتقاد الشائع بين العلماء هذه الأيام أن كل القوانين سوف تتكامل في كل واحد ، فاننا قادرون على التقدم خطوة اثر الأخرى ، واضعين أشلاء الصورة قطعة بعد قطعة ، دون ان نحتاج الى العلم مسبقا ، بشكلها النهائي-ولقد حدث ذلك خلال القرون الثلاثة والنصف الماضية من الكفاح العلمي ، وهو يحدث على المستوى الشخصي الآن ، مع كل من يعد ليكون عالما . فبقضي خمس عشرة سنة من الدراسة ، فلكي تكون عالما ، ليس عليك أن تتجرع كل العلم الحديث دفعة واحدة .

واحد اسباب نجاح اسلوب الخطوة خطوة هو أن العديد من النظم الفيزيائية هي نظم خطية ، والنظم الخطية ببساطة هي النظم التي فيها الكل يساوي مجموع الأجزاء (لا أكثر ولا أقل) . والتأثير الكلي هو حاصل مجموع التأثيرات الجزئية .

والفرق بين النظم الخطية وغير الخطية يمكن تمثيله بمثال اسفنجة جافة تمتص الماء ، فمع كل قطرة تمتصها يزداد وزنها ، هذه الزيادة تكون في البداية طردية العلاقة ، اذا زاد عدد القطرات للضعف كانت الزيادة المقابلة للوزن هي الضعف ، وهذه هي العلاقة الخطية - ولكن مع زيادة رطوبة الاسفنجة تبدأ في التشبع بالماء ، وتقل مقدرتها على الامتصاص ، وتكون زيادة الوزن مع القطرات غير خطية ، اى تقل في معدلها مع نفس الزيادة في كمية الماء المتساقط عليها ، وفي النهاية يثبت الوزن عند التشبع الكامل ، ويصبح غير معتمد على قطرات الماء ، لأن الماء

المتساقط سوف يقابله مقدار مساو تقريبا من الماء المتسرب من الاسفنجة ، ويمثل الشكل (٥) هذه العلاقة .



الشكل (٥) : بالنسبة لاسفنجة جافة ، يتزايد وزنها طرديا مع الماء المتساقط عليها ، ويسير المنحنى المعبر عن العلاقة بين الوزن وعدد نقاط الماء في خط مستقيم عندما ، وعندما تبدأ الاسفنجة في التشبع بالماء ، تقل قابليتها لامتصاصه ، فلا يزيد الوزن كثيرا مع عدد نقاط الماء ، وعند التشبع الكامل يثبت وزن الاسفنجة مهما تساقط الماء عليها ، ويأخذ الخط المعبر عن العلاقة وضعا افقيا .

والنظم الخطية المعقدة ، كموجات الراديو حين تختلط بالموجات الصوتية (٦) ، يمكن فصل مكوناتها (في هذه الحالة الموجات المختلفة) بحيث تعاد من أصلها دون أي تشويه ، فالتشكل المعقد للموجة ما هو الا مجموعة من الموجات البسيطة المختلطة - وان مدلول عملية التحليل ذاتها يعتمد على الخاصية الخطية ، ففهم الأجزاء المنفصلة يؤدي الى فهم المجموع - هذه المقدرة على تحليل النظم الخطية دون افسادها ينعكس على الرياضيات التي تصف النظام - فالتحليل الرياضي الخطي يمكن تتبعه بسهولة،لأن التعبير الرياضي المعقد يمكن أن يحلل الى مجموعة من التعابير البسيطة .

ولقد أدى نجاح التحليل الخطى فى القرون السابقة الى اخفاء حقيقة ان النظم الواقعية تميل الى اللاخطية عند مستوى معين . وحين تكون اللاخطية مهمة ، لن يتاح التحليل ، لان الكل سيكون أكبر من مجموع الأجزاء . والنظم الخطية يمكن ان تضم العديد من التصرفات المعقدة ، وأن تقوم بما هو غير متوقع ، كان تتحول مثلا الى الهيولية . فبدون اللاخطية لن يكون هناك هيولية ، حيث لن يكون هناك اي حيود عن نماذج السلوك المفترضة ، وهو ما يعتمد عليه عدم اليقين فى الطبيعة .

وبصورة عامة ، يجب فهم النظام اللاخطى الى نهايته ، وهو ما يعنى عمليا الأخذ فى الاعتبار العديد من المحددات والشروط المحيطية والأوضاع الابتدائية . كل ذلك يؤخذ فى الاعتبار فى النظم الخطية ايضا ، ولكن بصفة عرضية . اما فى النظم غير الخطية فهى اساسية بصورة جذرية لفهم ما يجرى .

ولقد رأينا مثالا لذلك فى القسم السابق . فالعامل المحدد لكون حركة البندول هيولية أم لا متعلق بتردد القوة الخارجية وعلاقته بطول البندول ، فالنظام ككل يجب أن يؤخذ فى الحسبان قبل التنبؤ ببدء الهيولية . وهناك العديد من الأمثلة على ما يسمى « الطبيعة الكلية holistic character » للنظم غير الخطية . ومن ذلك ظاهرة التنظيم الذاتى ، مثل المخلوطات الكيميائية التى تتخذ اشكالا او تنبض بالوان فى شكل تعاونى . وما نريد أن نؤكد عليه هو أن فهم الفيزياء المحلية (كالقوى بين الجزيئات) قد يكون ضروريا لفهم ما يحدث ، ولكنه بالتأكيد غير كاف لتفسير الظاهرة تماما .

وتشفى اللاخطية على النظم مكنات لكى تفعل أشياء غير متوقعة ، وأحيانا كما لو كانت بها حياة . فهى قد تتصرف فى تعاون ، او تتكيف ذاتيا مع البيئة ، او ببساطة تعيد تنظيم نفسها فى كينونات متمايزة ذات هويات محددة . لقد اصبح اليون شاسعا بيننا وبين المادة التى وصفها نيوتن بالخمول . وكتصوير لذلك نأخذ مثالا هو من اهم الأمثلة على تحرر المادة ، الا وهو الموجات غير الخطية .

موجات ذات ارادة حرة (٢)

فى عام ١٨٣٤ كان مهندس يدعى جون سكوت راسل John Scott Russell ، مستطيا جواده بالقرب من أدنبره حينما مر بقارب يجره حصانان فى نهر ضحل . وتوقف القارب فجأة ، محدثا اضطرابا شديدا فى الماء . وكم كانت دهشة راسل حين وجد كميه من الماء ترتفع ثم ـ كما كتب عن الظاهرة التى اندهشته : « تتدحرج بسرعه بالغة على سطح الماء ، على شكل كومة تامة الاستدارة ، منطلقة دون تغيير فى شكلها او سرعتها » . وانطلق راسل متتبعا هذه الظاهرة المائية العجيبه لمسافة ميلين ، الى ان فقدها فى تعرجات النهر .

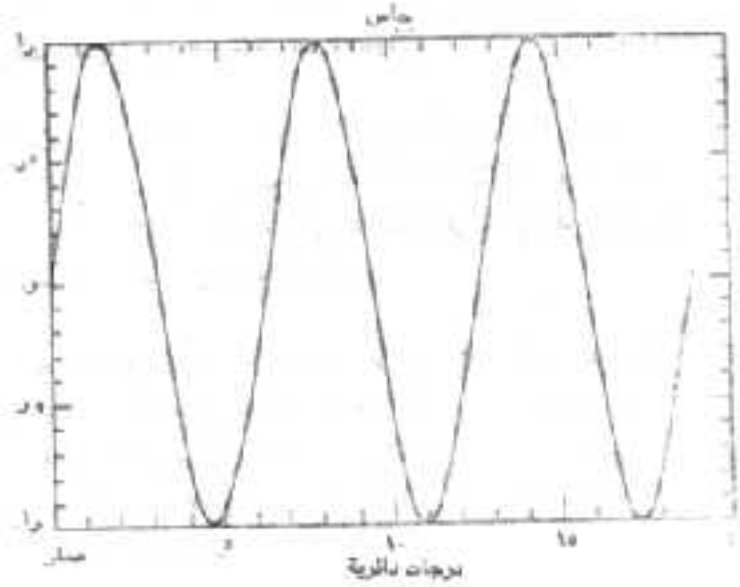
كلنا نعرف الموجات فى الماء ، ولكن ما شاهده راسل كان شيئا غير عادى تماما . فاذا ما اسقطنا حجرا فى بحيرة فان الموجات تنتشر على سطحها حتى تتلاشى تدريجيا . وعلى خلاف هذه الموجات التى هى تتابع من قمم وقيعان ، شاهد راسل « كومة » من الماء ، ذات قمة وحيدة ، تنطلق على سطح الماء محتفظة بكيانها ، مثل هذه الموجة ، الوحيدة ، هى بلا جدال حادثة فريدة . وقد عاد راسل للموضع لدراسة الظاهرة ، وكتب عنها تقريرا الى الجمعية الملكية بادنبرة .

ولكن تفسيرا مقنعا لهذه الموجات الوحيدة لم يظهر الا عام ١٨٩٥ على يد عالمين دانيماركيين هما كورتفيج D. J. Korteweg ، وهندريك دى فريز Hendrik de Vries . ونجد نظريتهم تطبيقات فى أفرع عديدة من العلم ، من الجسيمات الأولية الى البيولوجيا .

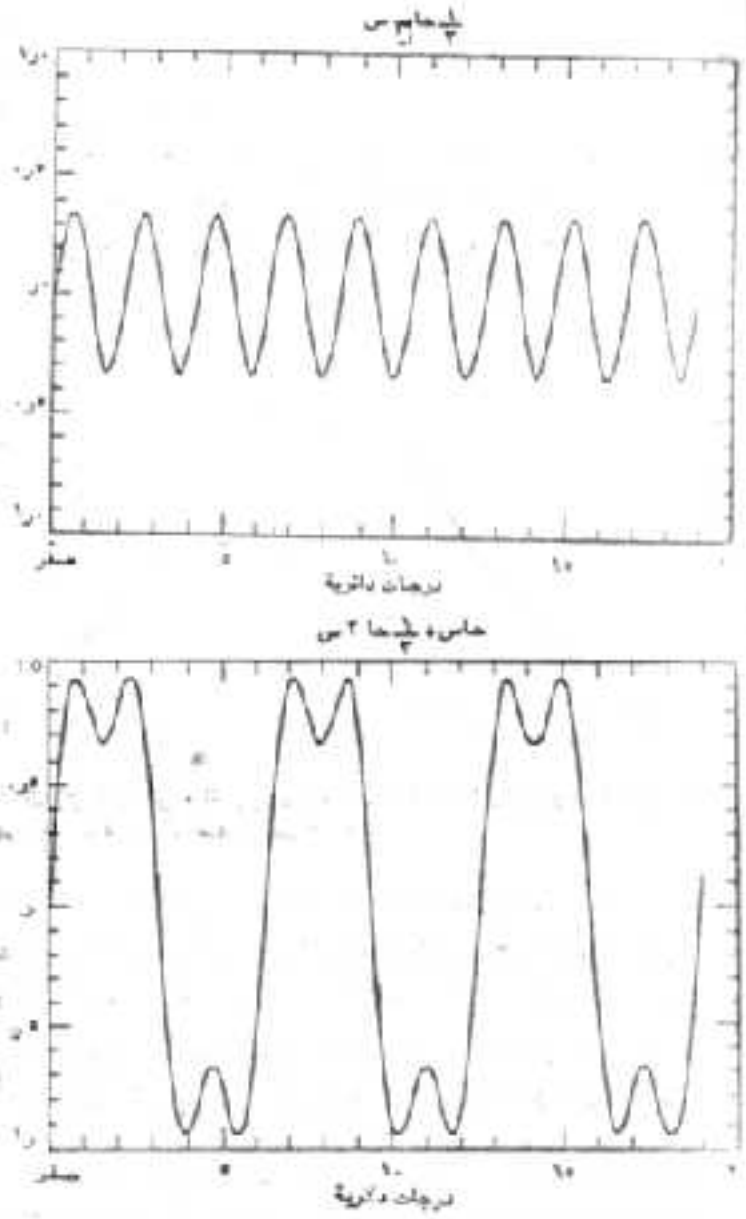
ولفهم النظرية ، من الضرورى أن نعرف شيئا عن الموجات العادية . فالاضطرابات المعتادة التى تحدث مثلا من القاء حجر فى بحيرة ساكنة ، هى سلسلة من التموجات مكونة فى الواقع من عدة موجات متراكبة ، ومختلفة فى السعة (أقصى ارتفاع تصل اليه قمة الموجة) وطول الموجة (المسافة بين قمتين متتاليتين) . ومن هذا الخليط من الموجات يكون التشكل النهائى للاضطراب .

ومع انتشار الموجات ، ولكون الموجات ذات الأطوال الأكبر تنتشر أسرع من قصيرة الأطوال ، فان الاضطراب الكلي سرعان ما يذوى ، وهو ما يطلق عليه « التشتت dispersion » .

وحتى يمكن لموجة منفردة أن تتكون ، لابد من عامل يؤدي ضد التشتت ، هذا العامل الجديد هو مثال للاخطية - فالتموجات المعتادة هي مثال للموجات الخطية . طبقا للطريقة التي تتراكب بها ، والتي تجمع سعاتها جمعا عاديا ، (الاشكال ٤ ، ٥ ، ٦) ، ولتحقيق ذلك يجب أن تكون سرعة الانتشار ، وهي التي تعلمه بطبيعتها على طول الموجة ، غير معتمدة على السعة ، ولقد بين بحث العالمين أن الموجات تكون خطية في حالة كون سعة الموجات قليلة بالنسبة لعمق الماء ، فاذا كان الماء ضحلا ، فان السرعة ستعتمد على كل من الطول والسعة في نفس الوقت .

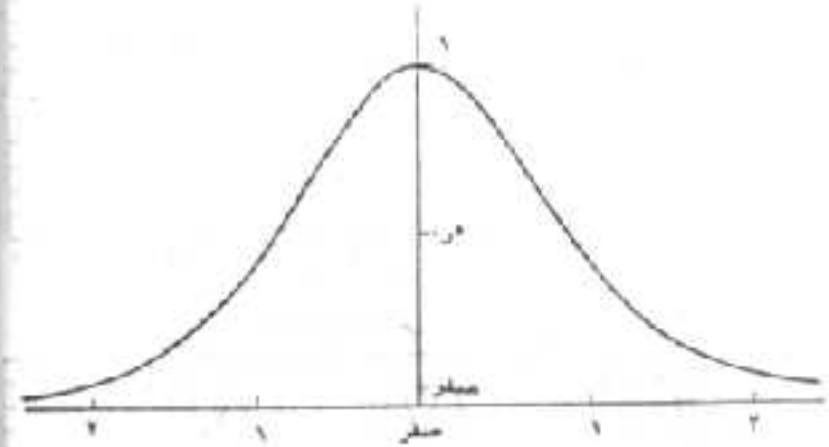


(أ)



الشكل (٦) : الموجات الخطية يمكن ان تتراكب بالاضافة البسيطة سعة عند كل نقطة . فالموجة (أ) تتراكب مع الموجة (ب) لانتاج الموجة (جـ) . أما الموجات غير الخطية فتراكبها يتم بصورة أكثر تعقيدا .

ويمكن في حالات الموجات الضحلة اللاخطية ان تتحقق حالة فريدة، تتراكب فيها الموجات ذوات السعات والأطوال المختلفة بالصورة اللازمة بالضبط لجعل تاثير غير خطية يعادل بالضبط تاثير التشتت . وتنتج الموجة المنفردة التي شاهدها راسل بالفعل (الشكل ٧) . في هذه الحالة تتكون كافة الموجات المكونة للموجة الكلية منتشرة بنفس السرعة . اما الموجات التي لا تفي بهذا الشرط فانها سرعان ما تتشتت .



الشكل (٧) : منحنى « السوليتون » ، حل معـادلة كورتفيج ودى فريز ، وهي الموجة وحيدة القمة التي شاهدها راسل .

ووضع كورتفيج ودى فريز معادلة لوصف مثل هذه الموجات الفريدة، وبينت المعادلة أن سرعة انتشارها تزداد بزيادة ارتفاع قممها . ولم يكن لانجازهما هذا من قيمة سوى تفسير الظاهرة التي شاهدها راسل . ولم يطرق الموضوع بعد ذلك لسبعين عاما . ليس فقط لعدم أهمية الموضوع من الناحية العملية ، بل ايضا لصعوبة التعامل مع رياضيات اللاخطية .

الا أن التقدم في الحاسبات غير من الواقف . حيث أمكن بمعونتها اجراء الدراسات على الظواهر اللاخطية . فصمم في الستينات نموذج حاسوبي لتمثيل الموجات المنفردة واستكمال دراستها . وفي عام ١٩٦٥ قام مارتين كرسكال Martin Kruskal بدراسة تاثير تصادم موجتين منفردتين

مختلفتي القمم . وكان من المتوقع بالبديهة أن تمر كل موجة الأخرى ، حيث أن تكون اى منهما يعتمد على توازن حرج كما اسلفنا . ولكن النتيجة كانت مفاجئة . فقد خرجت كل موجة من التصادم سليمة لم تتاثر ، وواصلت انطلاقها بنفس سرعتها . وبدا الأمر كما لو كانت كل موجة ذات كيان مستقل . يمكنها به أن تتحدى الصعاب . وأطلق كرسكال على مثل هذه الموجات اسم « سوليتون » soliton . وهي تسمية مثاثرة بأسماء الجسيمات الأولية ، كالالكترون والنيوترون ، والتي أيضا تمثل موجات ذات كيانات مستقلة .

وكان هذا الانجاز بمثابة شرارة انطلاق في دراسات ظاهرة الموجات المنفردة . فسرعان ما تكشف أنها تمثل نظاما فيزيقيا أوسع من مجرد موجات في مياه ضحلة . السمة الجوهرية له هي اللاخطية . فكلما كان النظام قريبا من اللاخطية ، زاد احتمال بعث موجات من الطاقة على هذا الشكل ، أو على الأقل شيء قريب الشبه به . وليس للوسط الذي تتكون فيه الموجات المنفردة علاقة بتكونها . فقد تتكون في الماء أو الغازات أو المجال الكهرومغناطيسي . وقد درست الظاهرة في نظم متعددة منها البلورات ، والبلازما (٣) ، والألياف الضوئية ، والالكترونيات .

ومن التطبيقات غير المتوقعة مجال البيولوجيا الجزيئية . فقد كان الجهل حاميا حول كيفية انتقال الطاقة المركزة عبر السلسلات البيولوجية الطويلة مثل البروتينات أو حمض الـ D.N.A. حيث تلاحظ حدوث تاثيرات في مناطق بعيدة تماما عن مصادر الطاقة . ويروى البعض أن ذلك لا يمكن أن يحدث من خلال التفاعلات الكيميائية . ولكن الطاقة تنتقل عن طريق موجات منفردة داخل الهيكل الجزيئي .

والمجال الآخر للتطبيق هو الدراسات المتقدمة في مجال التوصيل الفائق superconductivity ، خاصة عند درجات حرارة أكبر من الصفر المطلق (= ٢٧٣°) . فقريبا من هذه الدرجة تكون بعض المعادن في حالة التوصيل الكهربي الفائق ، بسبب الطرائق التي يمكن فيها للالكترونات

أن تتزاوج وأن تتحرك في تنظيم معين في غيبة « الضوضاء » الحرارية . ولكنه لوحظ أن بعض الخزفيات ، وهي غير موصلة للكهرباء أصلا ، تتحول الى مواد فائقة التوصيل عند درجات أعلى من هذه الدرجة ، لدرجة أن البعض يتوقع امكانية حدوث ذلك عند درجات الحرارة المعتادة . وليس خافيا الاثر الخطير لذلك على تطور التكنولوجيا . ولكن كيف يمكن تفسير هذه الظاهرة ؟

رغم أن الغموض لا يزال محيطا بهذه الظاهرة للتوصيل الفائق ، الا أن النظريات تتوقع أن تلعب ظاهرة الموجات المنفردة دورا أساسيا في هذا المجال . فقد شوهدت مثل هذه الموجات بالفعل في بعض الأجهزة الالكترونية ،مثل مايسمى «وصلة جوزيفسون Josephson junction (٤)» حيث تفصل مادة عازلة رقيقة بين جانبين من مادة فائقة التوصيل . وفي هذا التشكيل يتلاحظ تدفق الطاقة الكهربية في حزم مستقلة ، على صورة موجات منفردة من طاقة المجال المغناطيسي يطلق عليها « فلكسون fluxons » ، تتحرك تحت ما يسمى « تاثير النفق tunnel effect » وهي ظاهرة مرتبطة بالفيزياء الكمية . ويأمل الباحثون أن تكون هذه الموجات هي التي تخزن المعلومات في الحاسبات الفائقة السرعة في المستقبل .

كما يتوقعون أن تفسر الموجات المنفردة ظاهرة التوصيل الفائق للمواد الخزفية في درجات الحرارة العالية . فبالاضافة للفلكسون ، هناك ما يطلق عليه « بولارون polaron » ، وهي موجة منفردة من الشحنة الكهربية . فحينما يتحرك الكترون داخل بلورة ، فانه يشوه قليلا من تكوينها البلوري ، بسبب تفاعل مجاله الكهربي مع الشحنات الكهربية لذرات البلورة . وفي حالات التشوهات البسيطة ، فان النظام يكون خطيا ، بمعنى أن القوى الناشئة عن التفاعل المذكور تكون متناسبة . ولكن هذه التشوهات قد تكون كبيرة في بعض المواد ، الأمر الذي يجعل حركة الالكترونات ليست في تناسب بسيط مع ما حولها من قوى ، وتظهر اللاخطية خطيرة الأثر . فاتحة المجال لتكون الموجات المنفردة

المذكورة ، وهي التي يتوقع أن تكون تفسيرا لظاهرة التوصيل الفائق في المواد الخزفية .

الف والالتواء

تتميز الموجات المنفردة بمقدرتها على البقاء . الا انها تختلف في هذا المضمار . فما تولد منها في الماء مثلا يمكن تدميره بوسيلة أو بأخرى، كاحداث اضطراب في الماء . على أنه يوجد نوع من الموجات المنفردة وجد ليبقى ، فهو لا يقبل التدمير على الاطلاق .

ولفهم التمييز بين النوعين ، تخيل شريطا طويلا من عادة مرنة ، ملونا في أحد جوانبه باللون الأحمر ، والآخر باللون الأزرق . يمكن توليد طاقة من مثل هذا الشريط ، بما له من مرونة ، وذلك عن طريق مطه لأعلى (الشكل ٨ ـ أ) ، وتنتقل تلك الطاقة في شكل موجات عبر الشريط . فاذا ما كانت المرونة غير خطية ، أمكن توليد موجات منفردة تتركز فيها تلك الطاقة . هذه الموجات تكون قابلة للفناء ، حيث ان الشريط عائد العودة لشكله الأصلي .

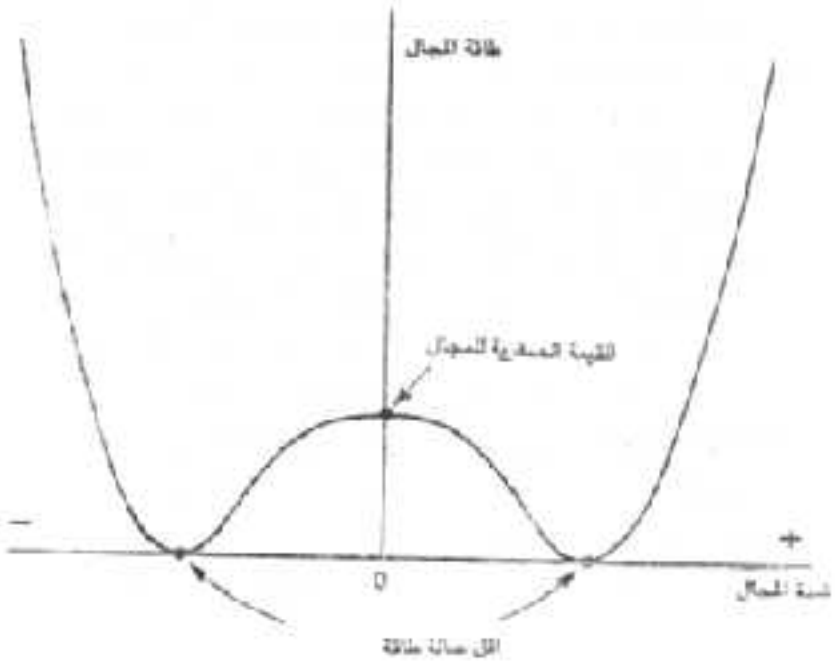
الا أن توليد طاقة المرونة قد يكون بل الشريط ، كما هو مبين (بالشكل ٨ ـ ب) ، في هذه الحالة لن يمكن تدمير الموجة الحاملة لطاقة المركزة ، طالما أن الالتواء موجود . على أن هناك احتمالا أن تقابل هذه الموجة موجة مضادة،تكونت من التواء في الاتجاه المضاد (الشكل ٨ ـ ج) ، وهنا تفنى الموجتان . ويمكن تشبيه الوضع بتلاقي جسيم مع مضاده ، حيث يفنيان ويطلقان ما بهما من طاقة .

ودراسة الالتواء هو فرع من العلوم يسمى « الطبولوجيا topology » وهو علم دراسة الأسطح عامة ، وما يمكن أن يجرى عليها من التواءات أو عقد ، أو وصل بعضها ببعض ، ان لم يكن في الواقع فعن طريق التمثيل . ومن مبادئ هذا العلم أن التشكيل السطحي لا يتأثر بمجرد المط أو الثني ، اذ يظل السطح ، من وجهة نظره ، هو نفسه لم يتغير .

المجال على نفسه ، بما يقلل من طاقته في بعض حالاته . في هذه الحالة يظل المجال منتظما . ولكن لن تكون له قيمة صفرية .

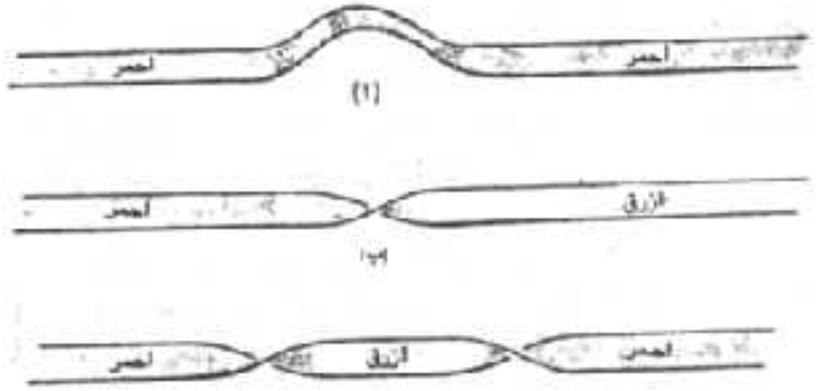
وهناك حالة أخرى محتملة ، وهي وجود أكثر من قيمة للمجال ، بالضبط كما في حالة الشريط الذي له وجهان ، ويقابل الوجهان هنا أن يكون للمجال قيمة موجبة وأخرى سالبة .

ويبين الشكل (٩) توزيع الطاقة لمجال غير خطي نسطي ، فعند النقطة الصفرية للمجال ، توجد طاقة تشبه قمة تل بين واديين . كل واد يقابل احدى القيم الدنيا لحالات الطاقة للمجال ، احداهما عند قيمة موجبة له والأخرى عند قيمة سالبة . فاذا كان المجال له قيمة موجبة



الشكل (٩) منحنى العلاقة بين الطاقة وشدة المجال لمجال غير خطي نسطي يظهر في حالات الجسيمات دون الذرية . فالطاقة المجال الصفرية لا تكون الطاقة فيها صفرا (قمة التل) . كما توجد حالتان في حالة المجال الصفرى ، واحدة موجبة والأخرى سالبة . ويمثلان وجهي الشريط في الشكل (٨) .

والطريقة الوحيدة لتعبير السطح عن نفسه وتمييزه بسطح آخر ، وفي حالة شريط لامتناهي الطول (وهو في الواقع شريط تكون الموجات المنفردة في الأشرطة) ، فلن يمكن فك عقده أو التواءاته ، وبالتالي فان موجة منفردة متواصلة فيه ستظل باقية للأبد .



الشكل (٨) : مناطق الطاقة المتمركزة للمرونة ، سواينون » يمكن أن تنتج بطريقتين : من شريط مرن ، بالجذب لأعلى ، أو بالليّ ، وهي في الحالتين تنتشر في الشريط ، ولكنها في الحالة الأولى (أ) قابلة للزوال ، بينما في الحالة الثانية (ب) لا تختفي طاقة الليّ فقط ، ما لم تصادفها منطقة ليّ مضادة (الحالة ٦) .

مثل هذه الموجات تظهر في العديد من الأشكال . فالموجات المنفردة المتكونة في البلورات تظل باقية لا تفنى ، وكذا المتكونة في حالة التوصيل الفائق ، وشيء من هذا القبيل يفسر ظاهرة الأوتار الفائقة . وهي ما سنتناوله في الفصل السادس .

ولعل أكثر مجالات الموجات المنفردة الطوبولوجية هو مجال الجسيمات دون الذرية . هنا تظهر مثل هذه الموجات كاستثارة في المجال، وليس في وسط مادي . فحينما يكون مجال في أدنى مستوى من طاقته، يكون منتظما . وتموله الاستثارة حينما يخل بهذا الانتظام لسبب أو آخر . وفي حالة المجالات غير الخطية ، فان حالة الطاقة الأدنى قد لا تكون هي حالة المجال الصفرى ، أو بمعنى آخر ، فان أقل قيمة لطاقته تحدث في حالة من حالات وجوده ، وليس حينما يكون صفرا. وسبب ذلك هو تأثير

في موضع من الفراغ ، وأخرى سالبة في موضع مقابل ، فان قيمته يجب أن تساوى صفرا فيما بينهما ، وهنا لابد من وسيلة تركز فيها طاقته الصفرية ، ويكون ذلك عن طريق موجة منفردة ، وهي تظل حبيسة بين الواديين ، ومن ثم لا تفنى (الا اذا صادفتها موجة منفردة مضادة طبعا) .

والتماثل مع الشرائط ليس كاملا ، حيث ان الموجات تنتقل عبرها في اتجاه واحد فقط . أما المجالات فهي ممتدة في الابعاد الثلاثة للفراغ . ودراسة تكون الموجات المنفردة في هذه الأحوال غاية في التعقيد ، ولكن المبدأ هو نفسه ، تتركز الطاقة في مثل هذه الموجات ، وتنتشر حبيسة التشكيلات الطبولوجية دون أن تفنى .

ويعتقد الكثيرون من المنظرين أن الموجات المنفردة يمكن أن تكشف عن نفسها على صورة جسيمات دون ذرية ، ذات خواص متميزة وغريبة . وفي الواقع ، فان الجسيمات المألوفة لنا كالبروتون والنيوترون وغيرها يمكن أن تعتبر ، من وجهة نظر معينة ، كموجات منفردة لمجالات معينة . أما الموجات الجديدة فهي التي لها خواص مميزة . ومن قبيل ذلك ما اكتشفه (رياضيا) جيرارد تهوفت Gerard t'Hoft والكسندر بوليكوف Alexander Polykov عام ١٩٧٠ . كانا يدرسان نوعا جديدا من المجالات دون الذرية ، يظن أنه مسئول عن القوة النووية القوية (٥) . فاكتشفا ان لهذا المجال أكثر من حالة للطاقة الدنيا ، يمكن بينها ان ، يلتوى ، المجال . وفي أحد هذه التشكيلات كانت الموجة المنفردة الحادثة أشبه بـ ، شحنة ، مغناطيسية منفردة . وكافة المغناطيسات المعروفة لها قطبان ، موجب وسالب ، ولم تكشف الأبحاث بعد عن وجود مثل ذلك القطب المغناطيسي المنفرد .

وقد امتدت أبحاث الموجات المنفردة مؤخرا لتكون في الأبعاد الأربعة، بادخال الزمن كعنصر في وجودها ، بحيث تكون ذات وجود عابر ، مثل هذه الموجات المنفردة اللحظية « instantons » كما أطلق عليها ، يمكن أن تلعب دورا خطيرا في العالم دون الذرى ، وذلك لكونها تسمح بتحولات

بين تشكيلات المجالات بصور لم يكن يظن أنه مسموح بها من قبل . وفي عبارة عامة ، يمكن لمجال أن يتغير من تشكيلة الى أخرى بالتي .

ان دراسة المواضيع المتعلقة بالخواص الطبولوجية ، تجد مجالات في العديد من أفرع العلم ، من البيولوجيا الى الفلك . ويعتقد حاليا أنه في المرحلة المبكرة من عمر الكون ، مرحلة الانفجار العظيم ، كانت المجالات غير الخطية مسيطرة على العمليات الفيزيائية ، وقد تكون قد خلفت تشكيلات طبولوجية لا تزال باقية لليوم ، من ذلك الكينونات حطية الشكل التي أصبحت تعرف باسم الأوتار الفائقة ، التي سنعرض لها في الفصل السادس .

ولقد تطورت أبحاث اللاخطية في السنوات الأخيرة تطورا كبيرا ، بفضل الحاسبات فائقة السرعة . هذه الأبحاث المزايدة للنظم غير الخطية تحول التركيز عن المادة الصماء الخامدة ، الى نظم ذات عناصر من العفوية والادهاش . ان الناموس الميكانيكي القديم للعلم يتلاشى ليفسح مجالا للغة أقرب للغة البيولوجيا منها للفيزياء« التكيف ، التأزر ، التنظيم ، الخ» وفي كثير من الحالات تظهر نفس الظاهرة في نظم غير مادية بالمرة ، كشبكات الحاسبات والنماذج الاقتصادية . وعلى ذلك فمع استفاد التشبيه بالماكينة ، ذوت العلاقة بمادية نيوتن ، ومع التوسع في الدراسات اللاخطية يتزايد معدل فناء النمط النيوتوني للتفكير ، كاساس لفهم الحقيقة .

ومع ذلك ، وعلى الرغم من هذه النكبة بعد ـ النيوتونية من التطور ، فان الكثير من الأبحاث اللاخطية تحتفظ بفكرة نيوتن عن الفراغ والزمن، ومع التركيز على دراسة النظم بدلا من الآلات ، فان النظم ينظر اليها كمحتلة للفراغ وزمن مطلقين . ولكنا نعرف منذ قرن تقريبا أن هذين العنصرين لمادية نيوتن يجب ان يتخلص منهما ، مما يستتبع نتائج لا تقل بهاء عما قدمناه .

هوامش الفصل الثاني

(١) التعبير الفني لعملية الموجات « تعديل modulation » ، وتترجم في بعض الكتابات « التضمين » ولفصلها « اعادة التعديل demodulation » ـ المترجم ·

(٢) لمتابعة هذا القسم نعرض المصطلحات التالية :

موجة wave ، موجية ripple تموجات undulations ، اضطرابات disturbance ، تردد (عدد الموجات في الثانية ، ووحدتها هيرتز ، أو مضاعفاته ، مثل ميجاهيرتز) frequency ، طول الموجة (المسافة بين قمتين أو قاعين للموجة) wave length ، سعة الموجة (القصى ارتفاع للموجة) amplitude ، متراكبة superimposed ـ (المترجم) ·

(٣) الذرات في حالتها العادية ، أي متروح منها الالكترونات ، وهي ما تسمى أحيانا بالصورة الرابحة للمادة ـ (المترجم) ·

(٤) نسبة الى برنار دالفيد جوزيفسون ، حاز على جائزة نوبل عام ١٩٧٣ ـ (المترجم) ·

(٥) النواة المستقرة هي تراكيب البروتونات داخل الذرة ، أما القوة النووية الضعيفة فهي المسئولة عن ظاهرة الاشعاع النووي ـ (المترجم) ·

الفصل الثالث

الحاضر العجيب

علمنا آينشتين أن المكان والزمان ليسا كما تحس باحاسيسنا الفطرية ، بداية . يجب أن ينظر اليهما كواجهتين لكل أكبر ، ألا وهو الزمكان spacetime ، ومن وجهة النظر الأكثر شمولية للنظرية النسبية. تفاهيم كالطول والكتلة والفترة الزمنية يجب أن تأخذ منظورا ارحب مما هي عليه في الحقيقة الجامدة لحياتنا اليومية ، حتى فكرة « التواقت simultaneity » ومفهوم « الآن » ، يأخذان خاصية مراوغة تجري على عكس ما القناه بفطرتنا . ان ما تاخذه النظرية النسبية بيد ، تعيده باليد الأخرى على صورة مفاهيم وثوابت أساسية أكثر حداثة .

حلبة الفضاء *The arena of space*

يعتبر اغلب الناس الفضاء شيئا مسلما بها ، انه جزء من خبراتنا اليومية لا يكاد يحتاج للتساؤل عنه . فكيف يمكن للفضاء ان يكون خلاف ما تعودناه عليه ؟ ان الشك لا يبدأ في التسلل الينا الا حين نواجه بسؤال من قبيل : هل هو ممتد الى ما لا نهاية ؟ هل وجد قبل وجود الكون ؟ عند هذه النقطة يثور سؤال آخر : من أين تولدت فينا تلك النظرة البديهية للفضاء بادئ ذي بدء ؟

يعود المؤرخون بمفهوم الفضاء كبديهية الى الاغريق ، حين ربط ربطا وثيقا بنظرة الهندسة ، والتي حظيت باكثر صور الصياغة انضباطا ، وازدهرت على يد اقليدس ·

وحتى يضع علماء الهندسة نظرياتهم ، ادخلوا مفاهيم مثالية كالخطوط المتوازية ، عرفت على أنها تمتد الى ما لا نهاية دون أن تتلاقى . وكان وجود مثل هذه الخطوط مطلوبا لكي يمكن المنظرين من اثبات نظرياتهم ، وهي تتطلب ، ضمنيا ، وجود « لا نهاية » يمكن للخطوط ، من الناحية النظرية ، أن تمتد اليها . وهذه الأفكار ليس منها ضرر ، طالما انها ظلت في حيز التجريد . ولكن المشاكل تثور حين يبدأ التعرف على الفضاء بالمفهوم الفيزيقي ، أي في العالم الواقعي ، من خلال المفهوم الهندسي . وأول محاولة من هذا القبيل كانت على يد صاحب فكرة الذرة ، قبل زمن من وقت اقليدس — والذي — كما ذكرنا في الفصل الأول — ذهب الى أن الكون مكون من شيئين لا ثالث لهما : الجسيمات غير القابلة للتجزئة (الذرات) ، والفراغ Void اللانهائي . ونظر الى الفراغ على أنه الساحة التي فيها تتحرك الذرات ، وتلعب فيها الدراما الخاصة بها . هذه الصورة قريبة جدا لنظرة الناس الفطرية للفضاء اليوم .

ودخلت فكرة الفراغ اللانهائي في تعارض مباشر مع علم الفلك الاغريقي ، والذي ذهب الى أن الكون محدود وكروي ، فيه الكرة الأرضية مركز لكرات تدور حولها . وكان السؤال حول ماذا يوجد خارج الكرة الخارجية محيرا للغاية . وحاول أرسطو ، في القرن الرابع قبل الميلاد ، تحاشي هذا السؤال بادخال تعريف غريب للفضاء ، مؤكدا أن الكرة الخارجية ليست محتواة في أي شيء ، فهي تحتوي ، ولكنها غير محتواة ، باختصار ، لا يوجد لها خارج .

وكان مؤيدو فكرة الفراغ يواجهون دائما بالاحجية التالية : لنفرض أننا رحلنا الى ابعد نقطة في الكون ، ثم مددنا ذراعنا ، (أو قذفنا برمح ، طبقا للتعبير المفضل لدى الشاعر ليوكريشس) ، ماذا سيلاقي ؟ لمزيد من الفراغ ؟ حائط صلد ؟ وماذا سيحدث للذراع (أو الرمح) ، هل ستذوى؟ أم تتلاشى فجأة ؟

وظل التعارض مشتعلا لقرون ، الى عصر النهضة وبزوغ العلم الحديث . وتحت تأثير كوبرنيكس وجاليليو ونيوتن ، هجرت الفكرة القديمة عن الكرات المحدودة ، وأصبح مفهوم الفضاء اللامحدود المحتوى على النجوم والكواكب مقبولا . ولكن ظهرت عقبة جديدة ، فنيوتن تبنى

تصور الفضاء بما هو أكثر من المفهوم الهندسي ، حيث انه كان مهتما اساسا بالصيغ الرياضية لقوانين الحركة . ويتطلب هذا فراغا ذا خواص ميكانيكية أيضا .

«لكان المطلق وقوانين الحركة

من أقدم المسائل في العلم والفلسفة التمييز بين الحركة المطلقة والنسبية . فمن التجارب المألوفة أنك تشعر بتحرك قطارك ، بينما في الواقع الذي تحرك هو قطار مجاور ، تحرك ببطء في اتجاه مضاد . أما لو كانت الحركة فجائية ، فان هذا الخطأ لن يحدث ، بسبب تأثير ذلك على الجسم . فالتغير في السرعة اذن ، أو ما نسميه « العجلة » أو التسارع acceleration ، شيء خلاف السرعة المنتظمة .

وتتضمن قوانين نيوتن الشهيرة ما نسميه اليوم مبدأ النسبية (٦)، والذي اكتشف بواسطة جاليليو من قبل . ومن الأفضل توضيح المبدأ عن طريق مثال : تخيل أنك على متن طائرة تطير في حركة ثابتة من حيث الاتجاه والسرعة والارتفاع . لن يحدث في هذه الحالة أي احساس بالحركة بأي شكل من الأشكال . وستتم كافة الأنشطة ، كملء كوب من الشاي ، أو التجول داخل الممر ، بصورة طبيعية تماما . ونبعا لتفسير جاليليو ونيوتن ، فذلك بسبب ان الحركة المنتظمة في خط مستقيم هي حركة نسبية تماما ، بمعنى أنها لا اعتبار لها الا حين تنسب لشيء ما . وعلى ذلك ، فقولك ان جسما ما له سرعة كذا لا معنى له ، اذ يجب أن تحدد بالنسبة لأي شيء فيست السرعة.فحينما نقول ان سيارتنا منطلقة بسرعة ثلاثين ميلا في الساعة ، فان ما نقصده ان هذه السرعة منسوبة للطريق . ويبدو التمييز هاما اذا — لا قدر الله — اصطدمت السيارة بأخرى تسير بنفس السرعة ، وفي اتجاه مضاد . هنا تكون السرعة النسبية بين السيارتين ستين ميلا في الساعة،وليس ثلاثين،هذه هي السرعة التي يتسبب عنها الدمار الحاصل . وعلى ذلك فعلينا أن نتخلى عن فكرة السرعة خلال الفضاء ، حيث لا توجد علامات مميزة ننسب اليها سرعة الأرض مثلا . فقياس سرعة الأرض يقتضي أن تحدد بالنسبة لأي شيء تكون السرعة ، هل بالنسبة للقمر ، أم المريخ ، أم مركز المجرة ؟ كما انه ليس لنا أن نتصور وجود جسم في حالة سكون مطلق في الفضاء .

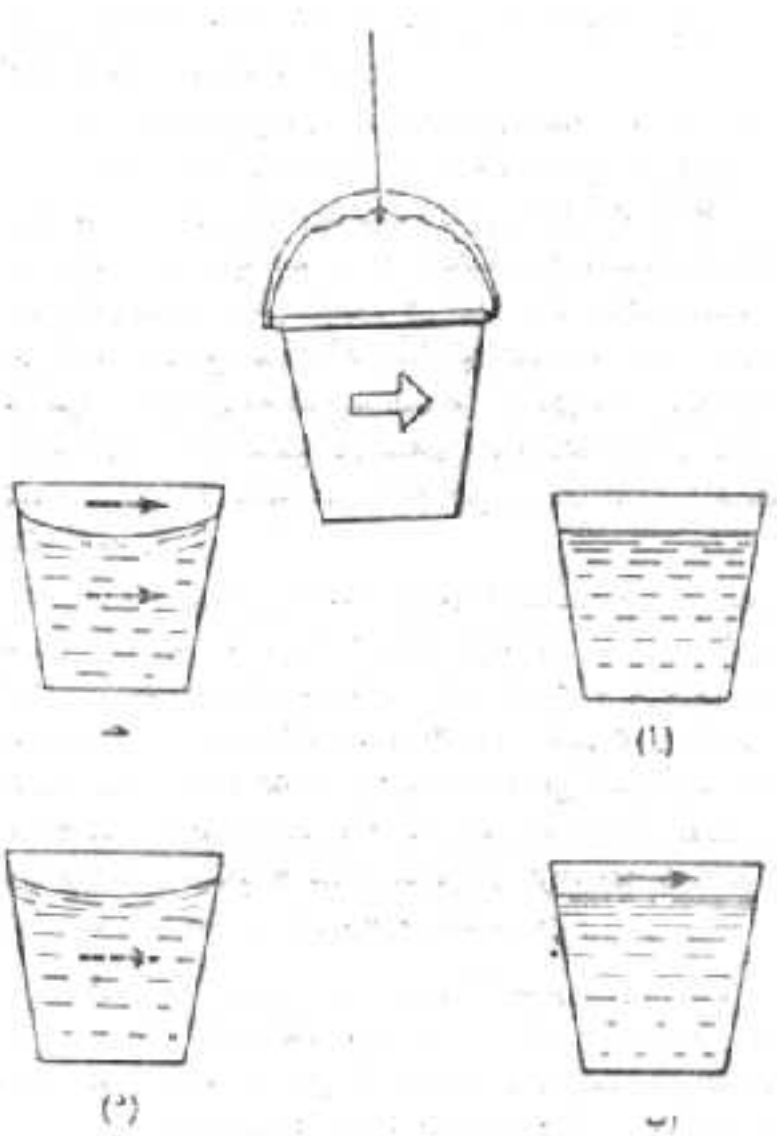
فالقصص الخيالية التي تبين أن المعوقد ، توقف في الفضاء ، تنتمي الى عالم ما قبل عصر النهضة .

حركة منتظمة في خط مستقيم اذن لا يميز بين الحركة الحقيقية والظاهرية . ويختلف الأمر حينما نأتي الى الحركة غير المنتظمة . فاذا ما غيرت الطائرة من سرعتها أو اتجاهها ، فان اثرا لذلك سيحس على شكل اندفاع للأمام أو للخلف ، بينما سيصعب القيام بنشاط ما .

وقد فسّر نيوتن هذه الظاهرة بأنها بسبب « القصور inertia » الذي الرغم من أن الأجسام لا تقاوم الحركة المنتظمة ، فانها تقاوم التغير فيها ، سواء كان تسارعا في نفس الاتجاه ، أو تغيرا في الاتجاه ، أو كليهما . فالأجسام تحاول الاستمرار في الحركة السابقة ، في مواجهة التغير . ومن الأمثلة الهامة في هذا الخصوص ، والتي أولاها نيوتن عناية خاصة ، الحركة الدائرية ، والتي تتولد فيها ما يعرف بالقوة الطاردة المركزية centrifugal force ، هذه القوة يعرفها من ركب أرجوحة دوارة ، أو سيارة انحرفت عن اتجاهها بسرعة .

هذا الخلاف بين الحركة المنتظمة والمتغيرة خلاف عميق ، فبينما أن الحركة المنتظمة نسبية ، فان الحركة المتغيرة تبدو مطلقة . فالمرء يمكنه تسييرها بدون اللجوء لمرجع خارجي . فراكب الأرجوحة الدوارة يعلم أنه متحرك دون الاضطرار للنظر الى الأرض ، وأنه هو المتحرك وليس شيئا آخر بالقرب منه . وقد توصل نيوتن الى أن هذه الحركة التي لا تحتاج لمرجع خارجي يجب أن تنسب للفضاء ذاته ، ووضع اصطلاح « الفضاء المطلق absolute space » ناظرا اليه من منظور معين كمادة تحتوي كل الأشياء . وبداخله يمكن للأشياء أن تتسارع . وبناء على هذه النظرة ، فان رد فعل الفضاء هو الذي يسبب القصور الذاتي ، والقوة الطاردة المركزية ، بالضبط كما تسحب يدك في الماء .

ولتوضيح هذه الفكرة ، تخيل نيوتن هذه التجربة : تخيل دلوا ممتلئا بالماء ، معلقا من حبل طويل ، وهب أن الحبل قد فتل بشدة ، ثم أطلق ، فأخذ الدلو في الدوران (الشكل ١٠) . يظل الماء في البداية غير متأثر ، ثم يبدأ في الدوران أيضا الى أن يدور الدلو والماء بنفس السرعة . وحينما يدور الماء ، فان سطحه سوف ينقوس لأسفل ، بسبب القوة



الشكل (١٠) : تجربة الدلو لنيوتن . يظل الحبل ثم يفرد الدلو المملوء بالماء (الشكل أ) يبدو فيه سطح الماء مستويا . حين يبدأ الدلو في الدوران (السهم المتصل) . يظل السطح مستويا (الحالة ب) . عند سرعة معينة للماء (السهم المتقطع) ينقوس سطح الماء لأسفل (الحالة ج) . اذا ما أوقف الدلو ، يظل تقوس الماء على حاله (الحالة د) ويوضح ذلك أن تقوس سطح الماء ليس مرتبطا بحركة الماء بالنسبة الى حركة الدلو .

الطاردة المركزية ، واذا ما أمسكت بالدلو لايقافه ، فان الماء سيظل يدور لفترة ، متخذا نفس الشكل المقوس .

يمكنك أن تحكم على دوران الماء بالنظر الى سطحه ، دون رجوع لاى شيء في الكون . فالماء ساكن حين يكون سطحه مستويا ، ومتحرك حين يكون مقوسا . وعلى وجه الخصوص ، فالتقوس لا علاقة له بحركة الدلو الحامل للماء . ففي بداية التجربة ، كان الدلو متحركا بالنسبة للماء ولكن السطح كان مستويا ، وفي نهايتها ، كان الدلو ساكنا ، والسطح مقوس، وفي وسطها ، لم تكن هناك حركة نسبية بين الدلو والماء ، ولكن السطح ظل مقوسا ، في حين أنه قبل بدء التجربة ، لم تكن هناك أيضا حركة نسبية بينهما ، ولكن السطح كان مستويا . وعلى ذلك يبدو أن التقوس يعتمد على الحركة المطلقة للماء ، تلك التي نسبها نيوتن الى أسماء الفضاء المطلق .

ولك أن تدفع بالتجربة قدما ، بتخيل أنك ثقلت الدلو والماء للقطب الشمالي ، وعندئذ فانه حتى لو كان الدلو متوقفا عن الدوران ، والماء به ساكن ، ستجد بالقياسات الدقيقة أن التقوس لا يزال موجودا . في هذه الحالة بسبب أن دوران الأرض يحمل الماء معه ، نفس الدوران الذي ، ولنفس السبب (القوة الطاردة المركزية) يتسبب في انبعاج الأرض عند خط الاستواء . فالدوران ليس شيئا ينسب حتى للأرض ، أو للشمس ، أو مركز المجرة ، فسطح الماء سيكون مستويا في الواقع فقط حيثما يكون الماء ساكنا (غير دوار) بالنسبة لأبعد نقطة في الكون .

والآن ، طبقا لنيوتن ، يكون سطح الماء مستويا حينما يكون الماء غير دوار بالنسبة للفضاء المطلق-وعلى ذلك ، فان اطار الاسناد الذي يحدد الفضاء المطلق يبدو أنه نفس اطار الاسناد الذي توجد فيه المجرات البعيدة . وتشبيه بذلك نوعا ان كافة المجرات ليست دوارة ، وان الكون بأسره غير دوار ، على الرغم من أن كافة ما فيه ، الكواكب والنجوم والمجرات المنفردة ، تدور . وان هذا المنطق يبدو ملائما لمنطقنا البديهي ، ربما لأن منطقنا البديهي مبني على ثلاثة قرون من الفيزياء النيوتونية ، ولكن هناك رؤية بديلة .

وقد ادعى معاصر لنيوتن ، جوتفريد لايبنز Gottfreid Leibniz انه « ليس هناك فراغ دون مادة » . وبعد عدة سنوات عارض الفيلسوف الاسقف جورج باركلي George Barkley ايضا فكرة الفضاء المطلق ، معتبرا اياها بغير معنى ، قائلا : « يكفي تغيير الفضاء المطلق الى فضاء نسبي محدد بالسماء وما فيها من نجوم » .

اما بالنسبة للحركة غير المنتظمة ، فقد كتب يقول : « أعتقد أن بامكاننا أن نجد كافة صور الحركة المطلقة التي بامكاننا تصورها ، في اعماقها ليست الا الحركة النسبية » . لقد اعتبر باركلي أن كل أشكال الحركة ، بما فيها التسارع والدوران ، يجب أن ينظر اليها على أنها نسبية بالنسبة للنجوم الثابتة ، وليس للفضاء .

ولتدعيم منطقه ، يسأل باركلي القارئ أن يتصور شكلا كرويا ، في فضاء فارغ الا منه . في مثل هذا الخواء بغير الملامح ، لا يمكن تصور حركة ما لذلك الجسم ، وحتى التسارع والدوران ليس لهما معنى ، والآن ، تصور كونا ليس فيه سوى جسمين مرتبطين بحبل ، من الممكن الآن تصور حركة نسبية على طول الخط بين الكرتين ، ولكن الحركة الدائرية للجسمين حول مركز مشترك ليست متصورة . في المقابل ، لو افترضنا أن سماء ممتلئة بالنجوم قد خلقت ، حينئذ يمكن تصور الحركة الدورانية بالنسبة لتلك الخلفية .

ويتعارض هذا صراحة مع رأي نيوتن حول ما يحدث في فرض باركلي ، فحتى الجسم الكروي المنفرد يمكن أن نحس بدورانه من انبعاجه عند وسطه ، والجسمان المربوطان بحبل يمكن الاحساس بدورانهما من الشد في الحبل ، والتأثيران يعودان للقوة الطاردة المركزية ، وقد بين نيوتن صراحة أن التأثير الذي يميز الحركة المطلقة عن النسبية هو تلك القوة .

ورغم النجاح الساحق لميكانيكا نيوتن ورؤية العالم من خلالها ، فان الموضوع الشائك للفضاء المطلق والدوران المطلق لم يختف . ففي

النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، تناول الموضوع الفيلسوف ايرنست ماخ Earnest Mach المعروف بأبحاثه في الصوت ، وتكريما لذكراه اطلق اسمه على سرعة الصوت - وقد رفض ماخ تقبل فكرة فضاء مطلق غير منظور ، قائلا ، كما ذهب باركلي ، ان الحركة المنتظمة غير المنتظمة كلتيهما نسبيتان - فالدوران مثلا ، نسبي بالنسبة للنجوم الثابتة ، ولكن هذا يترك موضوع القوة الطاردة مفتوحا ، فاذا لم تكن رد فعل من الفضاء المطلق ، فمن أين أتت ؟ ولقد افترض ماخ حلا وجيها ، فمن وجهة نظر الشيء الدوار ، يحس بالقوة الطاردة من منظر النجوم تدور ، فهي اذن مصدر تلك القوة - وعلى ذلك ، فالقوة الطاردة ، أو بعبارة أعم ، القصور الذاتي ، ليس رد فعل لفضاء مطلق غامض ، ولكن بسبب الأشياء المادية المتناثرة في الكون الفسيح طبقا لهذه الفكرة ، والتي عرفت ببدأ ماخ ، فان تقلص معدلك وانت في مركبة بالملاهي سببه جذب من نجوم (مجرات) على أبعاد سحيقة .

وعلى الرغم من أن ماخ لم يستطع ان يقدم صياغة دقيقة لكيفية حدوث ما ذهب اليه ، فان فكرة كون القصور الذاتي تفاعلا بين الجسم والأجسام البعيدة في الكون قد أثرت بعمق على الكثير من المفكرين - فأينشتين يعترف بأنه تأثر بكتابه « الميكانيكا » عند وضعه لنظريته عن الجاذبية ، المعروفة باسم النسبية العامة - ولكنه في هذا الوقت كان قد غير مفاهيم كثيرة عن طبيعة الفضاء والزمن ، في نظريته النسبية الخاصة التي نشرها عام ١٩٠٥ .

جيرة أينشتين

قوانين نيوتن حين تطبق على الحركة المنتظمة التي تكون فيها سرعة الأجسام واتجاهها ثابتا هي نفسها بالنسبة لكل مشاهد متحرك بسرعة منتظمة ، فهذه القوانين تنكر على أي مشاهد أو جسم مادي ميزة تحديد ثبات مطلق قياسي . وفي هذا الشعار ، يكون السؤال عن سرعة الأرض خلال الفضاء لا معنى له ، بالضبط كما لا يمكن لسفينة الأعداء الفضائية

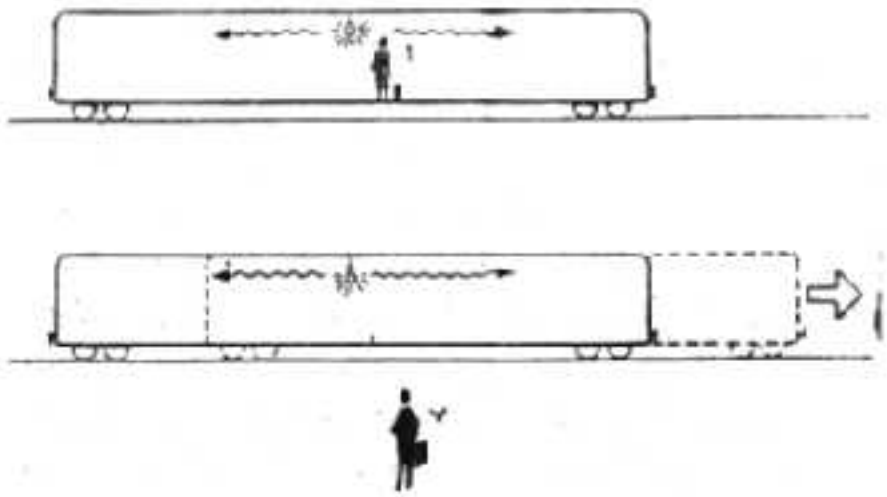
ان تتوقف في الفضاء . ولكن مسألة سرعة الأرض خلال الفضاء أخذت منعطفا جديدا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . فأعمال فاراداي وماكسويل كشفت عن وجود مجال كهرومغناطيسي كعامل مسئول عن نقل القوى الكهربية والمغناطيسية عبر ما كان يتصور أنه فراغ خاو . وقد استنبط ماكسويل المعادلات المعروفة باسمه ، والتي تصف كيفية نشر الموجات الكهرومغناطيسية لطريقها خلال الفضاء . وقد حسب سرعة هذه الموجات ، ووجد أنها بالضبط تساوي سرعة الضوء ، وحيث ان الضوء كانت سرعته معروفة . لكن ماهيته لم تكن كذلك . فان هذا كان دليلا قاطعا على أن الضوء هو نوع من تلك الموجات . ونحن نعلم ايضا أن الاشعاعات كأشعة الراديو وأشعة اكس وغيرها هي أيضا من نفس النوع ، وتنطلق بنفس السرعة . ولكن الشيء الغريب في هذا الرقم ، المعبر عن سرعة تلك الموجات ، أنه ثابت محدد بالمعادلات فقط . فأين المرجع الذي نسبت اليه هذه السرعة ؟ هذا ما تساءل عنه العلماء ، وبسببه ظهرت فكرة الأثير ، كوسط يملأ الفضاء بأكمله . فالموجات الكهرومغناطيسية ، والتي أصبحت ينظر اليها كاهتزازات منطلقة عبر الأثير ، يجب أن تكون سرعتها منسوبة للأثير . وقد استنتج ذلك على النو انه يمكن قياس سرعة الأرض بمفهوم مطلق ، وليس بالنسبة للفضاء الخاوي ، بل بالنسبة للأثير .

واصبح الأثير يلعب دور الاطار المرجعي لحالة السكون المطلق . فبالنسبة له يمكن ان تقاس حركات كافة الأجسام . واصبحت المهمة الأولى على مدى العقدين الأخيرين من القرن الماضي هي : قياس سرعة الأرض للأثير . وذلك بقياس الفرق بين سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض وسرعته متعامدا عليها . وجاءت المفاجأة المذهلة ، حيث اثبتت ادق التجارب دقة ، وعلى وجه الخصوص تلك التي أجريت بواسطة العالمين البرت ميكلسون Albert Mechelson وادوارد مورل Edward Morly من الولايات المتحدة . ان السرعة في الاتجاهين واحدة . لم توجد اية دلالة على اي تأثير تسببه الأرض في حركتها عبر الأثير .

ورغم أن آينشتين كان من تحقق على يديه حل اللغز الناتج عن عدم وجود أثر لتيار الأثير عن طريق نظرية النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ ، الا أن القضية كانت الشغل الشاغل لعلماء الفيزياء آنذاك . ومن المؤكد أن الأوان قد حان لتلك النظرية ، وانها لابد ظاهرة حتى بدون عبقرية آينشتين - والسمة الأساسية لتلك النظرية ثورية بمعنى الكلمة - فهى تفترض أن الأثير لا وجود له ، وأن السبب فى أن معادلات ماكسويل تعطى سرعة للضوء ثابتة على مستوى الكون ، هى أن هذه السرعة ثابتة مهما كانت سرعة من يقيسها - والأكثر من ذلك ، هذه السرعة الثابتة ، وهى سرعة الضوء ، تمثل الحد الأقصى لأية سرعة نسبية بين الأجسام المادية ، فلم يحدث على الاطلاق أن يقيس جسم سرعة جسم آخر ، ويجدها أسرع من سرعة الضوء .

ومن هذه الحقيقة ، أى ثبات سرعة الضوء على المستوى الكونى ، تنبع كافة غرائب النظرية النسبية ، ومنها الكماش الطول وتمدد الزمن . ويمكننا أن نعطى لمحة عن مضمون ذلك بتصور التجربة التالية : تخيل أن قطارا يتحرك وبمنتصف احدى مركباته مصدر للضوء ، فى لحظة معينة أرسلت نبضتان فى اتجاهين متضادين ، للأمام وللخلف من المركبة (الشكل ١١) . فراكب القطار سوف يتصوره ثابتا بالنسبة له ، ومن ثم فسيرى أن النبضتين سوف تصلان الى نهاية المركبة فى نفس الوقت تماما ، انهما منطلقتان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة .

لنتصور الآن مشاهدا واقفا على رصيف القطار ، يرتب القطار مندفعا فى اتجاهه - طبقا لمسلمة آينشتين ، فان سرعة الضوء هى نفسها بالنسبة له ولكلتا النبضتين ، فمن وجهة نظره تتقدم مؤخرة القطار تجاه شعاع الضوء القادم لها ، بينما تتباعد المقدمة عن الشعاع المرسل اليها ، بمعنى أن شعاع الضوء يقطع فى الحالة الأولى مسافة أقل من التى يقطعها الشعاع الآخر ، وبالتالى ستصل النبضة المتجهة للمؤخرة قبل تلك المتجهة للمقدمة .



الشكل (١١) : خدعة « الآن » . يومض المصباح مرسلا ومضتين فى الاتجاهين المتضادين فى العربة ، الجميع متفق على أن النبضتين قد أطلقتا فى نفس اللحظة ، ولكن هل هناك اتفاق على لحظتى وصولهما لنهايتى العربة ؟

(أ) من وجهة نظر المسافر ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة ، ولذا ستصلان فى نفس اللحظة لنهايتى العربة .

(ب) من وجهة نظر مشاهد على الرصيف ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة أيضا ، ولكن لا تقطعان نفس المسافة ، فالنهاية الخلفية تتحرك مع الضوء ، فتقل مسافة النبضة المتجهة اليها ، ويترتب عليه أن يرى النبضة المتجهة للخلف تصل قبل النبضة المتجهة للامام . يكمن سر الخلاف فى كون كلا الراقبين يريان الضوء يتحرك بنفس السرعة .

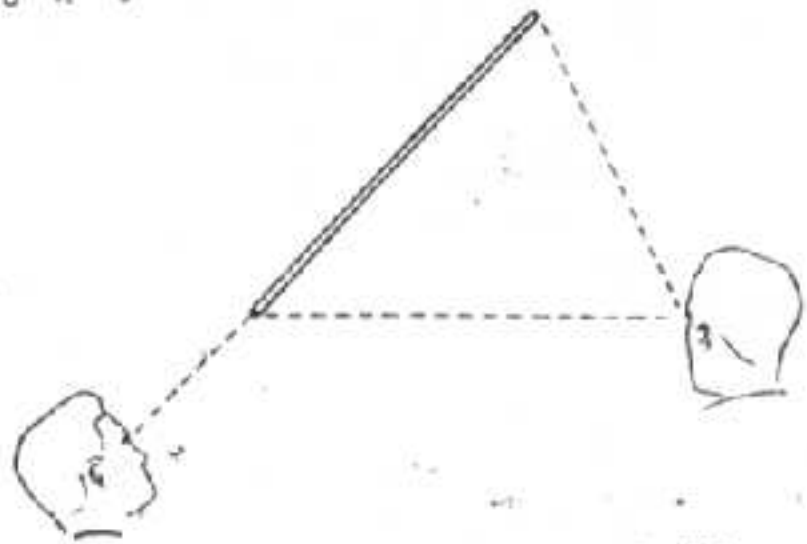
ما الذى نستخلصه من هذه التجربة الخيالية (٤) ؟ ان حادثتين آنيتين (وصول النبضتين لمقدمة العربة ومؤخرتها) بالنسبة لمشاهد (راكب القطار) ليستا كذلك بالنسبة لمشاهد آخر (المشاهد على الرصيف) - وبمعنى آخر ، فالآنية على المستوى الكونى ليست مطلقة ، بل هى نسبية ، فكل مشاهد له قياساته الخاصة به للفترات الزمنية بين الأحداث ، بحسب طبيعة حركته .

وبنفس الطريقة ، نجد أن لكل مشاهد قياساته الخاصة بالنسبة للمسافات بين نفس الأحداث - فمن المتصور أن يرى شخص منطلق فى الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء المسافة بين الأرض والشمس ١٥ كيلو مترا فقط ، بدلا من ١٥٠ مليون كيلو متر .

تزاوج الفضاء والزمن :

يفقد كل من الفضاء والزمن ، كل على استقلال ، استقلالهما في نظرية آينشتين - الا أن المزيج بينهما ، الزمكان spacetime ياخذ معنى جوهريا لا يظهر لو اخذنا كل عنصر من العنصرين على حدة ، فحين يغير جسم متحرك من حالته الحركية ، فان علاقة المكان بالزمن تتغير - مما ينتج عنه أن تتغير طريقة تصورهما - ولكن لما كان الفضاء والمكان هما واجهتين لكل أعم وأشمل - فان الزمكان ذاته يظل ثابتا في خواصه حتى بالنسبة للأجسام المتحركة بطرق مختلفة.وعلى الرغم من أن الزمن يظل فيزيائيا متميزا عن الفضاء ، الا أنه يوجد رباط وثيق يربط الزمن بالأبعاد الثلاثة للفضاء ، بما يبرر التحدث عنهما ككل واحد . كمتصل من أربعة أبعاد ، مستخدمين لغة رياضية تاخذ في الاعتبار التميز الفيزيقي بينهما -

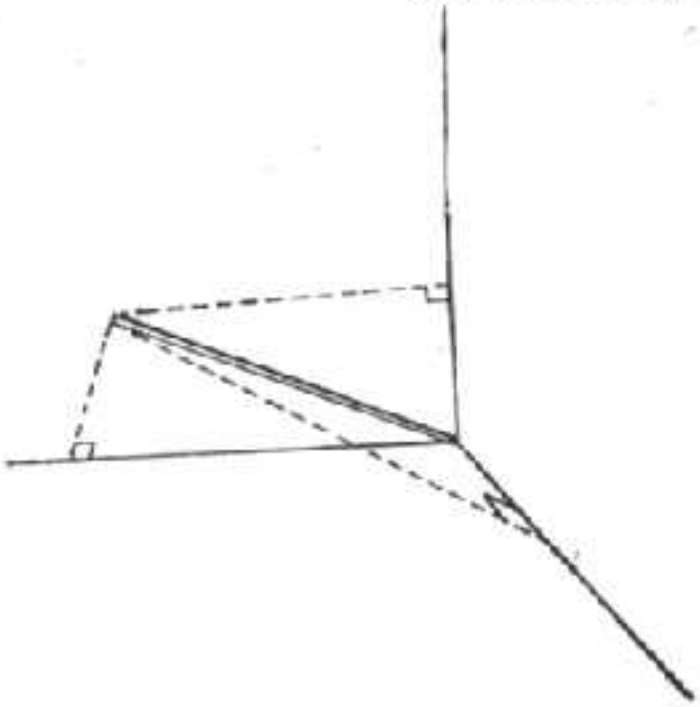
ويمكن فهم الفكرة بالمقارنة بالأبعاد الثلاثة المألوفة للمكان - تخيل عصا ننظر اليها من عدة اتجاهات - ان الطول الظاهري لها يختلف طبقا لزاوية الرؤية . كما هو مبين في الشكل (١٢) - فاذا نظرنا اليها من



الشكل (١٢) : يعتمد الطول الظاهري للعصا على الزاوية التي ننظر اليها بها ، فبينما يرى المشاهد (أ) العصا بكامل طولها ، يراها المشاهد (ب) كنقطة -

اتجاه متعامد عليها فسنظن لها بعدها الحقيقي . بينما لو نظرنا اليها في نفس اتجاه طولها لبدا طولها صفرا . الا أن العقل البشري قد تألف مع هذه الظاهرة ، فلم نعد نخدع بها -

ونوجد صياغة رياضية بسيطة تربط الطول الحقيقي بالأطوال الظاهرية في الأبعاد الثلاثة للمكان تقول : « للحصول على الطول الحقيقي — مربعات الأطوال الظاهرية ، واجمعها معا ، ثم خذ الجذر التربيعي للمجموع (الشكل ١٣) - وقد يشعر القارىء بحق انها تعميم لنظرية فيثاغورث في الأبعاد الثلاثة - ويقوم العقل البشري بهذه المهمة تلقائيا ، حيث يرى النتيجة شيئا بديهيا -



الشكل (١٣) : يمكن حساب الطول الحقيقي للعصا بتطبيق نظرية فيثاغورث على مسقط العصا على الاسطح الثلاثة المتعامدة -

وفي الأبعاد الأربعة للزمكان ، علينا أن ننظر ، للاشياء كالعصا على أنها ذات أبعاد أربعة . فما معنى ذلك ؟ انها تعني أنه لابد من الأخذ في

الاعتبار اللحظات التي يرى فيها نهايتي العصا - فلو كانت تلك اللحظات تقع عند أزمنة مختلفة ، فان العصا سيكون لها امتداد في الزمن كما هو لها في الفضاء . وفي هذا الوضع رباعي الأبعاد ، هناك أيضا اختلاف في الطول الظاهري للعصا . وحيث اننا نتحدث عن أربعة أبعاد وليس ثلاثة فان زاوية الرؤية ستكون أوسع مجالا . وقد عرفنا كيف تتغير زاوية الرؤية في الفضاء ، فكيف تغير الزاوية بين ، مثلا الاتجاه العمودي في الفضاء ، والزمن ؟ الاجابة ، بالتحرك في الاتجاه العمودي بسرعة محسوسة بالنسبة لسرعة الضوء ، عندئذ سيبدو الطول أقصر في اتجاه الحركة - هذا ببساطة هو الانكماش الطولي الذي لتمرنا اليه من قبل . وفي المقابل ، تتمدد الفترات الزمنية مع هذا التحرك . ويمكن النظر لهذا التأثير على أنه مقايضة بين المسافة والزمن . والسؤال اذن ، ما هي نسبة التحويل في هذه المقايضة ؟ حيث ان سرعة الضوء هي الرابطة بين الاثنين ، وهو ٣٠٠ ألف كيلو متر في الثانية ، فان الثانية تكون مساوية لمسافة ٣٠٠ ألف كيلو متر ، وهي ما نطلق عليه الثانية الضوئية (٦) .

والسبب في عدم شعورنا بالكون كرباعي الأبعاد هو ان المقايضة بين المسافة والزمن لا تحس الا عند التحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء ، وحيث ان تحرك جسم مادي بهذه السرعة أمر غير متصور في الحياة اليومية ، فلم يكن من داع لأن يتكيف العقل البشري على ذلك -

ولنأخذ مثالا محددا ، عند حوالي ٩٠ بالمائة من سرعة الضوء ، تنكمش الأطوال بحوالي النصف ، بينما تبطيء الساعة بحيث تسير بنصف سرعتها . الا أن هذه التغيرات ذات طبيعة نسبية ، أي منسوبة لشاهد معين . فالساحرة المنطلية العصا وتطير بتلك السرعة لن تشاهد أي تغير لا في طول عصاتها ولا في ساعتها التي تحدد مرور الزمن بالنسبة لها . بل انها سترى أن هذه التغيرات قد حدثت بالنسبة للارض ، فانكمشت فيها الأطوال وتباطأت الساعات بالنسبة لساعتها . وعلى ذلك ، فبالنسبة للمشاهدين المتحركين بسرعات مختلفة ، فكل سيرى التغير قد حاق بالمشاهد الآخر ، فانكمش طوله وتباطأت ساعته .

ورغم هذا التمازج الحميم بين الزمن والفضاء ، فان الزمن سيظل هو الزمن ، والفضاء هو الفضاء - هذا الشيء يجد تعبيرا عنه في الصياغة الرياضية ، بتعديل طفيف في نظرية فيثاغورث ، هو أن مربع الزمن (بعد تحويله لمسافة كما سبق) يطرح من مجموع مربعات المسافات ، لا يجمع عليها - هذا الفرق بدوره يتمخض عن نتائج غريبة . فناتج الطرح قد يكون موجبا ، سالبا ، او صفرا . أما في حالة الأبعاد المسافية الصرف ، فناتج الجمع موجب دائما ، ولا يمثل أخذ الجذر التربيعي مشكلة . أما في حالة الأبعاد الأربعة ، فالمسألة أعقد من ذلك -

لنفرض أن الحادثتين المرصودتين هما انفجار نجمين في السماء ، يبعدان سنتين ضوئيتين بالنسبة لاطار اسناد الأرض - فاذا ما رصد المشاهد الأرضي الفترة الزمنية بين الحادثتين على أنها ستة ، فان البعد الفراغي (سنتان ضوئيتان) يكون أكبر من البعد الزمني (ستة ضوئية) - ويكون ناتج الطرح للمربعات هو ٤ ـ ١ = ٣ ، وهو مقدار موجب - نقول هنا ان البعد الزمكاني هو « مكاني » الشة . أما لو رصدت الحادثتان على أن الزمن بينهما ثلاث سنوات ضوئية ، فان ناتج الطرح سيكون ٤ ـ ٩ = ٥ ، أي : مقدار سالب،والقارىء ذو الدراية بالرياضيات يعرف أن جذر العدد السالب هو كمية تخيلية . ونقول هنا ان البعد في الزمكان ذو سمة « زمنية » ، ولسوف نعود لهذه النقطة في موضع آخر -

ومن المحتمل أيضا ان يكون ناتج الطرح صفرا ، اذا تساوت المسافة الزمنية مع المسافة الفضائية (المكانية) ، بأن رصدت الفترة بين الحادثتين فكانت سنتين . هنا يكون البعد الزمكاني مساويا للصفر . فمن وجهة نظر الزمكان ، لا يوجد تباعد بين الحادثتين . هنا أيضا نقول ان البعد الزمكاني ذو سمة « زمنية » ، لأن الحادث هنا أن نبضة الضوء من الانفجار الأول قد وصلت النجم الثاني في لحظة انفجاره بالضبط . ولهذا السبب يمكن النظر للتقاط على مسار الزمكان لنبضة ضوئية على ان الأبعاد الزمكانية بينها صفر . وعلى ذلك ، فرغم أن الزمن والمكان قد امتد كلاهما بالنسبة للنبضة الضوئية ، فانه من وجهة نظر الزمكان لا يوجد أي

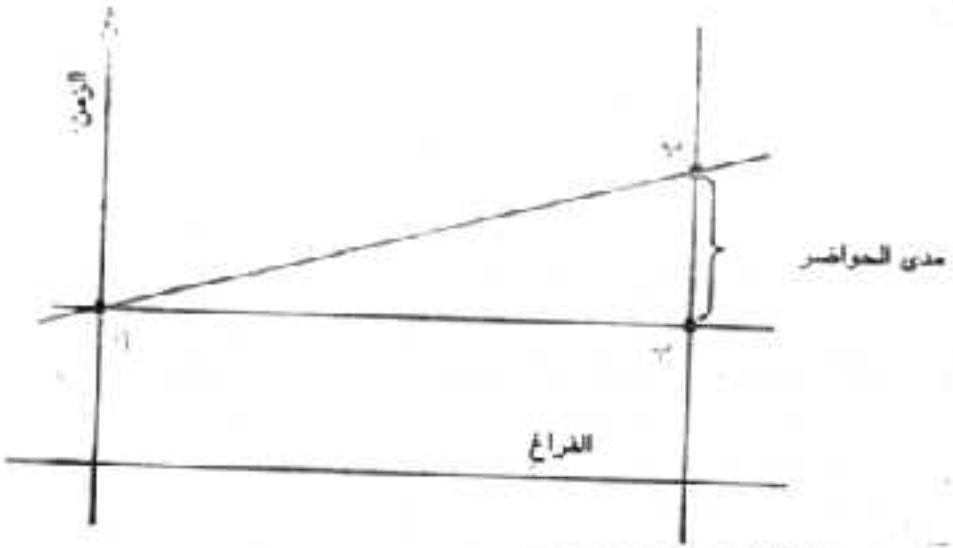
تباعد . ويعبر عن ذلك احيانا بان الفوتون (جسيم الضوء) يزور كل النقاط على خط مساره في نفس اللحظة . او انه بالنسبة للفوتون ليست هناك مسافة ما يقطعها عبر الكون .

وقد اظهر هذا التصور للكون رباعي الأبعاد مقدرة فائقة في تفسير الكثير من الظواهر الفيزيائية ، حتى غدا مفهوما ومقبولا تماما لتصور العالم . ولقد محي من منطق التفكير ما تعارفنا عليه من « الآن » . او تقسيم الزمن الى ماض وحاضر ومستقبل . وقد عبر آينشتين عن ذلك في خطاب لصديق حول الموت : « ان الماضي والحاضر والمستقبل بالنسبة لنا نحن الفيزيقيين المخضرمين ، مجرد خدعة مهما استقرت هذه المفاهيم في الاذهان » . والسبب في ذلك أن الزمن لم يعد ، من وجهة نظر النسبية ، « يحدث » حتيتا ، او لحظة بعد لحظة ، بل هو يمتد ، كما المسافة ، في كليته . فالزمن ببساطة « هناك » .

وحتى نفهم مدلول ذلك ، يجب ان نتفهم اولا ان « الآن » بالنسبة لنا ليس بالضرورة كذلك بالنسبة لك . والسبب في ذلك ، كما رأينا هو أن تواقت حادثتين متباعدتين في الفضاء هو أمر نسبي . فما يراه شخص قد حدث قبل شيء ما ، قد يراه آخر في مكان آخر قد حدث بعده . ونحن لا نحس بهذا في حياتنا اليومية لأن سرعة الضوء من الكبر بحيث ان اختلاف الفترات الزمنية ليس ملحوظا على مستوى المسافات الأرضية. أما على المستوى الفلكي . فالتأثير هائل . فحادثة في احدى المجرات قد تراها حدثت عند الظهر في معمل أرضي قد تبدو متأخرة لقرون من وجهة نظرك لو كنت منطلقا في مركبة بسرعة فائقة .

ولهذه الأفكار مضامين هائلة . فاذا كانت « اللحظة الحالية » امرا يختلف باختلاف تحرك المرء على المستوى الكوني ، فمعنى هذا انه لدينا مدى من « الحواضر » ، البعض منه قد يقع فيما تعتبره انت ماضيا ، والبعض فيما تعتبره مستقبلا ، على حسب المشاهدين (الشكل ١٤) . وبعبارة أخرى . فلحظات الزمن ليست أشياء ، تحدث ، في مكان في نفس الوقت . حيث لن يكون سوى « حاضر » واحد حقيقي . بل ان

الزمن يمتد بصورة ما . مثله في ذلك مثل المسافة المكانية . بحيث ان ما يعتبره شخص يحدث الآن ، هو أمر نسبي له هو .



الشكل (١٤) : بالنسبة لاطار مرجعي معين يكون الحدثان (١) و (ب) اللذين بمعنى ان (ب) يحدث في نفس اللحظة مع (١) . بالنسبة لاطار آخر ، فالحدث (ب) هو الذي يحدث في نفس اللحظة (١) - اي من الحدثين يمكن ان يعتبر حادثا « الآن » من وجهة نظر (١) . الاجابة : ليس اي منهما . فالآن مفهوم نسبي . هناك مدى من « اللحظات الحالية » ممتد من (ب) الى (ب) . يحسب السرعة التي يتحرك بها المراقب . وقد يكون المدى لعدة قرون ! - فاي جدل بان « اللحظة الحالية » هي الحقيقة جدل بلا معنى . فالزمن يمتد مثل الفضاء . ويكون الماضي والحاضر والمستقبل على قدم المساواة من حيث الوجود .

فهل يمكن تصور أن المستقبل ، من منظور ما ، واقع بالفعل « هناك » ؟ هل بامكاننا التنبؤ بالمستقبل ، بمجرد تغيير طبيعة التحرك ؟ في الواقع . فانه في تجربة القطار السابقة . لو تصورنا قطارا آخر يسير بسرعة تتجاوز القطار الأول ، فانه بالنسبة لشاهد على متنه ستكون الحوادث معكوسة في الزمن بالنسبة لما يشاهده مراقب الرصيف . سيبدو ذلك كما لو كان الزمن « يسير للوراء » ، من وجهة نظر ما ، على انك لا يمكنك السفر بسرعة كافية تمكنك من رؤية مستقبلك انت . فلكي يتحقق ذلك ، يجب أن تنتقل المعلومات عن مستقبلك بسرعة ستكون معها

حاصل طرح المربعات سالبا . وقد ذكرنا أن السفر بسرعة الضوء يجعل المسافة الزمكانية تساوى الصفر ، ولجعل هذه المسافة أصغر من ذلك ، حتى تكون المسافة سالبة ، يتطلب الأمر تحركا بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، وهو الأمر المحظور طبقا للنظرية النسبية .

وبصورة أكثر تحديدا ، فالنظرية تمنع أى تأثير فيزيقى ، أو قوة ، أو اشارة أن تتسارع حتى تكتسب سرعة أكبر من سرعة الضوء . ومعنى ذلك أن الحوادث التى ليست بينها رابطة سببية هى فقط التى يمكن للزمن أن ينعكس فيما بينها . ففى حالة مثال القطارين ، مهما كان اطار الاسناد للمشاهد ، فسوف تصل الاشارتان الى نهايتى المركبة بعد لحظة اطلاقهما، وليس قبلها ، حيث ان الاطلاق مرتبط سببيا بالوصول . اما لحظتا وصولهما بالنسبة لبعضها البعض فيمكن أن تنعكسا من مشاهد اخر ، حيث انه ليس لأيهما تأثير على الأخرى . اما بالنسبة للسبب والتأثير ، فاقصى ما يمكن حدوثه ، مع الاقتراب من سرعة الضوء ، هو ان يظهرا كما لو كانا فى لحظة واحدة . ولكن لن ينعكس ترتيبهما على الاطلاق . فخداع انعكاس ترتيب الحوادث يمكن فقط فى الحالات غير المتأثرة ببعضها البعض ، فليس لنا ، بأية حال ، ان نعكس التسلسل السببى .

ولعله من المناسب أن نذكر ، باختصار ، أن كل مضامين النظرية النسبية ، بما فى ذلك الانكماش الطول وتمدد الزمن والحاجة الى القياس فى الأبعاد الأربعة قد تأكدت بالتجارب المباشرة . فهناك الكثير من الجسيمات دون الذرية التى تنتج فى المعجلات الذرية ، وهى التى يمكنها التحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، قد اظهرت صراحة آثارا كالتى تنبأت بها النظرية النسبية . واحيانا ما تكون هذه التأثيرات حاسمة . فعلى سبيل المثال ، يمكن ان يمتد العمر المقرر لجسيم منها بمقدار قد يصل لعشرين مرة أو أكثر .

وفى أحد المعجلات المذكورة ، تمت الاستفادة من تمديد الزمن . فالالكترون حين يعجل يبث اشعاعات كهرومغناطيسية . وقد وجد انه مع زيادة سرعته فان طول الموجة المشعة يزداد ، وهو ما يجعل الاشعاع أ... فائدة فى بعض الاستخدامات العملية - وايضا ، فى الذرات الثقيلة

يمكن أن تصل سرعة الالكترونات حول النواة الى سرعات تقترب من سرعه الضوء ، فتتعرض بذلك لتأثيرات النسبية ، وهو ما قد يؤثر على خواص المادة ككل ، فاليها يرجع مثلا بريق المعادن .

وكنتيجة لعشرات السنين من التجارب الدقيقة ، لم يعد هناك شك بأية درجة فى دقة النظرية النسبية الخاصة ، كتعبير عن المكان والزمن من وجهة نظر المشاهدين ذوى السرعات الثابتة والمختلفة بالنسبة لبعضهم البعض . والقصور فيها هو أنها ليست مؤهلة للتعامل مع الحركة غير المنتظمة ، أو مع الجاذبية . وهو ما تولى آينشتين تحقيقه فى نظريته النسبية العامة ، والتى سميت كذلك لكونها تتعامل مع أمور أعم مما تتعامل معه النسبية الخاصة .

الوقوع فى قبضة الجاذبية

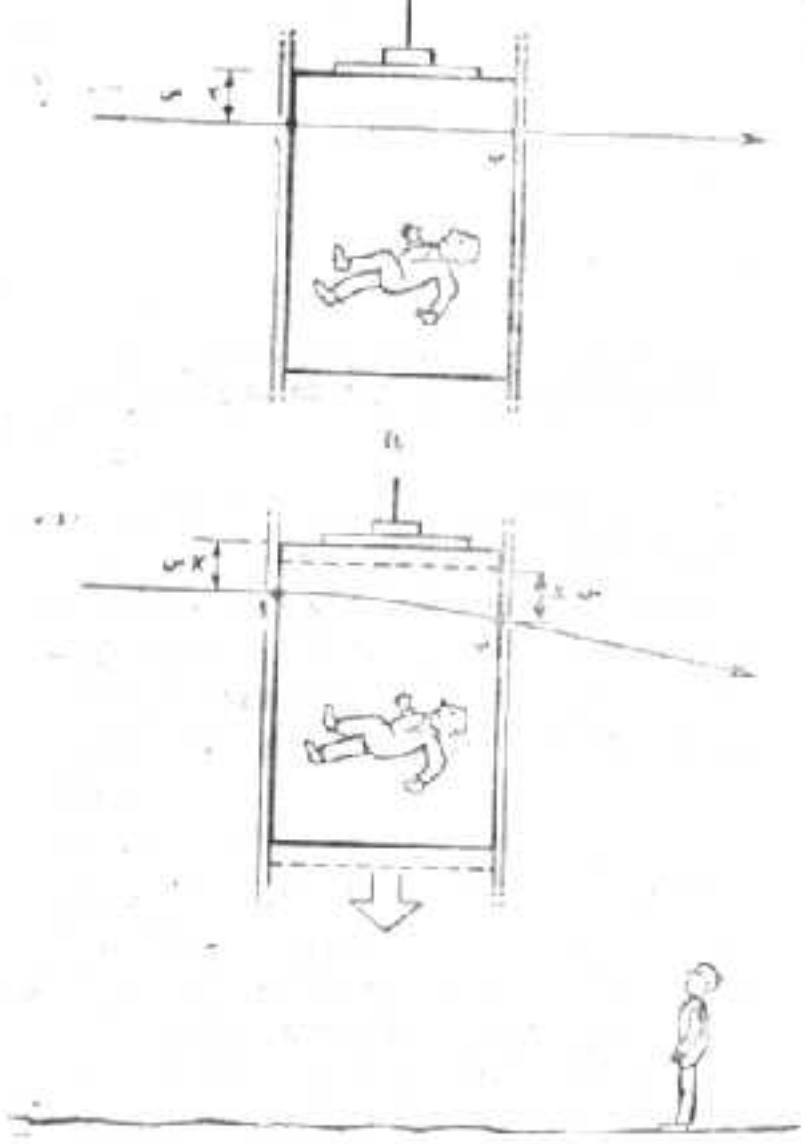
على العكس من النسبية الخاصة ، لم تكن النسبية العامة لتظهر لعشرات من السنين لولا عبقرية آينشتين . فعلى الرغم من كون مسألة القصور الذاتى قد شغلت بعض الناس ، مثل ماخ ، الا انه لم يحدث أمر ملح يدعو لتنقيح النظرية النسبية الخاصة ، على غرار تجربة مورلى ـ ميكلسون التى بينت القصور فى نظرية نيوتن . ولقد قام آينشتين بعمله الرائع كصياغة رياضية لوصف الكون ـ كأحد أعمال التجريد النظرى على أرفى مستوى . وباستثناء بعض التجارب التى أجريت بعد نشر النظرية بوقت قليل ، فان الأمر تطلب ستين عاما ، الى أن اكتشفت النابضات ، والكوازارات ، والثقوب السوداء ، لتقف النظرية كاحدى الدعائم الأساسية للعلم الحديث ، تشرح خصائص جوهرية للكون . والسبب فى سعة تطبيقاتها فى المجال الفلكى هو أن كل هذه الأجرام العجيبة تمتلك مجالا جاذبيا مهولا ، والنظرية النسبية العامة هى فى الأعم الغالب منها ، نظرية عن الجاذبية .

وكان نفاذ بصيرة آينشتين فيما يتعلق بطبيعة الجاذبية بسبب تفكيره العميق فى لغز القوى المصاحبة للسرعة غير المنتظمة ، قوى القصور

الخالي . وكان يقول ان الالهام الذي قاده الى طريق هذه النظرية اتى من فكرة أن الشخص الساقط من سطح ، او المحبوس في مصعد يسقط ، لا يشعر بقوة الجاذبية . فلو أن المصعد أخذ في التسارع الى أن استطاع ان يتلاشى تأثير الجاذبية بالضبط ، وتعادل بذلك لانعدام الوزن ، فان قوة الجاذبية وقوة القصور سوف يتكافآن كل منهما مع الآخر (٧) .

والتكافؤ بين قوى الجاذبية وقوة القصور الذاتي هو محور جوهري في النسبية العامة . فقد رفعه الى مستوى المبادئ الأساسية . وهو يؤدي مباشرة الى احد اهم توقعات النظرية . تخيل انك في مصعد يهوي . وانك تطلع الى شعاع من الضوء عابر للمصعد . فبالنسبة للمصعد ، يسير الضوء في خط مستقيم ، ولكن بالنسبة لمراقب على الأرض ، فالشعاع ينحني ، كما هو مبين في الشكل (١٥) . وهذا المراقب سوف يعزو الانحناء الى تأثير الجاذبية . وعلى ذلك فقد تنبأ أينشتين بان الضوء ينحني بتأثير الجاذبية . هذا التنبؤ قد اختبر بواسطة الفلكي آرثر ادنجتون Arthur Eddington خلال الكسوف الكلي لعام ١٩١٩ . وقد قاس ادنجتون الازاحة الطفيفة في مواضع النجوم بالقرب من قرص الشمس الكاسف . وقد عزى ذلك الى انحناء شعاع الضوء عند مروره بالقرب من الشمس (الشكل ١٦) .

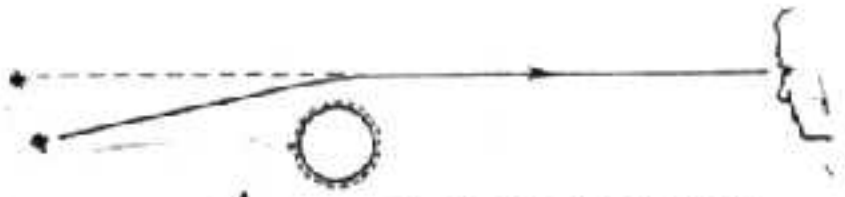
وحقيقة أن الشخص المراقب في مصعد يهوي يتعدم وزنه ، يجعل الأمر يبدو كما لو كانت الجاذبية يمكن تلافيها بمجرد تغيير اطار الاسناد . الا أن الامر على خلاف ذلك . فحتى بالنسبة للمصعد الساقط يمكن للمراقب أن يقول ان الأرض تمارس جاذبيتها . فالأشياء القريبة من أرضية المصعد اقرب شيئا ما للأرض عن الموجودة قرب السقف . وحيث ان جاذبية الأرض تقل بزيادة المسافة ، فان الأشياء القريبة من الأرضية تتسارع بسرعة أكبر قليلا عن المرتفعة . ويترتب على ذلك أن الأشياء الساقطة ستؤول حرا على ارتفاعات مختلفة (سواء أكانت في مصعد أم لا) تميل للتباعد . وفي الواقع فان هذه الحركات التفاضلية هي المسئولة عن ارتفاع المد في المحيطات بسبب القمر ، ومن ثم يطلق عليها « قوى المد tidal forces » .



الشكل (١٥) : فوتون (ومضة ضوء) يعبر مصعدا ساقطا ، من نقب الى نقب مقابل .

(أ) بالنسبة للاطار المرجعي للشخص البالغ الموجود داخل المصعد ، (والذي بالنسبة له يعتبر المصعد في حالة سكون) ، يدخل الفوتون من النقطة (س) ويخرج من (ص) ، وكلتاهما على نفس المسافة من السقف ، فيبدو المسار خطا مستقيما .

(ب) بالنسبة للشاهد على الارض ، يأخذ المصعد هيئة المستطيل خلال زمن عبور الضوء . ولكي يخرج الضوء من نقطة على نفس المسافة من السقف ، يجب ان يميل قليلا ، وعلى ذلك فالجاذبية تحني الضوء .



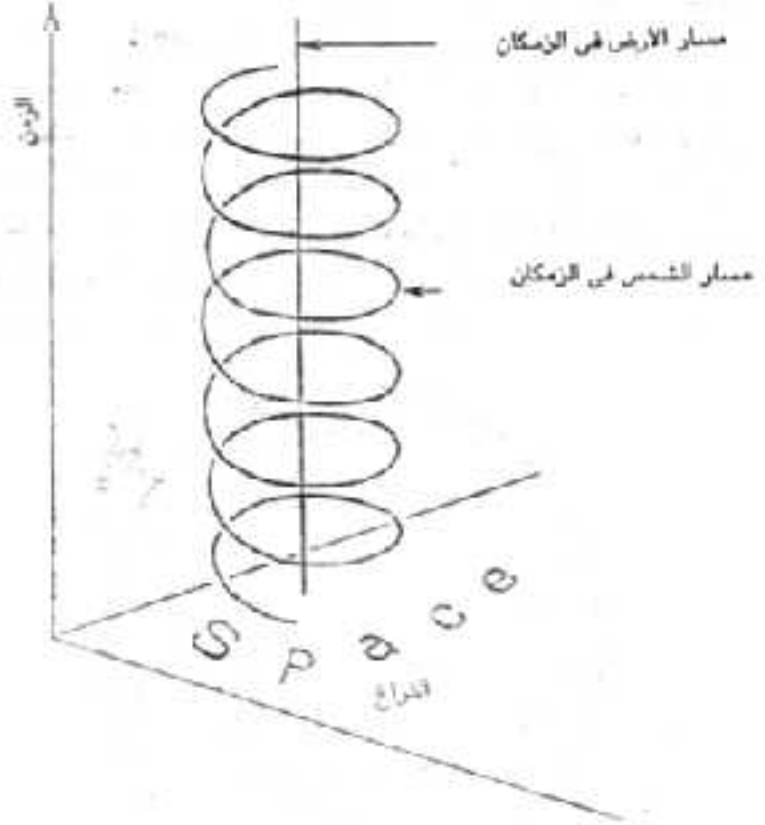
الشكل (١٦) : جاذبية الشمس تحني الضوء ، ومن ثم يبدو نجم عند رؤيته في وجود الشمس (وهو ممكن فقط اثناء كسوف كلي) مزاحا بقدر معين عن مكانه الاصلي .

وقد ادرك اينشتين ان قوى المد لا يمكن ان تتلاشى بتغيير اطار الاسناد ، فهي تمثل تأثيرا حقيقيا للمجال التجاذبي في مماوسته لنشاطه . وقد ذهب الى أنه اذا كان تأثير هذه القوى هو أن تمط أو تشوه من المسافات بين الأجسام الساقطة سقوطا حرا ، فان الوصف الأكثر اقناعا لجاذبية المد هو أنها تشويه أو مط للزمكان ذاته . وبمعنى آخر ، بدلا من النظر للجاذبية كقوة ، يدعونا اينشتين أن ننظر اليها كتقوس أو التواء في الزمكان .

ومن منظور معين ، يمكن النظر الى انحناء شعاع النجوم عند مرورها بالقرب من الشمس على أنه مسبح مباشر لتقوس الفضاء حولها . ولكن من المهم ادراك أن التقوس حادث في الزمكان ، وليس في المكان فقط فالأرض تتبع مسارا اهليجيا مقفلا حول الشمس ، وفي اول لقاء بالنظرية النسبية العامة من الطبيعي ان نخمن أن هذا يعني أن الكوكب يتبع مسارا خلال الفضاء المقوس الخاضع لمجال جاذبية الشمس . ولكن حيث ان مسار الأرض مقفل ، فان هذا قد يبدو وكان الفضاء مطوي بصورة ما حول الشمس . يبتلع المجموعة الشمسية فيما يدعى الثقوب السوداء . ومن الواضح فساد هذا التصور . والخطأ دقيق ، ولكنه جوهري . فمن وجهة نظر الزمكان ، فالمسار ليس مقفلا ، ولكنه يأخذ الشكل اللولبي المبين في الشكل (١٧) .

فبعد كل دورة حول الشمس ، تعود الأرض الى موقعها السابق في المكان ، ولكن في زمن مختلف ، متقدمة سنة بعد أخرى مع كل دورة .

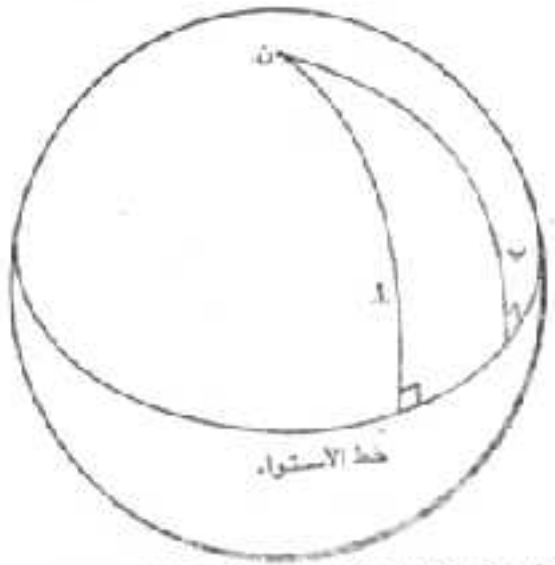
وفي كل مرة تأخذ الرمن في الاعتبار كجزء من الزمكان ، فاننا نضربه في سرعة الضوء ، وهي كمية كبيرة ، مما يعني أن اللولب سيمط في البعد الزمني بصورة هائلة . ، فالمسافة ، على طول المحور التي تقابل دورة واحدة هي سنة ضوئية ، اي حوالي ٩٥٠٠ بليون كيلو متر . وعلى ذلك فالصورة الصحيحة لمسار الأرض حول الشمس من منظور تقوس الزمكان ان التقوس غاية في الضآلة . عند الضآلة مرجعها الى ان جاذبية الشمس، مع كبرها بالقياس الأرضي ، ضئيلة بالفعل على القياس الفلكي . وليس نشاهد تأثيرات جوهرية لمثل هذا التقوس مع الأجرام ذات الجاذبية الفائقة .



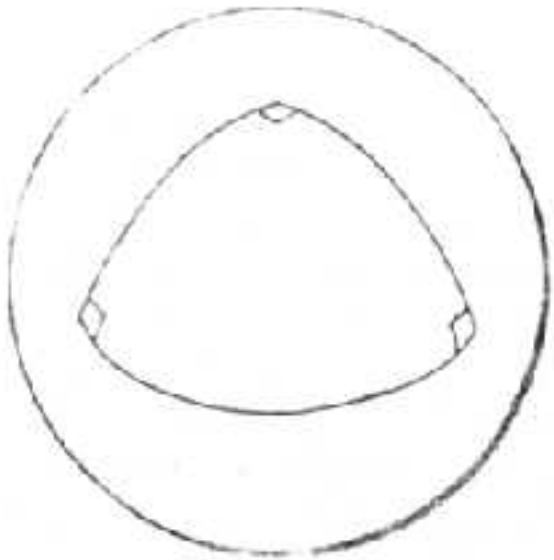
الشكل (١٧) : تبدو الأرض حين ينظر اليها عبر الزمان متخذة مسارا لولبيا حول الشمس . ولان كل تحطة يجب ان تضرب في سرعة الضوء (وهي مقدار ضخم) لكي يمكن مقارنة الزمن بالمسافة ، فان اللولب يبدو ممطوطا بدرجة كبيرة جدا في الاتجاه الرأسي كما يبدو في الشكل .

وتتمثل جرأة آينشتين في تعرضه لمسألة الجاذبية والحركة غير المنتظمة في الغائه لفكرة الفضاء المسطح ، وادخاله فكرة الزمكان المقوس. وبعد أن هدم نظرية نيوتن في نسبيته الخاصة ، ففي نسبيته العامة هدم الهندسة الاقليدية في وصفها للكون في نسبيته العامة .

ولكن ما الفضاء المقوس ، ناهيك عن الزمكان المقوس ؟ لنعد الى النقطة الجوهرية في هندسة اقليدس ، الخطوط المتوازية التي لا تلتقي مهما امتدت . في القرن التاسع عشر ابتكر كارل جاوس Karl Gauss وجورج ريمان Gorge Reimann ونيكولاي لوباشفسكي Nikolay Lobachevsky الهندسة غير الاقليدية (٨) ، والتي لا وجود فيها لخطوط متوازية ، وهي هندسة تطبق في دراسة الأسطح المنحنية ، فعلى سطح الأرض مثلا ، قد تبدو الخطوط متوازية في البداية ، ولكنها ستتلاقى بالضرورة في النهاية (الشكل ١٨) ، والهندسة غير الاقليدية لها خواص تختلف عن الاقليدية ، فبينما مجموع زوايا المثلث في الهندسة الاقليدية هو زاويتان قائمتان ، فان المثلث المبين في الشكل (١٩) ، والمرسوم على سطح كرة ، له ثلاث زوايا قائمة .



الشكل (١٨) : عند خط الاستواء ، تبدو خطوط الطول متوازية ، الا انها تلتقي عند القطبين بسبب انحناء سطح الأرض .



الشكل (١٩) : على السطوح المنحنية ، يمكن أن يكون المثلث محتويا على ثلاثة زوايا قائمة ، اى يكون مجموع زواياه ٢٧٠ درجة .

فحينما وصف الجاذبية على أنها تقوس في الزمكان ، كان آينشتين يقصد تطبيق الهندسة غير الاقليدية عليه . ففكرة أن المكان والزمن يمكن ان يشوها بما يجرى فيهما من حركة ، فان الفكرة قد امتدت للجاذبية ، بحيث ان وجود المادة في الزمكان يمكن أن تسبب التشوه ، أو التقوس ، في المكان والزمن . ففي نظرية آينشتين ، وعلى عكس الوضع في نظرية نيوتن ، يجب معاملة الزمكان كنظام رياضي له كيانه ، فهو ليس مجرد ساحة تلعب فيها الطبيعة العابها ، بل هو أحد الداخلين في اللعبة . ومعنى ذلك انه توجد قوانين ميكانيكية للزمكان ذاته ، قوانين تحكم كيفية تغيره . وبينما الأجرام ذات الجاذبية تتحرك ، فان المكان والزمن يتشكلان بحيث ان المزيج منهما يتغير . بل من الممكن أن يحدث اهتزازات في الزمكان،على صورة موجات الجاذبية gravitational waves ،وهي الظاهرة التي سنتناولها في الفصل السادس .

تبدنا النسبية العامة بالوصف الدقيق لكيفية تحرك الأجسام في وجود المجال التجاذبي من خلال فكرة تقوس الزمكان . وقد عبر جون ويلر John Wheeler أحد المتولين عن تطوير النظرية النسبية العامة في عام

١٩٦٠ عن هذه الرابطة بالقاعدة الأصولية التالية : « تخبر المادة الفضاء كيف ينحني ، ويخبر الفضاء المادة كيف تتحرك » - ولكن النسبية العامة مع ذلك لا تنجح تماما في ادخال مبدأ ماخ في الصورة - فالقوة الوحيدة التي تبرر تأثير المجرات البعيدة على معدلك وأنت في مركبة الملاحي هي الجاذبية ، ولكن الجاذبية تبدو للوهلة الأولى أوهن بمراحل من ان تقوم بهذه المهمة - فقانون التربيع العكسي لنيوتن لا يزال مطبقا في النسبية العامة ، ويبين كيف تضعف الجاذبية بمعدل سريع مع المسافة - وفي المقابل ، فتركيز المادة في الكون ثابت الى حد كبير على المستوى الشاسع ، بما يجعل كمية المادة في شريحة كروية من الكون مركزها الأرض وبسمك معين يتناسب مع حجم تلك الشريحة ، وبالتالي متناسب مع مربع المسافة اليها - وعلى ذلك فرغم ان جاذبيـــة كل كسرة من المادة لا تؤثر فينا الا تأثيرا واهنا ، فانه يوجد قدر من المادة يكفي لمعادلة هذا الضعف -

وهذه مصادفة مثيرة ، تشجعنا على ان نفترض انه حين يبدأ جسم في الدوران فانها تبث اضطرابات جاذبية في أعماق الفضاء ، بما يجعل كل المجرات في الكون تتحرك وتتفاعل متأثرة لتنتج القوة الطاردة التي نلاحظها - ولكن هذا التصور المبسط لن ينجح للأسف ، فرد الفعل على الأجسام الدوارة يجب ان يكون لحظيا ، ولكن النظرية النسبية ترفض اي تأثير يتجاوز في سرعته سرعة الضوء ، وحتى عند سرعة الضوء ، فان ملايين او بلايين من السنوات يجب ان تنقضي قبل ان يظهر أثر المجرات البعيدة في الفضاء على الأرض - فاي ميكانزم مبني على التأثير المباشر يجب أن يتضمن فكرة ردود افعال تعمل في زمن معكوس - ورغم محاولات وضع تصورات من هذا القبيل ، فلم يكن منها ما هو مقبول -

ويحاول اغلب أنصار مبدأ ماخ اليوم ان ان يضمنوه في علم الفلك ليس بمفهوم الاثارة ورد الفعل ، ولكن كجزء من الشروط الحدودية الحذية للكون ، بمعنى انه تعبير عن تنظيم المجال التجاذبي للكون باكمله - وقد حاول آينشتين ، وهو الذي كان شغوفا بمبدأ ماخ كما قدمنا ، ان يضمنه بهذه الطريقة في نظريته ، وبعد عقود من المحاولات ، وصل النسبويون (المهتمون بنظرية النسبية) الى نتيجة مفادها ان المبدأ لن

يصم للنظرية الا في كون مغلق ومحدود - وابسط طريقة لشرح معنى ذلك هو تصور سطح الأرض - فكوكبنا محدود بكل تأكيد ، ملتف في شكل كروي الى حد ما ، ولكنه بغير حواف ، ارحل في اي اتجاه وستجد نفسك قد عدت الى نفس النقطة - وبهذا المفهوم فالسطح مغلق ، ولكنه بدون حدود - فلو كان الكون باكمله مغلقا ، فان المرء يمكنه تصور فضاء ثلاثي الأبعاد ، ملتف حول نفسه في شكل يتيح حجما محددا ، ولكن بلا حواف - وسوف يتحقق انك لو تحركت في اتجاه واحد لمدة كافية ، فانما يحدث على الأرض ، ستعود الى نفس النقطة -

ولكن رغم ما يبدو من ان مبدأ ماخ لن ينجح الا في كون مغلق ، فان الكون المغلق لا يجب بالضرورة ان يتضمن المبدأ - وبشكل عام ، فالنسبية العامة ليست متوافقة مع ذلك المبدأ - وفي عام ١٩٤٩ وجد الرياضي كورت جودل Kurt Godel من معهد الدراسات المتقدمة في برنستون حلا لمعادلة آينشتين يمكن ان تصف كونا دوارا - ولا يعني ذلك اننا نقطن كونا دوارا بالفعل ، ولكنه يبين ان مبدأ ماخ ليس محتوى في النسبية العامة ، حيث ان دوران الكون ككل امر لا معنى له طبقا لمنطق ماخ ، فالنسبية لاي شيء يدور الكون باكمله ؟ ومن هذا المنطلق فان النسبية العامة ، وبالرغم من اسمها ، أقرب لروح فضاء نيوتن المطلق منها الى حركة ماخ وباركل النسبية -

ومع ذلك ، فالنظرية تتبنا ببعض التأثيرات المتعلقة بمبدأ ماخ - ومن ذلك ما اكتشفه آينشتين نفسه ، وكتب عنه لماخ - فقد وصل بمنطقه الى أنه اذا كان دوران جسم سيعتبر انه بالنسبة للكون المليء بالأجسام المادية باكمله ، فان كل جسم في الكون يجب أن يمارس بعضا من التأثير عليه - والجزء الأكبر من القوة الطاردة يجب ان تعزى الى ابعد الأجسام في الكون - وبعد ذلك بحث آينشتين حالة جسم موجود داخل شريحة كروية سميكة تدور حول محورها (بالنسبة للنجوم البعيدة) بسرعة فائقة - وبالقدر الذي تساهم فيه الشريحة في تأثير ماخ الكوني ، فانها يجب ان تمارس قدرا ضئيلا ولكن ملموسا على الجسم الذي بداخلها ، على شكل قوة تجره في اتجاه الدوران -

ومن الممكن قياس تأثيرات مشابهة في الوقت الحاضر . فقد اقترح ويليام فيربانك William Fairbank منذ مدة تجربة تجرى في الفضاء حول جيروسكوب يدور حول الأرض . وحساب مثل ذلك الجر الذى يسببه دوران كوكبنا . فطبقا لنيوتن ، فالجيروسكوب يجب ان يشير الى موضع ثابت بالنسبة للنجوم البعيدة . ولكن طبقا لأينشتين فان دوران الأرض يترك أثره الماثل لانتواء في مجالها الجذبي . وسوف يصل لأجواز الفضاء ويجذب الجيروسكوب معها في اتجاه الدوران . هذه التجربة قد تجرى على متن مكوك الفضاء « شاتل Shuttle » في عام ١٩٩٠ ، ولكن مهما كانت نتيجة تأثير النسبية التي ستتمخض عنها ، فانها لن تثبت صحة مبدأ ماخ .

ويظل مبدأ ماخ محيرا ، ومثيرا للتفكير ، وتكمن اثارته في ترجيعه للكون في وحدة واحدة ، واعطائه لأجزاء من المادة لم يكن يحسب لها خطر دورا حاسما على المستوى الكوني . ومن الصعب تصور كيف يمكن التحقق منه عن طريق المشاهدة . ولكن من جهة أخرى يمكن اثبات خطئه لو حدث واكتشف أن الكون يدور ككل واحد (أي بالنسبة لاطار الاسناد الذى تختفي فيه القوة الطاردة) . وسيظهر ذلك في الخلفية الاشعاعية للكون ، والتي تختلف عن الانفجار العظيم الذى تولد عنه الكون . هذا الاشعاع الذى يتخلل الكون يحمل بصمة كافة الحركات الكبرى ، وسيظهر دوران الكون على صورة تغيرات بما في ذلك درجة حرارة هذا الاشعاع في مناطق السماء المختلفة . وتبين المشاهدات أن الاشعاع منتظم بدرجة تدعو للدهشة . ومن الممكن ان نضع حدا أعلى شديد الصرامة على ما يسمح له من دوران للكون . فقد اتضح انه لو خلت وكان الكون دوارا ، فلن يكون قد دار سوى عدة درجات قليلة منذ منشئه .

وبالنسبة لرافضي مبدأ ماخ ، فان هذه المشاهدات تمثل لهم لغزا . فليس هناك من سبب واضح لماذا يكون معدل دوران الكون صفرا . وبعبارة أخرى ، لو كان الدوران مطلقا ، فانها تكون مجرد صدفة . صدفة غلكية ، ان اطار الاسناد الذى تختفي فيه القوى الطاردة هو بالضبط مساو لاطار الاسناد المحدد بالمجرات البعيدة . مثل هذه المصادفة قد عرض لها العلماء ، كما تعرضوا لصدف أخرى في الفلك ، فيما يسمى

بالنظرية التضخمية inflationery theory المرتبطة بنشأة الكون من الانفجار العظيم .

وقبل أن نتناول موضوع التضخم الفلكي في مضمار الفيزياء الحديثة ومدى فهمنا للزمن والمكان ، فانه يجب اولا اخذ صورة عن الكون التقليدي كما ترسمه النسبية العامة . وحتى لا يشعر أحد القراء بأن فهمه لمفاهيم النسبية لن يكون على المستوى الذى يؤهله لاستيعابها ، فسنعرض رواية لأحداث يبين فيها كيف تمكن من هذه المفاهيم .

اعتراف من نسبوي

هناك أمر مثير بالنسبة للسير آرثر ادنجتون ، والذى قاد فريق البحث في موضوع النسبية في العشرينيات والثلاثينيات . فقد سئل يوما ما ان يعلق على الاشاعة القائلة بان ثلاثة فقط على مستوى العالم يفهمونها ، وكان ذلك يشير ضمنيا له ولأينشتين . فقد قال بعد تدبر : « ترى من هو الثالث ؟ » .

ان الشهرة المفزعة للنسبية كثيرا ما تثير التعليقات . ومن الشائع أن نظرية يضعها عبقري مثل أينشتين ، يجب أن تكون خارج مقدرة الانسان العادى في فهمها . على ان هذه النظرية تدرس بصورة روتينية اليوم في الجامعات ، كما تحتوى المكتبات على كتب على مستوى الطلاب عنها . فاما أن طلابنا أكثر ذكاء مما نتوقع ، أو ان النظرية ليست مفزعة بالقدر الشائع عنها . ومع ذلك ، فهناك أناس بالفعل يجدون صعوبة في فهم أفكارها ، أو في تصديق أن الكون يتفق مع بعض ما تتنبأ به .

وقد بدأ صراعي لفهم النظرية عام ١٩٦٠ ، حين كنت في الرابعة عشرة . كان العالم الرياضي الشهير سير هرمان بوندي Sir Herman Bondi قد دعي لالقاء محاضرة على الطلاب وأولياء أمورهم في مدرستي بلندن . وكان الموضوع هو « النظرية النسبية » . وكانت بلاغة عرض بوندي مثيرة للالهام بشكل عجيب . ورغم ذلك فقد ضاعت الى درجة اليأس في التفاصيل الفنية . فالرسومات التوضيحية التي عرضها بوندي عن الزمن

والمكان والمليئة بالاشارات الضوئية المتحركة جيئة وذهابا تركتني في بلبلة شديدة .

وبعد ذلك بفترة وجيزة اكتشفت كتابا كتبه آينشتين نفسه . عنوانه « معنى النسبية » . ويا للأسف . فمع عبقريته البالغة كان كاتبا غير موفق . ووجدت الكتاب بلا جدوى . الا أن الفكرة الجوهرية كانت قد غرست في نفسي . ذلك أن سرعة الضوء ثابتة بصرف النظر عمن يقيسها . أو كيفية تحرك مصدر الضوء . مثل هذه النتيجة الواضحة بشكل ملفز تتحدى القدرة على التخيل . ولكني . بسبب عمري آنذاك . كنت شغوفا بالمفاهيم الغريبة . ومن ثم تقبلت الفكرة .

الاعتقاد في المستحيل :

وخلال دراستي أخذت في تعلم بعض ما تنبأت به النسبية الخاصة. تمدد الزمن والكماش الطول واستحالة تجاوز سرعة الضوء . وزيادة الكتلة مع زيادة السرعة . والمعادلة الشهيرة ط = ك × ع^{٢} . والتي تربط بين الطاقة والكتلة . كل هذا أخذته قضايا مسلما بها . ولكن مغزاها ظل لغزا محيرا .

وفي الجامعة التحقت بحلقة دراسية خاصة للنسبية . وكان على ان افكر في تمدد الزمن بالتفصيل .

لم يكن مجرد أمر مثير للتعجب ان يسافر شخص في رحلة فضائية ثم يعود ليجد توءمه أكبر منه عمرا بعشر سنوات . بل بدا ذلك هو السخف بعينه. كيف يمكن لنفس الأشياء ان تسير بمعدلات مختلفة ؟ كان ذلك هو تساؤلي لنفسي . وقد تمثلت الموقف على أن السرعة تنشأ من عمل الساعات بصورة ما . وأن تمدد الزمن ما هو الا صورة الخداع . تأثير ظاهري أكثر منه حقيقيا . وظل التساؤل . أي من التوءمين هو الذي على حق . وأيهما ضحية ذلك الخداع ؟ (٦) .

وعند هذه النقطة اكتشفت العقبة في تقدمي . كانت المشكلة كامنة في اصراري على ارجاع كل شيء الى الفطرة البديهية والمفاهيم المسبقة هي

الحقيقة . وهذا ليس بالأمر الحري بالنجاح . في البداية بدا ذلك نوعا من الفشل المحبط . فاعترف انني لم استطع أن أتصور الزمن يجري بمعدلات مختلفة . وكان ذلك بالنسبة لي بسبب عدم القدرة على فهم النظرية . وبالتأكيد لقد تعلمت كيف أتعامل مع الصيغ الرياضية وان أحسب الفرق بين الأزمنة . كان بامكاني ان أحسب ما يحدث حقيقة . ولكن كان الباقي علي ان أعرف لماذا يحدث .

وهنا أدركت سبب حيرتي . فطالما كنت مستطيعا ان أتخيل تمدد الزمن وغير ذلك من التأثيرات . وان أجري الحسابات المتعلقة بها . فهذا كل ما هو مطلوب . فطالما كان بامكاني ان أرجع كل شيء لمشاهد معين . وأسأل ماذا يمكن له رؤيته وقياسه به بالفعل . فان هذه تكون الحقيقة . هذا المنهج البراجماتي (النفعي) الذي يهدف الى مجرد رصد ما يشاهد . دون محاولة وضع تصور شامل للأمور في منظور مجرد . يسمى « الوضعية positivism » (انظر الفصل الأول) . ولقد وجدته ذا عون كبير على استيعاب القدر الكبير من الفيزياء الحديثة .

وبتخطي عقبة الزمن . كانت الصعوبة التالية هي استيعاب مفهوم متصل الزمن والفضاء (الزمكان) رباعي الأبعاد . لقد قرأت كثيرا ان الزمن بعد رابع . ولكن هذه المقولة الجافة لم تكن تعني بالنسبة لي شيئا . بل لقد بدت لي خطأ بينا . فأكثر احاسيسي بالعالم فطرية تنبئني ان المكان (الفضاء) هو المكان . وأن الزمن هو الزمن . فهما من الناحية الوصفية متمايزان بما لا يسمح لي تصور الزمن بعدا رابعا مع المكان . فمن البداية . المكان هو شيء يمكنني ان أراه وأن ألمسه . بينما لا أحس باللحظة من الزمن الا عندما يحين أوانها . والأكثر من ذلك . فانه بامكاني التجول في المكان . وليس في الزمن .

المشكلة تكمن في انني أخذت عبارة البعد الرابع بمفهوم حرفي . فالنظرية لا تدعي أن الزمن هو بالفعل بعد رابع مع المكان . فهي لا تنكر تمايزهما . ولكنها تقول ان الزمن والمكان مترابطان في خواصهما بدرجة تجعل من المنطقي ان نصفهما معا في لغة من الأبعاد الأربعة . وما ينتج

عن تعازجهما ، وهو الزمكان ، يتولد عنه الخواص الغريبة التي تعرضنا لها في مؤلفنا هذا - منها مثلا أن المسافة رباعية الأبعاد بين حادثتين على مسار نبضة ضوئية هي صفر ، مهما كان التباعد المكاني بينهما .

حينما وصلت لهذه النقطة تملكتني حيرة لا توصف ، كيف يتصور الانسان مكانين مختلفين واقعا والبعد بينهما صفرا ؟ وما ان أدركت أن الزمن ليس بعدا للمكان ، تلاشت الحيرة - فكما بينا ، يطرح البعد الزمني من البعد المكاني في الصياغة الرياضية للزمكان ، ويمكن اذن أن يحدث التعادل بينهما بحيث يلاشي كل منهما الآخر . فالزمن متميز عن المكان في الصياغة الرياضية للزمكان باشارته السالبة . أما لو تكلمنا عن المكان مجردا فمن البديهي أن المسافة المكانية ستكون موجودة .

تصور ما لا يمكن رؤيته

جميل الى الآن ، فالالغاز والمحيرات المتعلقة بالنسبية الخاصة بدأت في الشحوب ، لم أنت اعاجيب النسبية العامة . كنت اعلم انها نظرية للجاذبية ، وانها تعالج المجال التجاذبي في صياغة من تقوس الفضاء - وفشلت كافة محاولاتي في تصور فضاء مقوس . فليس من مشكلة في تصور كتلة مطاطية تتقوس ، فهي قبل كل شيء مكونة من مادة ، ولكن الفضاء هو الخواء ، فكيف يتقوس « اللاشيء » ؟ - وبالتحديد ، أين يكون التقوس ؟ ان الكتلة المطاطية توجد في الفضاء ، ولكن الفضاء ليس موجودا في شيء !

في هذه المرحلة كونت انطباعا أن التقوس في الفضاء يظهر نفسه بجعل مسارات الكواكب منحنية حول الشمس . فالأرض تتبع مسارا اهليلجيا حول الشمس ليس بسبب قوة الجاذبية ، ولكن لأن الشمس تقوس الفضاء حولها ، والأرض تتبع أقصر بعد في هذا الفضاء المقوس . ولم يكن ذلك مستغربا بالنسبة لي ، وقد علمت أن الضوء ينحني بالفعل بفعل الشمس ، الأمر اذن غاية في البساطة ، الفضاء المقوس يعني فقط مسارات مقوسة .

ولكن لغزا بدا في الأفق ، فطبقا للتصور الذي وضعته ، فان ذلك يعني أن الشمس قد طوت الفضاء حولها ، بما يعزلها مع المجموعة الشمسية عن بقية الكون ، ومن البديهي أن هذا هراء .

وكانت الغلطة غاية في السذاجة . فالتقوس المقول به ليس في المكان، ولكن في الزمكان ، والفرق بين التعبيرين جوهري ، فمن وجهة نظر الزمكان ، فمسار الأرض حول الشمس ليس منغلقا ، بل هو لولبي (راجع الشكل ١٧) ، وذلك حين نأخذ البعد الزمني في الاعتبار ، وفي هذه الحالة ، يترجم البعد الزمني الى مسافة زمكانية بالضرب في سرعة الضوء ، وهو مقدار غاية في الكبر بالمقاييس الأرضية ، مما يترتب عليه أن يمط اللولب في البعد الزمني بصورة كبيرة ، الأمر الذي يبين أن التقوس في الزمكان بفعل الشمس ضحل للغاية . فتصوري الأولي للمسارات كان صحيحا ، بشرط أن ندخل عنصر الزمن فيه .

وأخيرا بدا لي أنني أتقدم في فهم النسبية ، الا أن المصاعب الجسيمة بدأت في الظهور حين بدأت دراسة علم الكونيات ، وكان المشهور عن آينشتين اطلاقه مفهوم « منغلق ولكن بلا حدود closed but unbound » وهذا يتحدى أكبر قدرات التصور ، ولم أكن قد تعودت كليا فكرة تقوس الزمكان في لا شيء ، والآن يتوقع مني أن أتصور أن الفضاء بأكمله مقوس على نفسه بحيث يتقابل مرة أخرى في الناحية البعيدة منه ، ولم تفدني هذه الصورة كثيرا ، فبيان أن سطح الكرة منغلق على البعدين ولكن ليس لها حدود هو أمر سهل القبول ، ولكن أن نمد الصورة للأبعاد الثلاثة ليست بالسهولة التي تصورها ضارب المثل ، فالسطح ذو البعدين يمكن أن يتقوس في الأبعاد الثلاثة ، ولكن في أي شيء تتقوس الأبعاد الثلاثة ؟ وهكذا ووجهت بنفس المشكلة القديمة .

وأخيرا أفادني تذوقي للخيال العلمي على التغلب على هذه الصعاب ، فقراءتك للخيال العلمي تعودك على تصور نفسك في مكان الأبطال ، تنظر للعوالم من خلال أعينهم ، وتشاركهم خبراتهم ، حتى وأنت تقرأ عن المستحيل ، فأنت مستطيع لخيال ما يحدث ، فلم يكن من الصعب علي أن

اضع نفسى فى رحلة الزمن التى تخيلها هـ . ج . ويلز ، حتى وان كنت أعلم ان القصة لا معنى لها من منظور الفيزياء ، فاذا كان سهلا على أن أتخيل السفر فى الزمن ، فلماذا يستعصى على تصور الكون المنغلق ؟

وما زلت اتذكر تصميمى على ألا أحاول تصور الحقيقة المطلقة ، ولا أن اكافح من أجل نظرة الهية علوية للكون . وبدلا من ذلك ، اكتفى بنظرة متواضعة لمسافر مسكين فى الفضاء ، يحاول بشق النفس استكشاف الفضاء المنغلق من حوله . ماذا تكون خبراته ؟ حسنا ، فبمقدورة السفر فى نفس الاتجاه ، والعودة فى النهاية الى نفس موضعه . هذه احدى الخواص الغريبة لكون آينشتين المنغلق على نفسه ، ولكنه غير محدود . فعلى الرغم من استمرار عدم قدرتى على تصور كيف يمكن للفضاء أن يكون على هذه الصورة ، فقد تقبلت هذه الخبرة للمسافر الفضائى . فهى مقولة . ليس هناك ما يجافى المنطق فى حدوثها . واذا كان للخبرات أن تندمج فى تناسق معا ، مهما كانت غرابتها ، فمن الممكن اعتبار مجموعها معبرا عن الحقيقة .

وطبقت نفس الفلسفة على المشكلة الدائمة ، الكون المتمدد . فمثل أى شخص ، لم يمكننى استيعاب فكرة كيف يتمدد الكون ، حيث بدا لى انه لا يوجد شىء يتمدد فيه . ولكن ما زال بمقدورى أن أتصور معنى مشاهدتى لتمدده من الداخل . تخيلت مراقبين فى مكان ما بالمجرات السحيقة البعد ، يتفحصون السماء ، وكل واحد يرقب بقية المجرات تتباعد عنه . ومرة أخرى ، ليس من بأس فى حدوث ذلك ، حتى ولو لم يكن بالامكان معرفة كيفية حدوثه .

أما أشد المشاكل الغازا فكانت فكرة الأفق . كنت أعلم ان المجرات البعيدة تزداد سرعة تباعدها بزيادة بعدها عنا ، وأن هناك حدا لا يمكن بعده رؤية أية مجرات . يسمى الأفق (سوف نتناول هذه الخصيصة الهامة فى الفصل التالى) . فلمدة طويلة خلطت بين هذا المفهوم وفكرة حد الكون ، وكان تصورى أن عدم امكان رؤية مجرات بعد الأفق لأنه

لا توجد هناك أية مجرات ، لا شىء سوى الخواء اللامتناهى . ولكن فى النهاية ادركت أن الكون لا حد له ، وان أية اشارة له هو ضرب من الهراء .

ولكن هذا الخطل تلاشى لكى أقع فى آخر . فقد قرأت ان تلك المجرات يستحيل رؤيتها لكونها تتراجع بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وما زلت اتذكر وانا جالس فى مقصف بالكلية اناقش فى الأمر مع أحد الزملاء ، وقد قلت معترضا : «كيف يمكن لمجرة أن تتحرك بأسرع من الضوء؟» . فرد قائلا : « آه ، ان حد سرعة الضوء قالت به النسبية الخاصة ، ولكننا فى الفلك نتعامل مع النسبية العامة » . ولم يكن ذلك ليجدينى شيئا ، حيث لم يكن أينا قد تمكن من النسبية العامة بعد .

حقيقة ، فى الفلك نستخدم النسبية العامة ، ولكن ذلك لا يسمح بتجاوز سرعة الضوء . كان السبب فى المعضلة هو أنه لم يكن بامكانى ادراك ذلك الا بالمفهوم الأرسطى ، فالمجرات بالنسبة لى تتحرك فى الفضاء ، باعتباره شيئا ساكنا لا حراك به ، بالضبط كما تتحرك الأسماك فى البحر الساكن . هذا التصور خاطىء تماما ، وقد استغرق الأمر طويلا الى أن ادركت أن التمدد فى الكون لا يحدث بواسطة المجرات المتباعدة ، بل ان الفضاء ذاته هو المتمدد ، مما يجعل المسافات بين المجرات تتسع .

ولا اعتقد أنى استوعبت فكرة الفضاء المتمدد تماما حتى قرأت عن نموذج ويليام دى سيتر Willinm de Sitter للكون . والذى لا يحتوى على شىء خلاف كون متمدد خال تماما من أية مادة ! وبالطبع طلت لدى صعوبة تخيل تمدد الفضاء ، ولكن بما أنه يمكن تخيل ان مراقبين سوف يريان بعضهما البعض فى تباعد مستمر ، فلا بأس من تقبل الفكرة .

بحلول نهاية العشرة ، أصبحت مشكلة تجاوز سرعة الضوء بغير ذات موضوع . فالمجرات لا تتحرك حقيقة بالمرة ، ان الأمر ببساطة أنها محتواة فى كون متمدد ، والانزياح الأحمر الشهير ليس كما قيل لنا مجرد ظاهرة دوبلر ، والتى تماثل تغير حدة الصفير لقطار مقبل قبل تجاوزه الرصيف وبعده . انه فى الواقع بسبب أن الموجات الضوئية تستطيل

مع تمدد الفضاء ، وتدريجيا قد تبلغ الاستطالة الى القدر الذى يجعل التردد يقل عن مجال الأشعة المرئية . وهذا هو الأفق ، فالكون وراءه لا يزال موجودا ، ولكنه غير مرئى لنا .

بلبلة اللانهاية

ربما أعقد نقطة فى الموضوع بالنسبة لى هى الانفجار العظيم ، الذى منه تولد الكون . كانت الصورة الأولية لدى هى عن كمية غاية فى التركيز من مادة فى مكان ما من الفضاء ، لسبب ما ، وفى لحظة ما ، انفجرت ، مرسلة شظاياها فى كل مكان ، لتكون فى النهاية مجرات متباعدة . وأدرك الآن مدى خطأ هذا التصور ، ولكن علذرى فى ذلك أن أول احتكاك لى بهذه النظرية كان قبل أن يتبلور مفهوم مفردة singularity الزمكان كما وضعها روجر بنروز Roger Penrose وستيفن هوكنج Stephen Hawking فى الستينات .

فى ذلك الوقت ، كان الدارسون للموضوع يؤكدون أن الكون يجد أصله فى مفردة فى الزمكان ، والتى هى نقطة يصل الزمكان فيها الى تقوس لانهائى ، وتتوقف عندها فعالية قوانين الفيزياء . ولم يكن هذا الممكن ، بحسب قولهم ، للمكان وللزمن ، أو أى تأثير فيزيائى ، أن يستمر فى المفردة ، وعلى ذلك فمسألة ماذا كان قبل الانفجار العظيم لا محل لها . فليس هناك « قبل » للحظة الانفجار العظيم ، حيث ان الزمن بدأ هنا . كما أنه ، ولنفس السبب ، من غير المجدى ، أو حتى المعقول التساؤل عن سبب حدوثه .

وبعد ذلك ، حاولت تصور المفرده بتخيل كل مادة منضغطة فى نقطة واحدة . بالطبع هذه الفكرة فى حد ذاتها تذهب بالعقل ، ولكنى استطعت تخيلها . ولكننى كنت حريصا على ألا أقع فى خطأ تصور تلك النقطة محاطة بالفضاء ، فأنا أعلم أن الفضاء يجب أن يكون قد انضغط الى تلك النقطة أيضا ، هذه الصورة ناجحة بالنسبة لنموذج الكون المتناهى المنغلق الذى وضعه أينشتين ، حيث اننا جميعا يمكن أن نتخيل

الشىء المتناهى ينكمش الى لا شىء . ولكن تظل هناك مشكلة ظاهرة ، لو كان الكون لامتناهيا فى المكان ، فاذا كانت المفردة مجرد نقطة ، فكيف تتحول الى ما هو لامتناه ؟

أعتقد أن فكرة اللانهاية تسلبل الكثيرين منا ، ولم أتمكن على الاطلاق من تكوين تصور بديهى لهذا المفهوم . والمشكلة معقدة هنا لأن هناك بالفعل شيئين لانهائيين يتصارعان : لانهائية الحجم المكانى ، ولانهائية الانكماش . فمهما ضغطت الفضاء اللانهائى ، فسيظل لانهائيا . من جهة أخرى ، فاية منطقة منتهية فى نطاق الفضاء اللانهائى ، مهما بلغ اتساعها ، يمكن أن تنضغط الى نقطة وحيدة فى لحظة الانفجار العظيم . ليس هناك تعارض بين اللانهائيتين ، طالما أنك تتحدث عن اى شىء تتحدث .

حسنا ، يمكننى أن أقول كل هذا بالألفاظ ، وأن أصوغه فى معادلات رياضية ، ولكنى أعترف أننى الى اليوم لا يمكننى تصوره .

والشىء الذى أثار انتباه العالم للنسبية العامة ، وأسر خيالى ، هو بلا شك الثقوب السوداء . هذه الأشياء الغريبة لها عدة خواص عجيبة تستنفد قدرة المرء على التخيل لأقصى مداها . حين سمعت عن الثقوب السوداء لأول مرة ، كان ذلك فى أواخر الستينات . كان بامكانى قبول فكرة انهيار نجم تحت تأثير جاذبيته ، وانه يمكن ان يحبس الضوء بداخله ، فيبدو كثقب أسود . أما ما لم أكن أفهمه فهو ما الذى يجرى لمادة النجم . أين تذهب ؟ لقد بينت بعض النظريات أن مفردة تتكون بداخله ، ولكنها لم تتطلب أن المادة يجب أن تقابل المفردة . فاذا ما تبادت المادة المفردة ، فانها لا تستطيع مغادرة الثقب ، حيث انه ما من شىء يمكن أن يفلت منه . وبدا الموقف لى محتويا على تعارض .

الاجابة التى قدمت لى هى أن المادة تغادر الى كون آخر . وبدا ذلك متعذرا ومعقولا . ولكن ما معنى بالضبط ؟ أين يقع ذلك الكون الآخر ؟ لقد استوعبت أفكار الكون الممتد والكون المنغلق . ولكن فكرة تعدد الأكوان أدارت رأسى . انها لمسرى مسألة عويصة . ولجأت مرة ثانية الى

استراتيجيتي ألا أحاول اكتساب نظرة الهية علوية ، وأتصور تجاور مثل هذين الكونين ، وتعاملت فقط مع ما يمكن من ناحية المبدأ أن يشاهد من خلالهما .

لقد قرأت ذات مرة قصة بعنوان « الباب الأخضر » ، فيها عبر شخص بابا يؤدي به الى حديقة غناء هادئة ، تماثل فكرتنا عن الفردوس . وحين غادرها لم يجد الباب مرة أخرى ، وظل بقية حياته يبحث عنه . وذات يوم وجد بابا أخضر فعبره ، فلقي حتفه . فالجنة التي في القصة لا توجد في المكان الذي نالقه ، فالباب كان يؤدي لفضاء آخر . واستخلصت ان الثقب الأسود لابد أن يكون شيئا من هذا القبيل . لقد استطعت تخيل تجربة الرجل مع الباب ، فلماذا لا استطيعها مع الثقب الأسود ؟ فيمكن لك أن تمر من خلاله ثم تجد نفسك في مكان خلاف أي مكان في فضائنا . لم يكن مهما لي أن أعرف أين هو ، كل ما يهمني ان تجربة المشاهد كانت منطقية ومترابطة .

بعد ان قصصت هذه القصة ، على ان أحذر القارىء ، وكما سنرى في الفصل التاسع ، أنك لا يمكنك المرور خلال الثقب الأسود بهذا الشكل حقيقة . فالوضع الأكثر احتمالا أن المادة الساقطة فيه ستقابل المفردة ، ولو أن ذلك لم يثبت للآن بصفة قاطعة .

وانا اليوم متعود تماما على التعامل مع العالم العجيب للنسبية . فافكار نشوء الزمن والتواء الفضاء وتمدد الاكوان هي من الأدوات اليومية للتعامل مع الفيزياء النظرية . على أن تعودي عليها قد تولد نتيجة التكرار . وليس لكوني قد حزت مقدرة غير عادية على الادراك . فانا اعتقد أن الحقيقة التي تظهر لنا الفيزياء الحديثة غريبة على العقل البشري ، وتتحدى أية مقدرة على التصور . فالصور الذهنية المتولدة عن الفاظ مثل « الفضاء المنحني » و « المفردة » هي نماذج غير مناسبة . قيمتها فقط في تثبيت الفكرة في ذهنك ، وليس اخبارك كيف يكون العالم الواقعي بالضبط .

وفي هذا تشابه مع عالم الاقتصاد الذي . فنحن نسمع عن ميزانية الولايات المتحدة ، وأن العجز فيها كذا بليونا من الدولارات ، ونتصور أننا نفهم ما يعنيه ذلك . ولكن ليس منا من يمكنه تصور قدر مهول من الأموال بهذه الدرجة في الحياة اليومية . فالأرقام لها شيء من أشياء المعاني ، تعطينا شيئا ما نرتكز عليه بينما نمر الى النقطة التالية في المناقشة . ولكنها لا تنقل شيئا ذا معنى واقعي بالمرة . فيبدو ان الفكرة اذا ما تكررت قدرا كافيا فانها تثبت في الذهن لدرجة الاحساس بأنها مفهومة ، مهما كانت درجة غرابتها على المنطق البديهي .

ان مقدرة العقل البشرية على تقبل ما لا يتفق مع الواقع عن طريق الخيال ليعطي حرية هائلة . فالنظرية النسبية ما زالت في بعض تفاصيلها غريبة بالنسبة لي ، كبعض خواص الاشعاع الجذبي ، ومع ذلك فالتدريب على التخلص من الحاجة للصور البسيطة أمكنني من التعامل مع هذه الموضوعات دون وجل .

وباستخدام الرياضيات كمرشد يعول عليه ، يمكنني استكشاف مناطق تتجاوز حدود الخيال للوصول الى اجابات شافية عن أشياء يمكن مشاهدتها .

ان الرمز الضمني في كون ادنجتون الشخص الوحيد بعد آينشتين القادر على فهم النسبية العامة لا يعني في رأيي انه وآينشتين وحدهما القادران على تصور المفاهيم الثورية الجديدة مثل الزمكان المنحني ، ولكن ربما يكونا بالفعل من أوائل الفيزيائيين الذين استوعبوا أنه في هذا الموضوع لا يأتي الفهم الصحيح الا بهجر الحاجة للتصور . هذا هو الأمر الذي قد يكون مساعدا على فهم ما تخبرنا به الفلكيات النسبوية في شرحها لما نشاهد من تصرفات في الكون .

هوامش الفصل الثالث

(١) خلاف النظرية النسبية لاينشتين . فالمقصود هو النسبية بين السرعات ، وليس النسبة لسرعة الضوء ـ (المترجم) .

(٢) فكر النجوم وليس المجرات ، حيث لم تكن المجرات خلاف درب التبانة قد عرفت بعد ـ (المترجم) .

(٣) من الطريف ان نذكر ان ساخ له رفض هذه النظرية عند نشرها عام ١٩١٥ ، وانه ظل رافضا في العام التالي (من ثمانية وسبعين عاما) كان يزمع تأليف كتاب للرد عليها ـ (المترجم) .

(٤) يفترض ان يكون القطار طويلا بصورة خيالية حتى يظهر الفرق بين ما يراه راكب القطار والشاهد على الرصيف . فآثار النسبية لا تظهر الا مع الأجسام المحسوسة بالنسبة لسرعة الضوء ، لهذا السبب لا نلمسها في حياتنا العادية ـ (المترجم) .

(٥) مرة أخرى نكرر أن هذا يتطلب أن يكون الطول محسوسا بالنسبة لسرعة الضوء ، أي عدة الاف من الكيلومترات على الاقل ـ (المترجم) .

(٦) ومن ذلك قياس الأبعاد الفلكية بالسنة الضوئية ، وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة ـ (المترجم) .

(٧) يطلق اينشتين على هذا المبدأ « مبدأ التماثلية Principle of equivalence » ـ (المترجم) .

(٨) تسمى ايضا « الهندسة اقليدية » ـ (المترجم) .

(٩) يضرب الدكتور مصطفى مشرفة ـ رحمه الله مثلا طريفا لتقريب تمدد الزمن للأذهان : تخيل انك تنظر لساعة عند الثانية عشرة بعد الظهر ، ثم انك انطلقت في هذه اللحظة بسرعة الضوء متباعدا عنها ، فانك لن ترى باستمرار سوى الشعاع القادم منها المعبر عن الساعة الثانية عشرة ، وسيبدو لك الأمر وكأن الزمن توقف عند هذه اللحظة . وبالمناسبة فالدكتور مشرفة هو عالم مصري في الفيزياء ، معاصر لاينشتين وكان حجة في النظرية النسبية ، وقد توفي في أوائل الخمسينات ـ (المترجم) .

الفصل الرابع

الكون على رحابته

ان واجب الفلكي astronomer هو أن يدرس الأشياء الموجودة في الكون . ويتضمن هذا الشمس والكواكب ، والنجوم على مختلف أنواعها ، والمجرات والمواد ما بين النجوم . وفي المقابل ، فالكوني cosmologist (عالم الكونيات) أقل اهتماما بالتأثيث التفصيلي للكون ، منه بالهيكل العام له . فعلم الكونيات يتعامل مع كيفية نشأة الكون ككل ، وكيفية نهايته . ويعني الكوني بكلمة « الكون » كل شيء ، الفضاء الفيزيقي بأكمله ، الزمن والمادة . ويختلف علم الكونيات عن العلوم الأخرى في أن موضوعه أمر وحيد ، وهو الكون . وان كانوا أحيانا يشيرون الى أكوان أخرى . فهم في الواقع يشيرون الى تجريدات رياضية قد لا تحمل ، مثل كون جوديل الدوار ، الا القليل من العلاقة بالعالم الواقعي .

ويعتمد الكونيون على أعمال الفلكيين لرسم تصوراتهم عن الكون . كما أنهم أيضا يستخدمون قوانين الفيزياء لنمذجة التغيرات التي تحدث مع تطور الكون ، وفي محاولة التنبؤ بالمصير النهائي له . ويميل الكونيون اليوم الى تأمل الظروف الأولية لنشأة الكون ، بالاضافة الى القوانين ذاتها ، وقد بدأ علم الكونيات في العشرينيات من هذا القرن ، حين اكتشف ادوين هابل Edwin Hubble ان الكون يتمدد،وهو الاكتشاف الذي تماشى مع توقعات النسبية العامة ، توقع أجهد أينشتين ذاته ، والذي كان يعتقد أن الكون في حالة سكون ، في التحايل عليه في نظريته . وقد أدى المزيج

من اكتشاف هابل مع النسبية العامة الى نتيجة عظيمة ، مفادها أن الكون غير سرمدى النشأة ، بل لابد أن يكون قد خلق خلقا فجائيا منذ عدة بلايين من السنين ، في انفجار مهول نسميه اليوم الانفجار العظيم . وأكثر جهود الأبحاث اليوم ، كما ذكرنا من قبل ، موجهة نحو فهم المراحل الأولى التى أعقبت الانفجار العظيم ، ومحاولة ربط الخصائص المشاهدة حاليا بالعمليات الفيزيائية التى تمت فى هذه المراحل (١) .

التمدد دون مركز

لم يكن مع ذلك لعلم الكونيات أن يوجد كموضوع محدد لو لم يكن بامكاننا الحديث عن الكون كوحدة واحدة ، ويعتمد هذا بدوره على حقيقة هامة مبنية على المشاهدة ، فبمقياس كبير ، تتوزع الطاقة والمادة بانتظام متير للدهشة خلال الكون . و « المقياس الكبير » هنا يعنى حجوما أكبر من حجم كوكبة من المجرات . أى ما يوازى تقريبا مائة مليون سنة ضوئية . هذا الانتظام يعنى ضمنيا أن الكون متشابه بالنسبة لاية مجرة خلاف مجرتنا ، فليست هناك اية سورة للتميز لموقعنا فى الكون.والأكثر من ذلك ، فهذا الانتظام ثابت مع الزمن ، وبالتالى فمجرتنا تشارك بقية المجرات فى مجرى حياتها .

ما علاقة هذا بمفهوم الكون المتمدد ؟ بل كيف فى الواقع ندرك أن الكون متمدد ؟ الشاهد المباشر يأتى من تفحصنا للضوء الذى نستقبله من المجرات البعيدة ، فقد وجد هابل أن الضوء يميل بانتظام الى التزحزح تجاه اللون الأحمر من الطيف . ويعنى هذا أن المجرات الضوئية تتمدد بما يشبه نفس ما يحدث للذرات على الارض - فـ « الازياح الأحمر » يعنى للفيزيائى تحركا لمصدر الضوء بعيدا عن المشاهد . هذا ما فسر به هابل الظاهرة . فقد استخلص أن المجرات تفر بعيدا عنا بسرعة فائقة . وكما رأينا ، لقد توافق ذلك مع المتطلبات الأساسية لمعادلات النسبية العامة .

ويطلق على المجرات أحيانا اللبنات الأساسية للكون . وتباعدها عنا هو الذى يحدد التمدد الكونى . ففى داخل المجرة ، لا يوجد تمدد . ومجرتنا ، درب اللبانة (أو اللبانة) (٢) Milky way تتكون من مائة بليون من النجوم موزعة على قرص مسطح ، يدور ببطء حول مركزها . هذه المجرة تنتمى الى نوع يسمى المجرات الحلزونية ، أو القرصية ، بسبب شكلها . وهناك اشكال أخرى للمجرات . ولكنها لا تعنى الكونيين كثيرا .

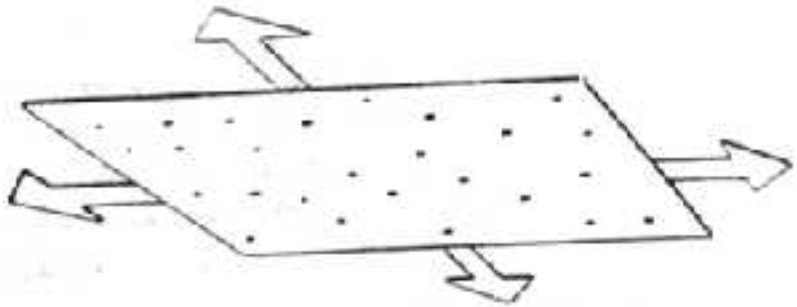
وهناك ميل للمجرات للتجمع فى كوكبات clusters (بأعداد تتراوح بين عدد قليل الى آلاف المجرات) ، متماسكة بفعل التجاذب فيما بينها . وهذه الظاهرة أكثر اثارة للكونيين . وحيث ان هذا التجمع يناقض التمدد الكونى ، فانه من الأدق أن نعتبر الكوكبات المجرية هى اللبنات الأساسية للكون .

وقد لاحظ هابل أن المجرات الأكثر خفوتا فى مرصده هى الأكثر احمرارا فى طيف ضوئها . وحيث ان الخفوت دليل على زيادة البعد ، فان ذلك يعنى أنه كلما زاد بعد المجرة زادت سرعة تباعدها . وقد أكدت الدراسات التالية صحة ذلك . وأن السرعة تتناسب مع البعد . بمعنى أن المجرة التى يبلغ بعدها عنا ضعف أخرى ، تتباعد بسرعة ضعف سرعة الأخرى ، وهى علاقة تسمى (قانون هابل) . والرقم المحدد بالضبط لمدى سعة التباعد عند مسافة معينة يعتبر من الأرقام الهامة فى علم الكونيات، يطلق عليه «ثابت هابل» . ورغم أن قيمته الدقيقة لا يمكن معرفتها من خلال رصدنا الحدود ، فان أغلب الكونيين يقبلون رقما ٥٠ كيلو مترا فى الثانية لكل ميجابارسك (فرسخ نجمى) . البارسك Parsec يساوى ٣٫٢ سنة ضوئية ، وهذا يعنى أن مجرة تبعد عنا بمقدار ١٠ ميجابارسك تتباعد بسرعة ٥٠٠ كيلو متر فى الثانية .

فى البعد

هذه العلاقة البسيطة بين البعد وسرعة التباعد هى المضمون العميق لطبيعة التمدد الكونى . انها تعنى أن الكون يتمدد بنفس المعدل فى كل

مكان . فبالنظر اليه من اية مجرة سيكون نمط الحركة هو نفسه بقدر كبير . فمن الخطأ ان نتصور اننا ، كما يتخيل كثير من الناس ، في مركز التمدد . فرغم أن المجرات تتباعد عنا ، فانها ايضا تتباعد عن بعضها البعض . وحيث ان الحركات تخضع لقانون هابل فالمجرات المرئية لاية مجرات أخرى تتباعد عنها بنفس الطريقة التي تتباعد عنا . ليس من مجرة في وضع متميز لتكون مركز التمدد .



شكل (٣٠) يمكن تصوير الكون المتمدد بقطعة مطاطية مسطحة تمط في كل الاتجاهات بقدر متساو . وهنا تمثل القطعة المطاطية الفراغ ، والنقاط عليها تمثل المجرات . وبينما يمط الفراغ ، تتباعد المسافات بين المجرات . ولكن المجرات ذاتها لا تتحرك في الفراغ ، ولا تتباعد عن مركز مشترك .

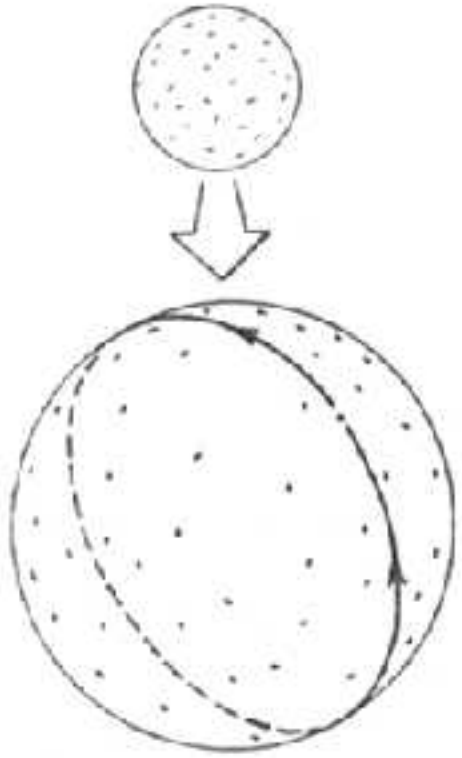
ولو كان صعبا عليك ان تتصور ذلك ، فربما كان المفيد لك أن تتصور قطعة مسطحة مطاطية ، منطاة بالبقع التي تمثل المجرات . تخيل أنها تمط في كل الاتجاهات (الشكل ٣٠) . تكون النتيجة ان كل بقعة تبتعد عن البقع الاخرى ، بالضبط كحالة المجرات في الكون المتمدد . والاكثر من ذلك فان هذا النظام سيخضع لقانون هابل . كلما زادت المسافة بين بقعتين ، زادت سرعة التباعد بينهما .

ويمكن الاعتراض على ذلك بأن البقع تتباعد عن مركز معين ، وهو مركز القطعة المطاطية . لكن لو كانت القطعة من الكبر في المساحة بحيث لا يمكنك أن ترى حوافها ، فلن يكون لك وسيلة تعرف بها اى من البقع قريب من المركز وأيها بعيد عنه ، من مجرد مراقبة التباعد . ولو كانت القطعة لامتناهية ، فعلا لن يكون هناك معنى لفكرة الحواف او المركز .

وفي الكون الواقعي ، لا توجد أدنى اشارة لكون مجموعة من المجرات لها حافة في اى مكان ، ومن ثم لا يوجد سبب للحديث عن مركز للكون ، او منطقة تتباعد عنها المجرات .

ومع ذلك ، فلا يمكن المرء نفسه من التساؤل عن وجود حافة للكون في مكان ما ، فلربما وراء قدرة مراقبتنا . فبداية لانعلم يقينا أن المجرات تملأ الكون الى درجة اللانهاية ، ولكن حتى لو كان الكون غير لانهائي ، بل شاسع في امتداده فقط ، فهناك تصور تكون فيه فكرة الحواف بدون معنى . فباعتبار أن سرعة التباعد تزداد مع المسافة ، فانه عند حد معين ستتجاوز السرعة سرعة الضوء ، وكما بينا في الاعتراف الملحق بالفصل السابق ، ليس في ذلك اى خرق للنسبية . وايضا التمثيل بقطعة المطاط مفيد هنا ، فعلى الرغم من كون كل بقعة تتحرك مع مط القطعة ، فانها تفعل ذلك فقط لان القطعة تمط ، فليست للبقع أية حركة بالنسبة لمادة القطعة . وبنفس الطريقة ، من الأفضل تصور المسافات بين المجرات تمط ، جاعلة المجرات تتباعد ، عن تصور المجرات تتحرك في الفضاء . هذه المرونة للفضاء ، كخصيصة تنبع من النسبية العامة ، تسمح بأن تتباعد المجرات واقعا بأسرع من سرعة الضوء ، دون أن تمر مجرة عبر الأخرى بهذه السرعة ، وهو ما لا تسمح به النسبية . وعلى ذلك فالانزياح الأحمر يحدث بسبب تطلب زمن أكبر لوصول الضوء الى الأرض ، فالفضاء البيني قد مط بعض الشيء ، ومطت معه الموجة الضوئية .

ومن الواضح أننا لا يمكننا أن نشاهد المجرات المتباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، حيث ان اشعاعها يستحيل ان يصل الينا ، ومن ثم فنحن غير قادرين على الرؤية بعد حد معين ، مهما بلغت قوة مراقبتنا . والحد الذي لا يمكننا تجاوزه في الرؤية ، ولو من ناحية المبدأ ، يطلق عليه الأفق horizon . وكما الأفق على الأرض ، فهو لا يعني أنه لا شيء وراءه ، فقط عدم رؤية ما وراءه من موضعك مهما كان . ومن المؤكد أنه لا توجد حافة للكون على بعد مثل افقنا ، واية حافة بعده قد توجد من ناحية المبدأ خارج حدود رصدنا (على الأقل في هذه الحقبة) يمكننا تجاهلها ، فهي بغير ذات أهمية للكون المرئي .



شكل (٣١) من الممكن ان يكون الفراغ مغلقا محدود الحجم ، ولكن بدون حواف - ويمثل ذلك بسطح بالون مطاطي يمثل الفراغ ، وتمثل النقاط عليه المجرات ، كما في شكل ٣٠ ، ويمثل تمدد الكون نفخ البالون - في الشكل السفلي يمثل النقط الملون مسارا يحيط بالكون .

ولكن هناك امكانية الا تكون هناك حواف من ناحية المبدأ . ان المعلمة المطاطية المضروبة كمثل تشبه فضاء علماء الهندسة الاغريق ، في امتدادها اللانهائي . ولكن لو تخيلناها قد تكورت على شكل بالون ، فما زال بامكاننا تخيل البقع التي تمثل المجرات (او كوكباتها) . وان البالون يشد حاملا المجرات بعيدة عن بعضها البعض (الشكل ٣١) . هنا لا توجد حواف ، بالضبط كما لا توجد حواف للارض . هذا النموذج للكون يوصف بانه « مغلق » ، لأسباب واضحة . والنموذج البديل هو الكون الممتد بلا نهاية ، ويوصف بانه « مفتوح » .

هل هناك اية دلالة تشير الى ان الكون مفتوح او مغلق ؟ من ناحية المبدأ يمكننا الحكم على ذلك باجراء بعض التجارب الهندسية . فلعلك تذكر ما قلناه من أن الهندسة غير المستوية تختلف عن الهندسة الاقليدية للاسطح المستوية . وحيث انه بامكاننا الحكم على كروية الأرض برسم مثلث على سطحه ، فان قياس زوايا مثلث يتخيل رسمه في منطقة مائلة في الكون ، يمكننا من الحكم على كيفية انحناء الكون من ناحية المبدأ . مثل هذه الآثار قد بحث عنها (مثلا بعد المجرات في حجوم كروية بانصاف اقطار متزايدة) ولكن آثارا أخرى طغت عليها .

ومع ذلك ، فهناك طريقة واعدة بدرجة اكثر ، وان كانت غير مباشرة ، لتحديد اذا ما كان الكون منغلقا أو مفتوحا . توجود المادة هو ما يحدد تقوس الفضاء . وكلما زادت المادة ، والكون زاد اثر جاذبيتها في تقوس الفضاء بين المجرات . وهناك كثافة حرجة ، تساوي تقريبا ذرة هيدروجين في كل لتر من الفضاء (حوالي $١٠^{-٣٠}$ جراما لكل سنتيمتر مكعب) تمثل الحد بين انغلاق الكون وانفتاحه . فمادة بكثافة أكثر من هذا الحد ، طبقا للنسبية العامة في صورتها المعتادة ، تعني ان الكون منغلق .

وتشير المشاهدات ، ولعلي بها عدد المجرات في حجم معين من الكون ، الى ان كثافة المادة أقل من الحد الحرج بدرجة ملموسة . ولكننا نعلم أيضا ، من طريقة تحرك المجرات في كوكبات ، وتحرك النجوم داخل المجرات ، (في الحالتين بصورة غير متأثرة بتمدد الكون) أنه توجد كمية كبيرة من المادة في الكون في صور غير مرئية لنا ، تمارس جذبا على تلك المجرات . ولسنا حاليا ، على أساس ما لدينا من مشاهدات ، في وضع يسمح لنا أن نحزم اذا كان الكون مغلقا أم مفتوحا ، ولكنه يقف حاليا عند الخط الفاصل . ومع ذلك ، فدراسات الظروف الأولية للكون توحي بأن الكون يجب أن يكون مغلقا ، على أسس نظرية ، كما سنرى في الفصل الخامس ، ويعطي النموذج التضخمي للانفجار العظيم ايحاء في نفس الاتجاه أيضا .

علينا اولا ان نعطي مزيدا من الشرح حول ما يعنيه مفهوم الانفجار العظيم في علم الكونيات . من المفهوم انه اذا كانت المجرات تتباعد عن بعضها البعض ، فمعنى ذلك انها كانت متقاربة . ومدا لهذا المنطق الى مداه ، يلوح للعين انه لابد ان كان هناك زمن كانت مادة الكون فيه منضغطة معا . ومن الأخطاء الشائعة في فهم الانفجار العظيم والكون المتمدد ان هذه المادة المنضغطة الأولية كانت موجودة في مكان ما من الخواء السابق على الكون ، وان شظايا هذه الـ « البيضة الأولية » ، وقد تناثرت اثر الانفجار ، لتطاير الآن متباعدة عن مركز مشترك في الفضاء المحيط بها . فكما قدمنا ، فالتمدد يستحسن فهمه على أنه في الفضاء ذاته ، حاملا المجرات معه . وعلى ذلك فحين كانت كل مادة الكون متجمعة معا ، كان ذلك لان الفضاء بين المجرات كان متقلصا (أو بالأحرى لم يتمدد بعد) . فالفضاء نفسه ، شأنه في ذلك شأن الزمن والمادة ، خلق في لحظة الانفجار العظيم . فلم يكن هناك « خارج » حدث فيه الانفجار !

من قانون هابل يمكننا ان نستخلص معدل تمدد الكون . ونحسب الى الخلف متى بدأ التمدد ، الزمن الذي كانت المادة فيه منضغطة في مكان واحد . ويخبرنا قانون هابل البسيط أن ذلك كان من عدة بلايين من السنوات ، ومع ذلك ، فهناك أمر دقيق يجب أخذه في الاعتبار . فالكون لا يتمدد على حريته ، ولكنه خاضع للجاذبية . ويستتبع ذلك أن معدل التمدد ينخفض بالتدريج . وعلى ذلك ، فقد كان الكون يتمدد بمعدل اسرع في البداية . وبأخذ ذلك في الحسبان يكون الانفجار العظيم قد حدث منذ عشرة بلايين من السنوات مضت .

ولانخفاض معدل تمدد الكون تأثير هام آخر ، فالمجرات التي تكون متباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، ستنخفض سرعتها لتدخل دائرة الرؤية ، بما يعني أن الأفق الكوني يزداد اتساعا بمرور الوقت ، وأن المجرات التي نراها تزداد عددا حتى وهي تتباعد عنا .

واذا ما أخذنا صورة الكون المتمدد حرفيا ، وأعدنا الشريط للوراء بالقدر الكافي ، فان حجم الفضاء الحالي يكون قد انضغط للصفر في

البداية ، بمعنى أن الكون كان في حالة انضغاط لانهائي ، مع ضغط كل مادة الكون في نقطة واحدة ، ويطلق الكونيون على هذه النقطة « مفردة singularity » . وطبقا للنسبية العامة، فان هذه المفردة تمثل حدا للزمن والفضاء ، لا يمكن رد اي منهما لما وراءها ، فهي بذلك حافة للكون ، وان كانت حافة زمنية وليست مكانية . ولهذا السبب يعتبر الانفجار العظيم مستقلا لأصل العالم الفيزيقي بأكمله ، وليس كأصل للمادة فقط .

ويصبح التساؤل : ماذا حدث قبل الانفجار العظيم ؟ سؤالا بلا معنى، حيث لم يكن هناك « قبل » . ومثله « أين حدث ؟ » ، فلم يكن هناك مركز للكون أو حافة ، كما نعرفهما في حياتنا اليومية . فالانفجار لم يحدث في الفضاء ، بل هو المنشيء الدوامي له .

وهذه نقطة غاية في الأهمية ، نريد أن نزيدها ايضاحا ، حيث انها مصدر لبس كبير ، بالرجوع لمثال البالون . تخيل أن قطر البالون واصل التقلص . وهو ما يمثل العودة للانفجار العظيم ، ومادة البالون تمثل الفضاء ذاته ، والبالون يزداد صغرا في الفضاء . ففي النهاية التي يصل فيها القطر للصفر ، فان مساحة سطح البالون تكون قد تلاشت ، ويكون الكون ، بفضائه وكل ما فيه ، ببساطة قد تلاشى في هذه النقطة . لقد كان الانفجار خلقا فجائيا للكون من العدم بمعناه الحرفي . لا فضاء ولا زمن ولا مادة .

الزمن والكون

يا لها من نتيجة عجيبة تلك التي وصلنا اليها ، الكون بازغ للوجود بهذه الصورة من اللاشيء !! . وهي نتيجة وصلنا اليها من خلال صورة مثالية ، فيها يؤخذ قانون هابل على أنه يطبق بكل دقة على كون متماثل الأرجاء تماما . والواقع أن الكون ليس بهذا التماثل ، فالمادة ترتكز في مناطق دون الأخرى ، كالمجرات . والأكثر من ذلك ، فانه يبدو أن معدل التمدد ليس بنفس الدقة في كافة أجزاء الكون . وقد يبدو من الوهلة الأولى ان هذا الحيود عن المثالية يفسد استنتاجنا عن وجود مفردة تشكل

حدا لتاثير الكون ، اذ قد نتصور انه مع عدم التماثل لن تصل كافة اجزاء الكون بالضرورة الى نفس النقطة في نفس الوقت حتى تتكون تلك المفردة. ولكن الواقع انه من السهل اثبات ان تكون المفردة شيئا لا مندوحة عنه حتى في كون غير متماثل الأرجاء . طالما ان تاثير الجاذبية يمارس قوته في اتجاه التجاذب .

ذلك ان هذه المفردة قد شجعت بعض الكونيين على افتراض صورة من الجاذبية المضادة يمكن ان تتكون في ظل الظروف الاستثنائية للانفجار العظيم تمنع تكونها . ومن التصورات المحتملة أنه قبل الانفجار العظيم كان الكون متكمشا بصورة ما ، ومع زيادة التقلص تحولت الجاذبية الى جاذبيـــة مضادة جعلت الكون يرتد متمـــددا ، وهي المرحـــلة التي نتـاهدها الآن .

ولكن هذا يزيل مشكلة في مقابل خلق اخرى ، فلو ان الكون لم يخلق في لحظة محددة من مفردة ، فان ذلك يعني أنه سرمدي الوجود ، وهذا يستتبع أن العمليات الفيزيقية كانت نشطة منذ الأزل . ولكن المؤكد أن هذه العمليات محدودة الأثر وغير قابلة للاسترجاع . فالنجوم ، على سبيل المثـال ، لا تضيء للأبد ، فمآلها الى استنفاد وقودها منهارة على نفسها ، ربما الى ثقب أســـود . ومخزون المادة لتكوين نجوم جديدة محدود ، ومن ثم فلا يمكن أن تكون هذه العمليات اللاانعكاسية مستمرة الوجود منذ الأزل .

وقد يرد على ذلك بالقول ان مرحلة التحول الى التمدد تبخر المادة تماما ، لم نعيد تشكيلها ، ماحية كل اثر للمرحلة السابقة . ولكن هذا يعاوض مـــدأ جوهريا في الفيزياء ، يسمى القانون الثاني للديناميكا الحرارية (الثيرموديناميكا) ، والذي يضع قيدا صارما على ما يمكن تحقيقه من عملية دورية . وعلى وجه الخصوص ، فهو يمنع ، كما سنرى بعد قليـل ، أية عملية تعيد الكون كما كان بالضبط في مرحلة سابقة . وابسط الأسباب يميـل أغلب الكونيين الى الاعتقاد بأن الكون دو عمر

محدود ، وان الانفجار العظيم يمثـل بالفعل بداية خلقه من العـدم . والنتيجة الترتبة على ذلك بالضرورة هي أنه بما أن للكون « ميلادا » ، فلابد وان له « وفاة » .

هـل الـكون يمـوت ؟

ترتبط اجابة هذا السؤال ارتباطا وثيقا بعلم الديناميكا الحرارية ، وبفهمنا لطبيعة الزمن . ذلك أنه مهما كان اختلاف المتساهدين لطبيعه « الآن » ، فانه اذا كان للكون ميلاد في لحظة ما ، وموت مرتقب في لحظة أخرى ، فانه يكون لدينا مؤشر اساسي لسريان الزمن بين البدء والنهاية .

وقد بدا مفهوم الموت المحتمل للكون على يد عالم الفيزياء الالماني هيرمان فون هلمهولتز Hermann von Helmholtz ، في عـــام ١٨٥٤ . فقد اعلن عن المصير المحتوم للكون ، على أساس من مبادئ علم وليد هو الديناميكا الحرارية ، وعلى وجه الخصوص القانون الثاني منه ، والذي ينادي بالمصير النهائي للفوضى والعشوائية على النظام . لقد تصور الكون وقد بدا منضبطا تماما ، ثم أخذ في الانزلاق التدريجي المحتوم نحو ما نطلق عليه « الموت الحراري » ، حالة من الاتزان الحـراري بين كافة ارجاء الكون ، بعد أن استهلكت كافة صور الطاقة المفيدة ، وتحولت الى طاقة مشتتة ، مما يستحيل معه اجراء اي نشاط مفيد . هذا الانزلاق وحيد الاتجاه من النظام الى العشوائية يمثل اتجاها واحدا للزمن ، يميز بين الحاضر والماضي والمستقبل ، سهم مالوف لنا تماما في حياتنا اليومية، من حقيقة ان الأشياء يصيبها الهدم ، فالمعادن تصدأ ، والناس تشيخ . وهكذا . فهذا السهم ثابت على المستوى الكوني ، بادئا من الانفجار العظيم طبعا . الا أن هلمهولتز لم يكن يعلم شيئا عن هذا النموذج لبدء الكون حين صاغ نظريته .

وكمثـال بسيط لاستحالة التحرك التلقائي من الفوضى للنظـام ، تصور أوراق اللعب وقد خلطت بعـد ترتيب وتصـور استحالة عودتها لأصلها بمجرد الاستمرار في عملية الخلط . فزيادة الخلط تؤدي حتما

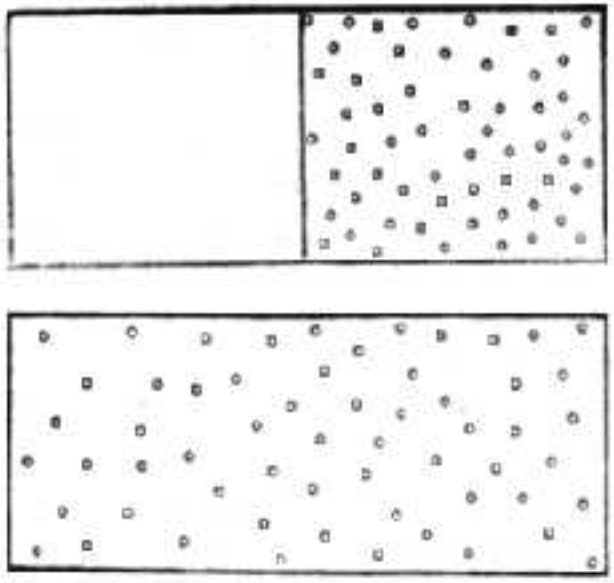
لزيادة العشوائية . ولن نعيد الترتيب مرة اخرى . ولو اننا اطلعنا على شريط سينمائي مبين به لحظة الترتيب ، فسنعلم بالبديهة اذا كان سريانه صحيحا او معكسا ، بحسب ما اذا كانت لحظة الترتيب هي البداية ام النهاية .

اما اللقطات المتوالية للأوراق وهي غير مرتبة فلا تظهر لنا في اي اتجاه يتحرك الشريط . ونستخلص من ذلك أنه اذا كان بامكاننا تحديد في اي اتجاه يتحرك الشريط ، فان سهم الزمن يكون فعالا . اما لو تعذر علينا ذلك ، وبدت العملية منطقية في اي من الاتجاهين ، فانه لن يكون للزمن معنى ، او بمفهوم معين ، يكون الزمن قد توقف .

ومن السهل أن نعطي وصفا كميا لدرجة العشوائية في النظم الفيزيقية - وهو ما يطلق عليه « الانتروبيا » ، وفي النظم المغلقة ، لا يمكن لها أن تقل . وشرط كون النظام مغلقا هام للغاية . ففي النظم المفتوحة ، يمكن للانتروبيا أن تقل ، ولكن على حساب زيادتها (زيادة العشوائية) في نظام آخر . خذ مثلا تكون البلورات ، فعملية التبلور ينتج عنها فقد حراري يتشتت في الكون ، مزيدا من الانتروبيا فيه .

وكان اول بحث في سهم الزمن على يد لودفيج بولتزمان **Ludwig Boltzmann** ، والذي درس السلوك الاحصائي لأعداد الجزيئات الكثيرة - وتبين معادلته من اول نظرة أن الانتروبيا في صندوق مملوء بالغاز تزداد باطراد لو تركت جزيئات الغاز تنتشر في عشوائية . بمعنى أن العشوائية تثير مزيدا من العشوائية بين جزيئات الغاز . ولكن هذا يثير تناقضا على الفور ، فقوانين الحركة المطبقة على الجزيئات (قوانين نيوتن) مبنية على الاتصاط . فهي متماثلة بالنسبة للزمن ، فمن ناحية المبدأ يمكن عكس سهم الزمن (تخيل حركة كرات البلياردو) دون اخلال بها . ولكن انعكاس سهم الزمن بالنسبة للصندوق يؤدي لتقليل العشوائية ، وانخفاض الانتروبيا . فكيف تحايل بولتزمان على تماثل الزمن في حالة النشاط الجماعي للجزيئات ؟

في الحقيقة ان صندوقا ممتلئا بجزيئات الغاز ويتبع قوانين نيوتن تماما لا يشترط له أن يحتوي على سهم الزمن . فمن المحتمل ، بعد قدر مبالغ في طوله (أطول من زمن الانفجار العظيم بكثير) ، أن نتصور أن الحركة العشوائية الدائمة تمر بكل الحالات المتاحة ، بالضبط كتخيلنا أن استمرار خلط الأوراق لفترة غاية في الطول يمكن ان يعيد ترتيبها . ان ما تبينه حسابات بولتزمان حقا هو أنه اذا كان الغاز في درجة من الانتظام القابل لانتروبيا منخفضة في لحظة معينة ، فان الاحتمال الأكبر هو أن تكون اللحظات التالية في اتجاه يصل بها الى توازن من عشوائية كاملة ، او درجة قصوى من الانتروبيا . ولكن هذا ليس توازنا مطلقا ، فالتغيرات الاحصائية ستحدث بحيث يجد الغاز نفسه وقد عاد الى حالته الأولى من الانضباط ، وتعاد الدورة . ولكن هذا يقتضي وقتا غاية في الطول .



شكل (٢٢ ١) غاز محتوى في نصف صندوق (ب) حين يزال الفاصل ، يتمدد الغاز ليملأ الصندوق بأكمله . الحالة الأولى أكثر انتظاما عن الثانية ، وبالتالي فهي اقل من حيث الانتروبيا . والتحول غير الانعكاسي من حالة الانتروبيا المنخفضة الى المرتفعة تمثل سهم الزمن الترموديناميكي .

اذن ، ما مصدر سهم الزمن الذي نلقاه في حياتنا اليومية ؟ تكمن الاجابة ليس في قوانين الحركة الجزيئية ، بل في الظروف الأولية

للغاز ، فقد أثبت بولتزمان أنه اذا كان غاز ما في درجة الضغط نسبية ، فان الانتروبيا فيه سوف تكون زيادتها أكثر احتمالا ، ولكن الموضوع الحقيقي هو كيف تحقق النظام في البداية ، في الواقع لم يكن ذلك أبدا نتيجة انتظار فترة غاية في الطول ، ولكن بسبب أن الكون باكمله يتقدم من مرحلة منخفضة الانتروبيا الى أخرى مرتفعة فيها ، ويمكننا هذا من أن نخالي وضعا يكون فيه الغاز ، مثلا ، محتوى في حيز من صندوق مزود بفاصل محكم ، كما هو مبين في الشكل (٢٢) ، وفي هذا الصندوق توجد درجة من النظام تصبح غير موجودة لو ازلنا الفاصل ، وملأ الغاز الصندوق باكمله ، وتحقيق هذا القدر من النظام الأولي لم يتم بلا تكلفة ، بل نتيجة نشاط عمدي ، من صناعة الصندوق واحكام الفاصل فيه ، هذه الأنشطة زادت من الانتروبيا للكون باكمله ، والانتروبيا المنخفضة المشروكة في جزء من الصندوق هي وقتية ، تزال عندما يحل باحكام الفاصل بين الجزءين ويتسرب الغاز ليملأ الصندوق ، مما يرفع الانتروبيا مرة أخرى .

كل ذلك ممكن لأن الأرض نظام مفتوح ، تغمره الطاقة التي يأتي القدر الغالب منها من الشمس ، والتي هي مثال كلاسيكي للتوازن الديناميكي الحراري ، كرة مضيئة من غازات حارة تبث طاقتها الهائلة في اتجاه لانهائي في الفضاء البارد من حولها ، وسهم الزمن الذي نقابله في حياتنا اليومية هو بسبب قربنا من هذا المصدر الهائل من الطاقة في السماء ، والذي يمثل دلوا من الانتروبيا السالبة يمكننا الغرف منه لنعيد النظام على كوكبنا .

ولكي نتتبع نشأة سهم الزمن الى منشئه ، علينا أن نعرف كيف وصلت الشمس لحالة من الانتروبيا أقل من الحالة القصوى ، والتي تسمح لها ، بل وتضطرها ، الى بث طاقتها في الفضاء ، وحيث ان الشمس هي نجم مثل كثير غيرها ، فالمسألة كونية ، كيف يوجد الكون حاليا في مرحلة عدم توازن ، فيه طاقة متمركزة في أماكن دون الأخرى ؟!

وليس هذا السؤال جديدا ، فقد طرحه من قبل ، وبصيغة مختلفة قليلا ، الفلكي السويسري في القرن الثامن عشر جين فيليب دي شاسو

Jean-Phillip de Chceaux ، ثم اعاده بعده بقرن الالماني جيرمان اولبرز German Olbres ، قبل ان يحل أخيرا في القرن العشرين ، واللغز الذي حير دي شاسو واولبرز ، من بين آخرين ، هو أنه لو كانت النجوم بثت اشعاعها الحراري وضوءها منذ الأزل ، لكانت المناطق بينها ممتلئة بالاشعاع ، وليست السماء مضيئة على الدوام ، ورغم أن المسألة لم تطرح بهذه الصياغة حتى القرن الحالي ، فان قدرا من النمر يكمن في كون الفضاء أبرد من النجوم ، لماذا لم يتحقق التوازن الثرموديناميكي للكون ؟

وثاني الاجابة ليس من تطبيق قوانين الفيزياء على الكون اليوم ، بل كما كان في ظروف نشأته الأولى ، ولم تكن الصياغة الأولى تتضمن ظروفا أولية ، حيث كان ينظر للكون على أنه سرمدي ، هذه النظرة لم تعد سارية اليوم ، وان أحد الأدلة الدامغة على أن للكون ظروفا أولية هو في الواقع ظلمة السماء في المساء ، فالنجوم تولد طاقتها بحرق الوقود النووي ، بتحويل العناصر الخفيفة (أساسا الهيدروجين) الى عناصر أثقل ، بدءا من الهيليوم وانتهاء بالحديد الذي هو أكثر العناصر استقرارا نوويا (أعلاها انتروبيا) ، وفي تحويل الهيدروجين الى حديد يكون النجم قد تسبب في زيادة كبيرة في الانتروبيا ، باطلاقه كل هذه الطاقة التي كانت في الأصل محبوسة في النواة ، على صورة اشعاع انتشر الى أقصى أجواز الفضاء .

علينا اذن الرجوع الى الوراء أكثر ، لأصل الوقود الهيدروجيني الذي مكن من هذه العملية ، ويرجعنا هذا القرابة خمسة عشر بليونا من السنوات في الماضي ، الى لحظة الانفجار العظيم ، ويستنبط العلماء الفلكيون من دراسة معدل تمدد الكون والخلفية الاشعاعية الكونية ، أنه بعد ثانية واحدة من المفردة الأولية كانت درجة حرارة الكون عشرة بلايين من الدرجات ، وهي درجة من الارتفاع تحول دون تكون أنوية العناصر ، وكانت مادة الكون عبارة عن حساء من المكونات الأولية للذرات (بروتونات والكترونات ونيوترونات حرة) مع ، جسيمات أولية ، أخرى ، وبهبوط درجة الحرارة ، بدأت الجسيمات الذرية في التجمع في أنوية ، بنسبة

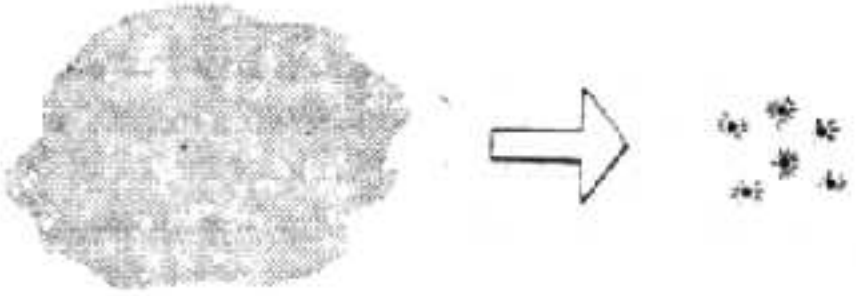
٢٥٪ من الهيليوم ، واقل من ١٪ من العناصر الاثقل ، وحوالى ٧٥٪ من الهيدروجين .

هذه الفترة من الاندماج في أنوية استغرقت مجرد عدة دقائق ، وتوقفت لأن درجة الحرارة هبطت عما يسمح لها بالاستمرار . ولهذا السبب ، تجمد ، القدر الاكبر من المحصول الذرى على صورة هيدروجين، وهى حالة الانتروبيا المنخفضة التى نعايشها اليوم - فقط في داخل النجوم - حيث تولد الجاذبية ضغطا هائلا ، تبلغ درجة الحرارة ما يماثل الدقائق القليلة بعد المفردة الأولية ، بما يسمح باطلاق عملية الدمج النووى مرة أخرى ، واستمرار انزلاق الكون الى مصيره المحتوم من الموت الحرارى . ان هذا الرصيد المتبقى من الهيدروجين هو الذى يتيح اجراء الأنشطة النافعة ، وهى الأنشطة التى يتمثل فيها سهم الزمن .

ولكنا نواجه عندئذ بلغز آخر . لو كان الكون قد بدأ بحالة منخفضة من الانتروبيا ، منها يقوى بالتدريج فى عملية غير العكاسية ، فاننا نستنتج أن الكون فى مراحله الأولى كان ابعد ما يكون عن حالة التوازن الترموديناميكى (أى حالة الانتروبيا القصوى) . ومع ذلك فان لدينا شواهد أن الكون بعد ثانية كان فى حالة قريبة من تلك الحالة . فالخلفية الاشعاعية ذاتها ، وانتظام توزيع المادة على النطاق الواسع ، والتفسير المبسط لمعادلات النسبية ، كلها تؤدى لنفس النتيجة . فكيف سار الكون من التوازن الى عدم التوازن ، بينما تتطلب قوانين الفيزياء ان يكون العكس هو الصحيح ؟ وبعبارة أخرى ، لو كان الكون ساعة تسير بانتظام وبطء الى التوقف ، فكيف بدأت فى البداية ؟

تكمن الاجابة فى تمدد الكون . ان هذا التمدد هو الذى تسبب فى أن تبرد المادة الكونية . لم يكن لنجم مثل الشمس أن يظل فى مواجهة الحرارة الحادثة بعد المفردة الأولية الا لعدة دقائق . انها لم تظل موجودة بسبب حرارتها ، بل بسبب برودة الكون التى هى بفضل تمدده . ان هذا التمدد هو الذى يسمح للنجوم أن تظل متوهجة على خلفية من برودة الفضاء . وفى هذا الخصوص لا يعتبر الكون نظاما مغلقا بصورة مثالية ،

حيث انه فى تمدد مستمر ، بالضبط كما لو كنا مستمرين فى تحريك الفاصل فى صندوق الغاز ، بحيث لا يسمح للغاز أن يستقر . فالتمدد يعطينا عدم التوازن الترموديناميكى الأساسى الذى يعطى سهم الزمن اتجاهه .



شكل (٢٣) تتطور سحابة غازية متجانسة - تحت تاثير جاذبيتها الى حالة من اللاتجانس تتجمع فيها المادة على شكل نجوم . ويمثل هذا سهما اخر للزمن .

ولكن هذه الاجابة مقنعة فقط الى هذه النقطة . فسهم الزمن المتولد عن الديناميكا الحرارية هو واحد من كثير ، فلدينا سهم متولد عن الجاذبية . فنظم الجاذبية لها ميل طبيعى للتقدم من التشكيلات المنتظمة الى غير المنتظمة ، كما تتكتل سحابة غازية فى الفضاء فى شكل نجم (الشكل ٢٣) . والمصير النهائى لهذا الطريق وحيد الاتجاه هو الثقوب السوداء ، حيث تتكتل المادة بشدة تجعلها تنهار لدرجة الاختفاء عن الأنظار . وحقيقة أن الأشياء يمكن أن تسقط داخل الثقوب السوداء ، ولكن لا يمكن أن تخرج منها هى مثال واضح للاتماثلية الزمن، فالشريط السينمائى لا يمكن أن ينعكس (الشكل ٢٤) . وبتقدم الكون تجاه الموت الحرارى، يتحول

شكل (٢٤) : يمثل الثقب الاسود اقصى صورة للشد الجذبى ، فالجسم الذى يسقط فيه لا يفلت منه ابدا ، ويمثل ذلك الحد شوط سهم الزمن التجاوبى الثارة .

قدر اكبر من المادة الى ثقوب سوداء . وقد بين روجر بنروز من جامعة أوكسفورد أن الانتروبيا للكون الذي هي بمجرد ١٠ ـ٢٠ من قيمتها التي يمكن أن تكون لو أن كل ما فيه من مادة قد تركزت في ثقب أسود.ويثير هذا السؤال التالي:لماذا كان الكون المبكر كونا من سحاب يكاد يكون منتظما هي الغاز ، اذا كان الوضع الأكثر احتمالا (الأعلى من وجهة نظر الانتروبيا) هو تكتل المادة في ثقوب سوداء ؟ لماذا لم يتجه الانفجار العظيم مباشرة الى الثقوب السوداء ؟ والدلالة على هذا التوزيع المنتظم للكون البدائي تأتي كما لمحنا من التوزيع المنتظم للخلفية الاشعاعية للكون . فهذه الخلفية كانت ستحمل بصمة من عدم الانتظام في مراحل الكون الأولى . ولكنها كما سنذكر في الفصل الخامس منتظمة بنسبة واحد الى ١٠٠٠٠ .

ولكي نوجز ما قصصناه الى الآن ، يبدو أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم للزمن : ثرموديناميكي وجاذبي وكوني . ويكاد يكون من المؤكد وجود رابطة بينها . فحالة الانتروبيا المنخفضة يمكن تتبعها في التمدد الكوني ، والتمدد الكوني ذاته هو مثال للنشاط التجاذبي في الكون ، والميل العام للنظم المتجاذبة للتطور من غلالة سحابية الى تكتل نجمي يعتبر مثلا لتمدد الكون في النظام واطراد . وهكذا فان تعليل سهم الزمن يبدو انه مرتبط بتعليل السلاسة والانتظام التي كان عليها الكون البدائي . هل السبب يكمن في أن الكون « خلق بهذه الصورة » ، أو بعبارة أخرى ، انها بداية اعتباطية تخرج عن مجال العلم ؟ ، أم انه من الممكن أن نجد تفسيرا لسلاسة الكون عن طريق نظرية عن أصل الكون ؟ على أي من الاحتمالين ، لقد تتبعنا سهم الزمن الى خلق الكون ذاته ، والعمليات التي جرت في كسر الثانية التي تلت .

قبل أن نترك المناقشة عن سهم الزمن لكي نتحدث عن الكون البدائي، علينا أن نقول شيئا ملفتا آخر حول طبيعة الزمن . فمهما كان القرار بشأن لغز أصل سهم الزمن ، فما من شك في أن السهم موجود ، وهو الذي يميز بين الماضي والمستقبل . ولكننا قد قدمنا أن النسبية ليس فيها مكان للماضي والحاضر والمستقبل ، فكيف نوفق بين هذه الحقائق ؟

الزمن والوعي

كما قدمنا في مناقشتنا للتواقت (الشكل ١٤) ، فان « متصل » الزمكان الموحد يعني ضمنيا أن الزمن « يمط » في كليته ، مثل المكان . فليس من معنى مطلق يمكن أن نلحقه بمفهوم « الآن » حاضر . والأكثر من ذلك ، فان فكرة « سريان » الزمن أو أن اللحظة الحاضرة تسري من الماضي للمستقبل ليس لها مكان في وصف العالم . هذه المسائل أوجزها بلباقة الفيزيائي الألماني هيرمان ويل بقوله : « العالم لا يحدث ، انه ببساطة يكون » .

كثير من الناس يخلطون بين وجود سهم الزمن والانطباع السيكولوجي بأن الزمن يسري في اتجاه واحد . ويرجع ذلك جزئيا لغموض الترميز الخاص بفكرة السهم ، والذي قد يستخدم ليعبر اما عن الحركة في اتجاهه ، واما للتعبير عن اللاتماثل ، كما تعبر ابرة البوصلة عن التمييز بين الشمال والجنوب . فحين تشير الابرة للشمال ، فذلك لا يعني أنك تتحرك في اتجاه الشمال . كما أن الخلط يحدث نتيجة لعدم الدقة لغويا في استخدام مصطلحي « الماضي » و « المستقبل » . فكلا المصطلحين لهما مكان في الفيزياء ، بشرط استخدامهما في صياغة صحيحة اجرائيا . فالحديث عن « الماضي » و « المستقبل » غير مسموح به ، ولكن بامكانك القول ان لحظة ما هي ماضي للحظة تالية . فليس من شك في ترتيب الحوادث في الزمن ، بالضبط كما تتوالى صفحات كتاب في الفراغ ، في تتابع منضبط ، والأكثر من ذلك ، هذا الترتيب كما يجري ترقيم الكتاب ، يحمل اتجاها مصحوبا به ، حتى وان لم يكن هناك شيء حقيقي يسري . فاولا واخيرا ، تتطلب فكرة السببية نوعا من علاقة « قبل فـ بعد » للحوادث . فكمثال بسيط ، حين تطلق رصاصة على هدف، وتراه يتحطم ، فلن يكون هناك شك في ترتيب الحوادث بالنسبة لأي مشاهد ، فالتحطيم حدث بعد الاطلاق ، فالنتيجة تقع دائما كمستقبل بالنسبة للسبب .

ولكنا حين نشير لسهم الزمن ، لا يجب أن نفكر في سهم يطير في

الفراغ من الماضى للمستقبل ، بل علينا ان نفكر فى سهم مثل ابرة البوصلة ، يشير لطريق للمستقبل ، حتى ولو لم يكن هناك تحرك تجاهه .

ولقد تجادل الفلاسفة طويلا حول الموضوع الشائك : هل اللحظة الحاضرة حقيقية موضوعية ، أم مجرد اختراع سيكولوجى ؟ فاولئك الذين هم من أمثال هانز ريخنباخ Hans Riechenbach ود. وبترو G. Whitrow والذين اتجهوا الى حقيقة الحاضر يعرفون باسم « المنظرون فئة (أ) A theorist » . بينما يطلق على معارضيهم ، من أمثال أ أير A. Ayer وجى. سمارت J. Smart وادولف جرنبـاوم Adolph Grunbaum « المنظرون فئة (ب) » . ويعكس المصطلحان ا و ب وجود نموذجين متباينين للحديث . الاول يستخدم مفاهيم الماضى ـ الحاضر ـ المستقبل وما يتعلق بها من أزمنة قاعدية منتشرة فى اللغة (٣) . اما النظام الثانى فيستخدم نظام التواريخ . فالاحداث تعنون بتاريخ حدوثها . بدأ كولومبوس فى الابحار ١٤٩٢ . أول هبوط الانسان على القمر ١٩٦٩ ، وهكذا . ويفيد هذا فى وضع الحوادث فى ترتيب لا يثير غموضا ، وهو النظام الذى يستخدمه الفيزيائيون . فالتواريخ هى ببساطة احداثيات ، بالضبط كما تستخدم خطوط الطول والعرض لتحديد موقع على سطح الكرة الأرضية . ومن وجهة نظر الفيزيائيين ، فهذا هو كل ما هو مطلوب لوصف العالم .

ويذهب الفريق (ب) الى ان هذين النظامين للحديث عن نفس الترتيب للاحداث لا يمكن ان يكونا متوافقين . فحيث ان اللحظة الحاضرة تتحرك باستمرار للامام ، فالحوادث التى تعتبر مستقبلا سرعان ما تصبح حاضرا فماضيا ، ولكن لا يمكن عنونة حادثة معينة بالعناوين الثلاثة ، كماض وحاضر ومستقبل .

وتتعلق معضلة أخرى فى رأيهم بمسألة مدى سرعة التحرك فى الزمن . والاجابة يمكن فقط أن تكون ثانية كل ثانية ، (أو أربعا وعشرين ساعة كل أربع وعشرين ساعة) وهو ما لا يفيدنا بشىء ، فهو مجرد لغو .

فمفهوم التغير يعنى فيما متغيرة فى اللحظات المختلفة . ولكن اى شىء يعنى تغير الزمن بالنسبة للزمن ؟!

وقد تناول المشكلة فى السنوات الأخيرة كاتب خيال يدعى جى. دن J. Dunn والذى اخترع شيئا اسماه الزمن المتسلسل . وقد قبل دن فكرة أن الحاضر يتحرك ، ولكنه ادرك ان هذا له معنى فقط لو ادخلنا مقياسا آخر للزمن ، يمكن بالنسبة اليه تحديد تقدم الزمن الأول . ثم مد الفكرة باقتراح زمن ثالث ورابع وهكذا ، فى تتابع غير منته . وحاول دن ربط هذه المستويات المختلفة من الزمن بطبقات وهيا ، باقتراح أنه اثناء الاحلام يمكن ان يكون الانسان فى الزمن ١ ، بما يمكنه من رؤية الحاضر والماضى والمستقبل . وليس من المستغرب الا تؤخذ فكرة دن بجدية لا من الفلاسفة ولا من العلماء ، ولكنها تبين مدى الصعوبة الكامنة فى أخذ مفهوم سريان الزمن بجدية .

وعند هذه النقطة سوف يعترض القارىء المتشكك والجدل التقليدى يسير كالتالى : « مهما كان ما يقوله العلماء أو الفلاسفة ، فمما لا شك فيه أن الامور تحدث ، ان هناك تغيرا لا شك فيه ، فانا أعايشه معايشة مباشرة . فمثلا ، كسر منى قدح القهوة : ولقد حدثت الحادثة فى الرابعة . ولقد كان التغير للاسوأ . ان فنجان القهوة الآن مكسور ، ولم نكن فى الصباح » .

ولسوف ترد الفئة (ب) بأن ذلك ما هو الا خداع : « كل ما تقولونه هو انه قبل الرابعة كان القدح سليما ، وبعد الرابعة كان مكسورا . وعند الرابعة كان فى حالة بينية » هذه الطريقة من الوصف ، وهى طريقة الفئة (ب) ، تحمل نفس المعلومات عن الحوادث المتعلقة بالقدح ، ولكنها لا تشير باية حال لسير الزمن . ليس هناك داع للحديث عن كون القدح قد تغير الى حالة الكسر ، أو ان هذا قد حدث فى الرابعة . كل ما هناك تواريخ وحالات ، وليس من داع للمزيد .

ويمكن في الواقع للفئة (ب) أن تمضي لأبعد من ذلك ، بالقول بأننا لا نقيس الزمن اطلاقا بصورة مباشرة ، ان ما نقيسه واقعا هو شيء ملموس ، كمكان عقرب الساعة على ميناتها ، أو موضع الأرض بالنسبة للشمس . فعندما نقول ان شيئا ما قد كسر في الرابعة ، فان ما نعنيه في الواقع أن حالة سلامة الشيء تتفق مع وضع عقرب الساعة عند الرقم ٤ ، وحالة الكسر عند موضع للعقرب بعد هذا الرقم ، وبهذه الطريقة تمحى تماما اية اشارة للزمن في وصف العالم .

وقد ترد الفئة (أ) بان مفهوم تغيير وضع عقرب الساعات ذاته يتطلب اشارة للزمن ، ما لم يكن هو أيضا مرتبطا بشيء ما ، كحركة دوران الأرض . وعندئذ تنتقل المشكلة الى دوران الأرض ، وهكذا - فما نهاية هذا التسلسل ؟

مرة أخرى ، نجد أنفسنا مجبرين على التأمل في الظروف الأولية . فالساعة النهائية هي الكون نفسه ، والذي يتمدده يحدد الزمن الكوني ، ويبدو أن هذا يحل مغزى هاما . كل من سهمي الزمن الترموديناميكي والفلسفي يبدو أنهما يجدان أصلهما في تمدده ، في سهم الزمن الكوني . ولكن حين نحاول دراسة أصول هذا التمدد بمعرفة أفضل وصف علمي في الميكانيكا ، ميكانيكا الكم ، نجد أمامنا مفاجأة مدهشة ، اذ يختفي الزمن الكوني من المعادلات تماما ! فمعادلات الجاذبية التي تحكم حركة الكون تفرض قيدا له أثر في الغاء بعد الزمن . وعلى ذلك فكل التغيرات يجب أن تقاس عن طريق الترابط . وفي النهاية يرتبط كل شيء بحجم الكون . فأي تصور لحاضر يتحرك قد ذوى كلية ، بالضبط كما ادعى رجال الفئة (ب) دائما .

ولكن ماذا عن حقيقة احساسنا بأن الزمن يسري ؟ تذكر أن آينشتين قد تحدث عن خداع . والخدع المتعلقة بالحركة تصادفها في مواضع أخرى ، والمألوف هنا هو الدوار ، فعندما تركب مركبة تدور بسرعة ثم تتوقف فجأة ، ينتابك احساس طاغ بأن الكون يدور من حولك ؟ ولكنك

تعلم يقينا بانك متوقف . ربما كان احساسنا القوي بسريان الزمن هو نوعا من هذا الخداع ، وأنه مرتبط بالطريقة التي بها تعمل ذاكرتنا .

والنقاش أبعد من أن يكون كافيا . فعلى الرغم من أن القدر الأكبر من الحجج هي في صف الفئة (ب) ، وصد حقيقة موضوعية عن حاضر يتحرك ، فيبدو أنه من المستحيل أن نرمي الموضوع وراء ظهورنا كلية . الا يحتمل أن هناك وجها للزمن لم ندركه بعد ، هو الذي يطفر في الطريقة البهية وغير الكاملة لادراكنا لتحرك اللحظة الحاضرة ؟ لقد تكلمنا من قبل عن الهيولية ، والتي تمحو روح الحتمية النيوتونية من النظرة للعالم ، وبالنظر للمستقبل على أنه غير متوقع ، فهو لم يحدد بالحاضر بعد . ان أحد أفرع العلم التي سنتناولها بالتفصيل في الفصل السابع ، تتضمن النظرية الكمية ، والتي تخبرنا أن هناك قدرا كامنا من عدم اليقين نصادفه في حوادث المستوى دون الذري . وفي ميكانيكا الكم ، يوجد العديد من أنماط الحوادث المستقبلة ، بمفهوم ما ، الى أن يقوم المشاهد العديد من أنماط الحوادث المستقبلة التي يقر بوجودها جميعا ، رغم تعارض احتمالاتها ، الى ان يقوم المشاهد بتحويل أحد الاحتمالات المفترضة الى واقع . هذا التحويل الجوهري ربما يكون مرتبطا تماما بصور ما بالمفهوم الهلامي لسريان الزمن .

ورغم ما في هذا القول من عدم الارضاء ، فعلينا أن نقر بأننا عازمتا في محاولة تحديد ماهية الزمن ، وان نبحث عن بديل مؤقت لتصوراتنا الحالية عن سريان الزمن في محاولة الأصل والنهاية المحتومة للكون . ومع ذلك ، فهذا الاعتراف بالهزيمة في حد ذاته يبين مدى الحاجة الى اطار فكري لما بعد النيوتونية ، اشارة الى أنه يوجد المزيد عن الكون مما لا يمكن لنظرياتنا العلمية استيعابه . والآن ، الى أي مدى يمكن لعلم القرن العشرين وصف أصل المكان والزمن ؟

هوامش الفصل الرابع

(١) يمكن للقارىء المهتم بهذا الموضوع مراجعة كتاب « الدقائق الاولى » ، ترجمة الدكتور ممدوح الرصفي أستاذ الفيزياء بجامعة عين شمس ، من منشورات ، الف للنشر ، ٥٦ شارع ٢٦ يوليو - القاهرة ـ (المترجم) .

(٢) تظهر هذه المجرة في السماء كخط باهت الضوء ، ومن ثم كانت التسميتان ، الاولى ، وهي المتفقة مع التسمية الانجليزية ، تتخيل رجلا يتساقط اللبن من اناء معه ، والثانية يتساقط اللبن من حمولة يتقلها ـ (المترجم) .

(٣) ربما باستثناء واحد ، فقد تفاءل اللغويون أن شعب الهوبي Hopi في شمال امريكا لا يميزون في لغتهم بين الازمنة الثلاثة ، وليست لديهم أية وسيلة للتعبير عن سريان الزمن ، فبالنسبة لهم تتعين الاحداث بكونها اما ، ظاهرة ، أو ، متطورة » .

الفصل الخامس

الثانيـــة الأولى

في عام ١٩٧٦ كتب الفيزيقي ستيفن فاينبرج Steven Weinberg كتابا أسماه « الدقائق الثلاث الأولى » (١) ، يصف فيه الراحل المبكرة من الكون ، الانفجار العظيم ذاته ، ولكن عنوان الكتاب يحتوى على خدعة بسيطة ، فالقصة التي حكاها فاينبرج عن كيفية تحول الحالة متناهية الانضغاط للمادة الأولية الى كون متمدد ، توزعت في المادة بالتساوى في ارجاء الفضاء على هيئة هيدروجين بنسبة ٧٥٪ وهليوم بنسبة ٢٥٪ تقريبا التهت بالفعل بعد ثلاث دقائق من المفردة الاولية ، ولكنها ايضا بدأت بفقد جزء من المائة من الثانية من تلك المفردة ، أى ليس في البداية بالضبط ، في ذلك الوقت كان الفيزيائيون ابعد من أن يستطيعوا الدفع بنظرياتهم الى الانفجار العظيم ، وما حدث خلال الجزء من المائة من الثانية الاولى كان بالنسبة لهم مبهما ، والآن ، بعد أقل من عشرين عاما ، يتحدث بعض النظريين بثقة عن حوادث حدثت خلال هذه الفترة ، ولكنهم لا يزالون عاجزين عن الرجوع الى لحظة المفردة ذاتها ، ليس عن عجز في نظرياتهم ، فقد صار متفقا تماما على أن هناك جزءا من الزمن لا يمكن تجزئته ، يسمى « زمن بلانك Plank's time » ، ان هذه الصفة الكمية التي أعطيت للزمكان تعني ضمنيا أن الزمن « بدأ » بمعنى معين ، عند عمر للزمن مقـــداره ١٠ ـ٤٣ من الثانية ، فالمفردة ذاتها لا يمكن سبر غورها ، كما عومل من قبل على أنه المفردة ضاع في خضم التأثيرات الكمية ،

وفهمنا لتاريخ الكون في الثانية الأولى من عمره يقف على قدم المساواة مع فهمه في الدقائق الثلاث الأولى في منتصف السبعينيات . وفي خلال الثانية الأولى حدثت العمليات التي استوى فيها الكون المرئي وجعلته يستقر الى حالته الانتروبيا المنخفضة التي تظهر في تاريخ لاحق للكثير من الأشياء المثيرة ، بما فيها نحن .

ويعني الانفجار العظيم ضمنا ليس فقط ظهور المادة والطاقة ، بل أيضا الفضاء والزمن . وتزاوجت روابط الجاذبية الزمكان بالمادة ، حيثما يستقر أحدهما يتبعه الآخر حتما . فالانفجار العظيم هو الماضي الأقصى للكون المادي بأكمله ، وهو الذي يمثل بداية الزمن . فليس له « قبل » . هذا المفهوم المحير كان متوقعا منذ عهد بعيد من القديس أوجستين ، والذي كان يردد أن العالم قد خلق « من الزمن » وليس « في الزمن » .

ولقد جادل الفلاسفة ورجال الدين كثيرا حول المعنى الحقيقي للخلق « مع الزمن » . فواقعة كهذه يجب أن تكون بدون سبب مسبق ، لأن السببية ذاتها مفهوم مرتبط بالزمن . ويعتبر اللغز الكوني جزئية من الجدل اللانهائي وغير المحسوم حول علاقة الله بالوقت . ولكن الفيزيقيين المحدثين ، وبالتحديد في النظرية الكمية ، قد ألقوا ضوءا جديدا على العلاقة بين السبب والنتيجة ، في سبيرهم لفهم لغز سبب الانفجار العظيم الذي لم يكن له « قبل » .

وبالنسبة لغرضنا الحالي ، فالخاصية الجوهرية في النظرية الكمية هي اللاحتمية . فالفيزياء القديمة ربطت كافة الوقائع في رباط وثيق من الأسباب والنتائج ، ولكن على المستوى الذري اتضح أن هذا الرباط ليس محكما تماما . فالحوادث قد تقع دون سبب قاطع ، وتحولت الحركة والمادة الى أشياء مبهمة . فالجسيمات لا تتبع مسارات محددة تماما والقوى لا تحدث الآثار المحتومة . لقد أفسحت الساعة المنضبطة لميكانيكا نيوتن المجال الى خليط هلامي من احتمالات الحقائق (٢) . انه من خلال ذلك الأجيج على المستوى دون المرئي ينبع عدم اليقين . فما يحدث من لحظة

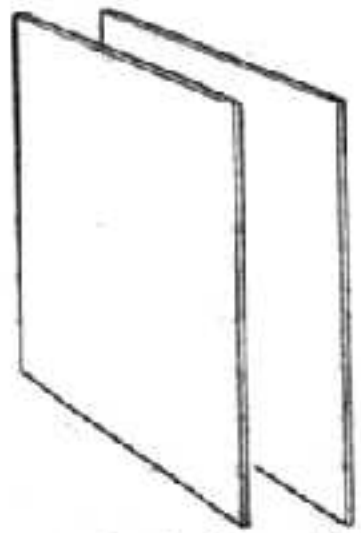
لأخرى ليس محددا تماما . كل ما يمكن اعطاؤه هو فقط الحدس والظن . فالتذبذبات العشوائية في هيكل المادة ، بل والزمكان ، أمر محتوم .

شيء مقابل لا شيء :

من أعجب ما ينتجه عدم اليقين الكمي هو ان المادة يمكن أن تظهر من دون مكان ما . ففي الفيزياء الكلاسيكية ينظر للطاقة على انها شيء ثابت ، لا يخلق من العدم . فهي فقط تتحول من صورة لأخرى . أما ميكانيكا الكم فتسمح بظهور طاقة من لا شيء ، طالما انها تختفي في لمح البصر . وحيث ان المادة هي صورة من الطاقة ، فان ذلك يعني ، كما قدمنا في الفصل الأول ، احتمالا لظهور عرضي لجسيمات من لا شيء . هذه الظاهرة تعدل جذريا ما نعنيه بـ « الفضاء الفارغ » .

تخيل صندوقا أخلى من كل صور المادة . قد نظن ان هذا هو الفراغ بعينه ، او الفضاء الفارغ . والواقع ان التذبذبات في الطاقة الكمية للفراغ تسبب خلقا مؤقتا لكل أنواع الجسيمات « التقديرية » ، وهي جسيمات ما لبثت أن تظهر حتى تختفي . فالفراغ الساكن ظاهريا ما هو الا بحر مهتاج بالنشاط الذي لا يهدأ ، ممتلئ بالجسيمات الشبحية التي تظهر ، وتتفاعل ، ثم تتلاشى . ولا يهم اذا كان الصندوق مفرغا من المادة « الدائمة » ام لا ، فهذا النشاط يدور في كل ما حولنا ، بما فيه الفراغ داخل الذرة . الأكثر من ذلك فان هذا النشاط الفراغي الذي لا يمكن التخلص منه ليس فرضا نظريا ، بل هو ينتج آثاره على الذرات وما دون الذرات ، آثار ملموسة بالتجربة . وقد اقترح الفيزيائي الهولندي هندريك كاسيمير Hendrik Casimer وضع لوحين معدنيين متقابلين على مسافة جد صغيرة (الشكل ٢٥) . هذان اللوحان لكونهما من المعدن سوف يكونان عاكسين للفوتونات بصورة عالية ، بما في ذلك الفوتونات التقديرية التي افترضناها . ونتيجة لهذه الانعكاسات المستمرة ، فان تغيرا ملحوظا يحدث في طبيعة الفراغ في الفجوة بين اللوحين .

وأفضل تصوير لما يحدث هو المقارنة بوتر جيتار . فلان الوتر مثبت من طرفيه ، فهو لا يهتز الا بنغمات معينة ، وهذا بديهي لأي



الشكل (٢٥) : تأثير كاسيمير : يترتب على وضع اللوحين العاكسين اضطراب الفراغ الكمي بينهما ، باجبار الفوتونات على اتخاذ أطوال موجية محددة ، وينتج عن ذلك قوة تجاذب بين اللوحين .

موسيقي . والذبذبات المنتقلة على طول الوتر تنعكس جيئة وذهابا بين الطرفين المثبتين ، بحيث لا يلعب الوتر الا نغمة محددة ، هي التي تسمح باستقرار نصف موجة بالضبط على طول الوتر ، أو مضاعفاتها (تسمى المضاعفات بالتوافقيات Harmonics كما في الشكل (٢٦) . أما غير ذلك من ترددات فممنوعة . وبصورة مشابهة ، تسمح الفجوة بين اللوحين بذبذبة محددة من الموجات الكهرومغناطيسية أن تتردد بين اللوحين ، « نغمة » خالصة من هذه الموجات ، أو توافقياتها الأعلى . أما كافة الترددات غير المتوافقة في طولها مع مسافة الفجوة ، فلن يكون لها وجود بين اللوحين .

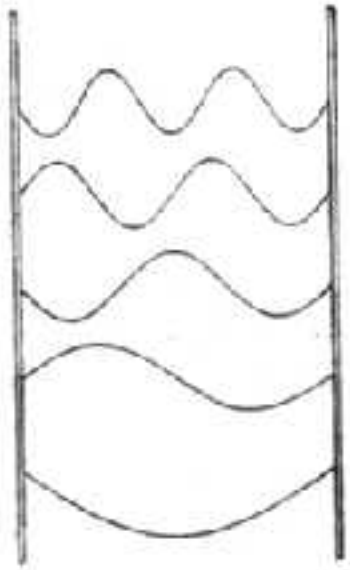
وحيث ان قدرا من الطاقة محتوم تواجده بين اللوحين ، فان قدر الفوتونات المتاحة بين اللوحين سيكون أقل من المتاح خارجهما ، وعليه يكون دفع الفوتونات على السطحين الداخليين للوحين أقل منه على السطحين الخارجيين ، مما يترتب عليه ميل اللوحين للتقارب . ويظهر تأثير كاسيمير Casimer effect على صورة قوة تجاذب بين اللوحين .

أشلاء نتجت عن تحطم البروتونات نتيجة للتصادم ، بل خلقت من فرق الطاقة الحركية للجسيمين المتصادمين نتيجة تباطئهما بسبب التصادم . وحيث ان الفراغ لم يتكلف شيئا من الطاقة في خلقها ، فانها تظل باقية كجسيمات حقيقية .

فالجسيمات التقديرية يمكن ان ترتفع لمستوى الحقيقية اذا ما دفع مقابل من الطاقة لقاء بقائها . والطريقة المباشرة لعمل ذلك في تجربة كاسيمر هي تحريك أحد اللوحين بعنف (وهو يقابل تقر الوتر) . وفي الواقع فانه من ناحية المبدأ فكل ما هو مطلوب مجرد تحريك أحد اللوحين ، فبينما يتحرك السطح العاكس ، تنعكس منه المجالات الكمية ، ولو تسارعت هذه المرآة فان ذلك يعطي طاقة للفوتونات تمكنها من الانبعاث ، مما يجعل المرآة في الواقع مصدرا للضوء ، وليس مجرد عاكس له . فاعطاء المرآة تسارعا شديدا ، يمكن الحرء من رؤية الجسيمات المخلقة في الفراغ الكمي رأى العين .

ولكن عقبة تثور في مواجهة ذلك ، فلو ان المرآة اعطيت تسارعا يساوي تسارع السقوط الحر ، فان حرارة الاشعاع المنبعث لن تكون أعلى من ٤ × ١٠ $^{-٢٠}$ درجة كلفن . وتبين المعادلات ان العلاقة طردية بين التسارع ودرجة الحرارة ، بمعنى ان تضاعف التسارع تتضاعف معه درجة الحرارة ، ولما كانت درجة حرارة الضوء المرئي تساوي ٦٠٠٠ درجة كلفن (درجة حرارة سطح الشمس ، والتي منها يرد اغلب الضوء المرئي) ، فمن الواضح انه ما من مادة تصنع منها المرآة المتحركة يمكنها ان تصمد لمثل هذه الحرارة .

ولكن لم يفقد كل شيء ، فالأبحاث في معامل بل تحاول الحصول على نفس النتيجة باستخدام الغازات المؤينة بضوء الليزر ، وبالتحكم في الليزر بالصورة المناسبة ، فان الغاز المتاين يمكن ان يمثل المرآة المذكورة ، وما زال تصميم جهاز مبني على هذه الفكرة جاريا حتى تأليف هذا الكتاب .



الشكل (٢٦) : الفوتونات التقديرية المحصورة بين اللوحين في الشكل (٢٥) تعمل مثل الجيتار حين تهتز اوتاره . الذبذبة الادنى هي التي يساوي نصف طولها الموجي المسافة بين اللوحين بالضبط . وتتلو تلك الذبذبة التي طولها الموجي هو نفس المسافة ثم مضاعفات هذه الذبذبات .

هذه القوة ضئيلة للغاية . ولكن يمكن قياسها - فالفوتونات ذات الأطوال الموجية القصيرة لا تتأثر بهذه الظاهرة كثيرا ، بينما تتأثر بها ذات الأطوال الكبيرة بقدر أكبر . ولما كانت الترددات طويلة الموجة تقابل كما أقل من الطاقة (٣) ، فان التغيير في الطاقة يكون ضئيلا . ولكنه برغم ذلك ممكن الاحساس به . كقوة التجاذب التي قام بحسابها كاسيمير - وأكثر التجارب اقناعا استخدم فيها الواحا مقوسة من الميكا ، ومثل هذه التجارب تبين بصورة مباشرة النشاط الفراغي الكمي .

والشيء الوحيد الذي يمنع الجسيمات التقديرية من البقاء هو افتقارها للطاقة . فعدم اليقين الكامن في العالم الكمي يسمح لها بالظهور العابر ، دون أن يتكلف الكون شيئا مقابلها . أما اذا كان للجسيم أن يتحول لجسيم حقيقي ، فلابد من طاقة تدفع مقابل ذلك . والمثال الواضح لهذه العملية نراه في المعجلات ، حين يتصادم زوج من البروتونات عالية السرعة ، فينتج عن التصادم جسيمات تسمى البيونات (٤) ، وهي ليست

ومن الوسائل الأخرى لانتاج طاقة تمد الفراغ الكمي هي خلق مجال كهربي قوي بين اللوحين ، ولا يؤثر ذلك في الفوتونات التقديرية ، ولكن في الالكترونات وغيرها من الجسيمات التقديرية المشحونة الموجودة بين اللوحين . فمع مجال كهربي بالقوة المناسبة ، ستظهر الكترونات حقيقية من الفجوة بعد أن أمدها المجال الكهربي بالطاقة اللازمة لبقائها .

لكن الطاقات الكهربية اللازمة أعلى بكثير مما يمكن لتجربة عملية ان تحققه ، الا أنه يمكن خلق مجال عرضي بالقوة المناسبة من تصادم عنيف بين نواتي ذرتين ثقيلتين . وينتج هذا لحظيا كرة متماسكة مركزة من عشرات البروتونات ذات الشحنة الموجبة . والمجال الكلي الناتج من مثل هذه الكرة من البروتونات،يقترب في قوته من المجال المطلوب لانتاج أزواج من الالكترون والبوزيترون (نقيض الالكترون) بالقرب من سطح الكرة . وقد أجريت تجارب من هذا القبيل ، ولا تزال نتائجها قيد التحليل .

ورغم أن المجال الكهربي هو السبب وسيلة واضحة لاثارة الفراغ ، فان المجال التجاذبي يمكنه أيضا ان ينفذ الفكرة . فالثقوب السوداء هي ذات أقطار عدة كيلو مترات على الأقل ، ولكن يتصور أنه خلال الانفجار العظيم تكونت ثقوب سوداء بحجم نواة الذرة . وبقدر صغر الثقب الأسود ، تكون شدة تشوه الزمكان بالقرب منه (الواقع ان الزمكان يجب أن يتقوس بعنف أشد حتى يستوعب الثقب الأسود الصغير بداخله) . وشدة تشوه الثقب الأسود تعني وجود مجال تجاذبي شديد ، وقد بين ستيفن هوكنج أن المجال التجاذبي المهول بالقرب من الثقب الأسود يمكنه اثارة الفراغ الكمي لينتج جسيمات حقيقية بدفع مقابلها من الطاقة التجاذبية للثقب . وسوف تنبثق الجسيمات من منطقة الثقب الى الفضاء خارجه ، بينما يفقد الثقب كتلة تدريجيا الى أن ينفجر الى مخلفات من الجسيمات دون الذرية (٥) .

ومثل آخر للمجال التجاذبي الفائق هو الانفجار العظيم ذاته . فالحسابات تبين انه خلال ١٠ $^{-٢١}$ من الثانية الأولى كانت الظروف الكونية من التطرف لدرجة تفي بخلق متواصل من الجسيمات . ويعني هذا خلق جسيمات حقيقية من الطاقة التجاذبية للكون المتمدد ذاته . ويميل المرء الى أن يعزى أصل المادة في الكون لهذا الخلق من فراغ الفضاء . الا أن هناك ثغرة .

الأجسام المضادة

لمائة عام مضت ، لم يكن أحد يسأل عن أصل المادة . فالفلكيون كانوا يعتقدون أن الكون سرمدي . وإلى عشرين عاما كانت الاجابة أن الكون قد نشأ من انفجار عظيم ، وأن المادة كانت موجودة منذ البداية . واليوم لدينا تفسير فيزيقي محتمل لأصل المادة . ولكن لنجاح هذا التفسير ، يجب أن نعرف شيئا عن الأجسام المضادة ، والرد على لغز اختفائها عن عالمنا المرئي .

وقد نبعت فكرة الأجسام المضادة من أهم تقدم علمي في القرن العشرين ، النظرية النسبية والنظرية الكمية . فقبلهما كان من المفترض أن المادة لا تخلق من العدم ولا تفنى ، بمعنى أن حصيلة الكون من المادة مقدار ثابت . ولكن آينشتين في نسبيته الخاصة غير من هذا المفهوم تماما ، فقد بين بمعادلته الشهيرة بين الطاقة والمادة : ط = ك × ع^{٢} أن الكتلة هي صورة من الطاقة . فجسيم كالالكترون يمكن النظر اليه كتكتل مركز من الطاقة . ويمكنك الحصول على قدر كبير منها من كتلة صغيرة ، لأن العامل (ع) في المعادلة هو سرعة الضوء ، وقد مر عليك مقدار كبير (٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية) .

ولأن الطاقة تظهر في صور متعددة ، يمكن للمادة أن تتحول ، مثلا الى طاقة حرارية . وقد أيد هذا الرأي دراسة كتل الجسيمات النووية . فنواة الاكسوجين مثلا تحتوي على ثمانية بروتونات ومثلها من النيوترونات ، وحاصل جمع كتل هذه الجسيمات منفردة يقل عن كتلة نواة الاكسوجين ، أي عن مجموع كتلها وهي محتواة في النواة ، بمقدار ١٪ . فأين ذهب الفرق ؟ التعليل هو أنه تحول الى طاقة تربط هذه الجسيمات معا . ونعلم اليوم أنها بالضبط الطاقة التي تمد الشمس والنجوم بالوقود اللازم لحياتها .

وعلى الرغم من أهمية أفكار آينشتين ، فانه لم يفترض مباشرة أن جسيمات بأكملها قد تختفي (أو تظهر) عن طريق تبدل الطاقة في صور مختلفة . فالبروتون قد تفل كتلته داخل النواة عنه وهو منفرد ، ولكنه لن يتلاشى كلية . ان من افترض ذلك هو بول ديراك Paul Dirac عام ١٩٢٠ .

كان ديراك مهتما بالجمع بين الأفكار الكمية الحديثة والنسبية . فرغم ان النظرية الكمية كما طورها شرودنجر وهايزنبرج وآخرون في ١٩٢٠ قد نجحت بشكل منقطع النظير في تفسير سلوك الالكترونات في الذرة ، كتقييدها في مستويات محددة من الطاقة ، فانها لم تتفق مع افكار آينشتين . وعلى وجه الخصوص ، فالتحول بين الطاقة والمادة طبقا لمعادلة آينشتين لم تتوافق مع النظرية الكمية .

وقد تم التوفيق بين هاتين النظريتين العظيمتين على يد ديراك ، عام ١٩٢٩ . ومركز الثقل في عمل ديراك هو معادلة بديلة لمعادلة شرودنجر في وصف حركة الالكترون على أنها حركة موجية . وقد تضمنت معادلة ديراك المعادلة الموجية لشرودنجر والأفكار النسبية عن الحركة ، وعلاقة الطاقة بالمادة . ولكن ظل هناك أمر دقيق لا يمكن تجاهله .

ان معادلة آينشتين في الواقع ليست بالنص المذكور تماما ، بل هي على الصورة ط^{٢} = ك^{٢} × ج^{٤} ، وبأخذ الجذر التربيعي يعطينا معادلتين وليس واحدة ، حيث ان الجذر التربيعي للعدد الموجب له في الواقع قيمتان ، واحدة موجبة والأخرى سالبة . معنى ذلك ان هناك صورة أخرى للمعادلة هي ط = − ك × ج^{٢} .

وقد تجاهل ديراك في البداية الحل السالب ، حيث انه يتضمن طاقة سالبة للالكترون . وهو ما بدا أمرا لا معنى له . ولكن وجوده ظل محيرا له ، اذ لم يفهم بالمرة لماذا يشع الكترون موجب الطاقة طاقة على هيئة فوتونات ، وبذلك ينحول الى حالة من طاقة سالبة (٦) . لو أتيح ذلك استمر الالكترون في بث الطاقة والنزول بمستوى طاقته بلا نهاية . ولو صحت هذه الصورة لما كان لأية مادة مجال للاستقرار .

لم لاح حل لديراك مبنى على صورة خيالية نعلم الآن انهـــا غير صحيحة ولكنا سنقص القصة كما جرت من أواخر العشرينات الى أوائل الثلاثينات ، لنبين أنه حتى النماذج غير الصحيحة تماما يمكن أن تساهم في بحثنا عن الحقيقة .

قبل عدة أعوام،اقترح ولفجانج باولى Wolfgang Pauli سيىء المعروف باسم « مبدأ الاستبعاد لباولى Pauli exclusion principle » الذى يذهب الى أن تفسير بعض خواص الالكترونات يمكن أن يتم لو افترضنا أنها ذات ميل للعزلة . فلا يمكن لها أن تتقارب زيادة عن حد معين . وبهذا المبدأ يمكن تفسير احتشاد الالكترونات في مسارات مختلفة حول النواة دون أن تتصادم وهي تحاول الوصول لمستوى الطاقة الأدنى (كما تفعل الطائرات حين تحتشد حول مطار مزدحم في انتظار الهبوط) . وقد طبق ديراك مبدأ الاستبعاد على مشكلة الطاقة السالبة،متسائلا : هل يمكن أن تكون هذه الطـــاقة ممتلئة بالفعل بالالكترونات ؟ فمبدأ باولى سيمنع الالكترونات ذات الطاقة الموجبة عندئذ من الهبوط في الطاقة السالبة . ولكن هذا التصـــور كان يضم اعوجاجا غريبا . فنحن لا نرى مثـــل هذه الالكترونات ذات الطاقة السالبة ، واستخلص ديراك من ذلك أنها يجب أن تكون مرئية .

وعلى الرغم من الخيال الجامح في تصور ذلك البحر غير المرئى من الطاقة السالبة المليء بالكترونات حقيقية (غير تقديرية) ، الا انه أدى بديراك الى توقع لا يقل جموحا . لنفترض أن أحد الالكترونات المفترضة

قد امتص قدرا من الطاقة (فوتون مثلا) يمكنه من الارتفاع الى الطاقة الموجبة . بحيث يصبح مرئيا ، انه سيخلف مكانه فجوة ، هذه الفجوة في الواقع تتمثل في جسيم له نفس كتلة الالكترون ، الا أنه ذو شحنة موجبة (تعبر عن اختفاء الالكترون ذى الشحنة السالبة) ، بمعنى أنه سيكون جسيما يمثل صورة معكوسة للالكترون ، ومن ثم فقد أعطاه اسم « بوزيترون » .

ولم يكن أحد الى ذلك الوقت قد لاحظ وجود البوزيترون ، وكان الجسيم الوحيد ذو الشحنة الموجبة هو البروتون ، ولذا فقد تساءل ديراك ان كان هو الصورة المعكوسة للالكترون ، رغم الاختلاف في الكتلة بينهما . ولكن الفيزيائى الأمريكى كارل اندرسون Carl Anderson عثر عليه في ١٩٣٢ بينما هو يدرس الأشعة الكونية . هذه «الأشعة» (٧) التى تمطر بها الأرض هى في الواقع جسيمات ذات طاقات عالية تتسبب من كل أنواع الجسيمات الثانوية دون الذرية عند اصطدامها بجو الأرض . أحد هذه الجسيمات كان له انحراف في الاتجاه المضاد لاتجاه الالكترون ، وان كانت له نفس كتلته . ولم يعد في ذلك من شك في أنه الكترون موجب الشحنة ، أو البوزيترون .

وأدت التصحيحات التالية لأعمال ديراك الى الغاء فكرة بحر الطاقة السالبة ، حيث اتضح أن قواعـــد ميكانيكا الكم تمنع الالكترونات من الهبوط الى طاقة سالبة . فالصورة التى استنبط منها ديراك وجود المادة المضـــادة كانت خاطئة . ولكن الحقيقة لم تكن في الصـــورة ، بل في المعادلات . والحل « المعكوس » للصورة الكمية لمعادلة آينشتين كان يسمح (بل في الواقع يتطلب) وجود الجسيمات ذات الشحنات المضادة . بل انه ليؤكد ان هذا صحيح لكافة الجسيمات ، فكل جسيم لابد وأن له جسيما مضادا ، أو نقيض الجسيم . وعلى ذلك فلابد من وجود البروتون المضاد ، ونيوترون مضاد ، وهكذا . هذه الجسيمات في مجموعها تسمى « المادة المضادة antimatter » . واكتشف بعد الحرب الثانية البروتون المضاد وغيره من جسيمات مضادة في الأشعة الكونية . كما تنتج حاليا

في كافة مختبرات الجسيمات في العـــالم ، بل وتخزن بأفنـاصها في مجالات مغناطيـــية .

وحصـــل كل من ديراك وأندرسون على جائزة نوبل (٨) ، وفي خطاب الجائزة عام ١٩٣٣ قدم ديراك اقتراحا جسورا آخر ، قائلا انه من قبيل الصدفة البحتة أن كانت الأرض مصنوعة من تفوق الصورة المألوفة لنا من المادة على نقيضتها ، وانه يمكن تخيل ان تجما آخر في مكان ما يكون مصنوعا من المادة المضادة ، فيكون لدينا نجوم مضادة ، وكواكب مضادة ، بل وأيضا ، بشر مضادون .

ورغم انه لم تلاحظ الجسيمات المضادة حتى الآن الا في صـــورة منفردة ، الا انه ليس من ناحية المبدأ ما يمنع من أن تتحد بصورة شبيهة للذرات المألوفة ، مكونة لذرات مضادة ، مما يتصور معه عالم كامل من المادة المضادة ، لن يختلف في فيزيائه عن العالم المألوف لنا . وليس من وسيلة مباشرة تمكننا من ان نعرف على البعد الى أية صورة ينتمي نجم من النجوم .

وفي المقابل ، فانه ما أن تتلاقى المادة مع نقيضتها ، حتى تكشف عن هويتها، فتولد زوج من الالكترون والبوزيترون نتيجة امتصاص الفوتونات على الوجه الذي توقعه ديراك يمكن أيضا ان ينعكس . اذ يتـــسبب تلاقيهما في فنائهما المشترك ، وتتحول طاقاتهما الى فوتونات ، تبلغ درجة طاقتها من الشدة لدرجة اتصافها لأشعة جاما . لهذا السبب فان وجود الجسيمات المضادة على سطح الأرض ، بما في ذلك ما يتولد عن الأشعة الكونية ، هو وجود مؤقت بطبيعته .

وحقيقة امكانية تولد المادة ونقيضتها من الطاقة (ليس بالضرورة من الأشعة الكهرومغناطيسية) يفتح الباب امام تفسير نشأة المادة التي صنع منها الكون . فكما رأينا ، لقد استثار الانفجار العظيم عمليات قادرة على انتاج كميات مهولة من الطاقة ، وان قدرا من هذه الطاقة قد استنفد في تكوين ازواج من الجسيمات ونقائضها . وعلى ذلك فليس من ضرورة ان نذهب الى أن المادة كانت موجودة منذ البداية كمجرد رجم بالغيب .

موجودها يمكن أن يعزى لعمليات تمت في المراحل المبكرة للكون . ولكنه بما أن المادة ونقيضتها تتكونان معا ، فان هذا يؤدي الى تصور عوالم مضادة نشأت معـا ، وان المادة ونقيضتها موجـــودتان بشكل متداخل في الكون .

ونظرية الكون عشوائيا بهذه الصورة مثيرة للخيال ، وقد أوحت عام ١٩٦٠ للفلكي الكوني السويدي حائز الفين Hannes Alven بكتابه « المادة ونقيض المادة » . ولكن هذا التماثل المغري تواجهه عقبة كئود ، فالحساء المفترض في الكون البدائي المكون من المادة ونقيضتها سوف تتوتر فيه عملية فناء جماعية نتيجة تلاقي كل جسيم بنقيضـــه بحيث لن يتبقى شيء يذكر .

وقد حاول بعض الفلكيين البحث عن آليـة مقبول يسمح بتجمع كل نوع من المادة مع بعضه بحيث تكون التجمعات منعزلة على أبعاد تحول دون فنائها المشترك . والأبعاد المتصورة هي الأبعاد المجرية ، حيث ان المجرات توحي بأنها تجمعات منعزلة يفصلها فضاء ساحق (٩) . لكن ميكانيزم مقنعا لم يتم التوصل اليه على الاطلاق .

وفي نفس الوقت تلوح ظلال كثيفة من الشك في وجود تجمعات من نقيض المادة في اي مكان من الكون . والشواهد على ذلك استخلصت من نتائج قياس اشعاع جاما بواسطة الأقمار الصناعية ، فاشعة جاما لا تخترق الغلاف الهوائي للأرض ، ولكن بواسطة أجهزة مركبة على الأقمار الصناعية يتم مسح هذا الاشعاع في أرجاء الكون ، وقد سجل الاشعاع بالفعل في مركز مجرتنا ، درب التبانة ، وفي أجزاء أخرى بالقدر الموحي بحدوث فناء نتيجة تلاقي الجسيمات المضادة ، ولكنه من الصغر بحيث ان نسبة المادة المضـــادة المتبقية في مجرتنا لا تقدر باكثر من واحـد في المليون .

وحتى هذا التقدير قد يكون مبالغا فيه ، حيث ان قدرا لا بأس به من اشعاع جاما يلوح بأنه نتيجة تلاقي الالكترونات بپوزيترونات مخالفة

حديثا،عن طريق الخلق المزدوج الناتج عن الطاقة العالية فى قلب المجرة. وليس هناك أى دليل على وجود مادة مضادة متخلفة عن نشأة الكون .

وقد طبق نفس المنطق على مجرات أخرى . فالمجرات فى عصرنا يحدث أن تتصادم ، ومن الطبيعى أن يكون تصادمها فى العصور السحيقة أكثر ، نتيجة تزاحمها فى الكون . ولو كان التصادم قد تم بمجرات ذات مادة متضادة ، لكان الكون اليوم مغمورا بقدر كبير جدا من اشعاع جاما ، وهو ما تكذبه المشاهدات . وأصبحنا مواجهين بلغز ، اذا كانت قوانين الفيزياء محايدة بين المادة ونقيضتها ، فكيف انتهى بمادة من نوع معين؟

اين اختفت المادة المضادة ؟

أحد الحلول الممكنة لحل هذا اللغز جاء من كشف لفيزيائيين أمريكيين عام ١٩٦٤ ، هما فال فيتش Val Fitch وجيمس كرونن James Cronin (١٠)،فقد كانا يبحثان فى تحلل جسيم يسمى ميزون ك K meson ، وهو جسيم غير مستقر سرعان ما ينحلل الى عدد من الجسيمات والجسيمات المضادة . وقد وجد العالمان أن التحلل لا يكون متماثلا بالنسبة لنوعى الجسيمات . ورغم أن الفرق ضئيل الا أن دلالته عميقة ، فهو أول شاهد على أن قوانين الفيزياء ليست محايدة بالنسبة لنوعى المادة .

ولهذا الكشف تداعيات مثيرة . فالى عام ١٩٦٤ لم يكن يبدو من المحتمل وجود طريقة لكائنات عاقلة من نوعين متضادين من المادة ، يمكن التعرف على هذه الحقيقة بالاتصال فيما بينها ، او معرفة أيهما ينتمى الى هذا النوع أو ذاك . ولكن الآن ، ومن خلال نتائج تحلل ميزون ك فى معاملهما يمكنهما معرفة ذلك . اليست معلومة مهمة اذا كانا يخططان للقاء بينهما ؟

والأهم من ذلك أن هذا التحيز لنوع من المادة قد يمكن من تعليل سبب عدم التساوى بين النوعين فى مرحلة الانفجار العظيم . ويتم ذلك على الوجه التالى : فى البدء كانت الطاقة ، ومنها خلقت ازواج الجسيمات-

وبسبب عدم التماثل الذى تم كشفه ، فانه مقابل كل بليون من جسيم يتصور بليون وواحد من الجسيم المضاد . ومع برودة الكون ، تتفانى البلايين من الجسيمات والجسيمات المضادة ، تاركة هذا الفرق الضئيل باقيا . هذه الجسيمات المتبقية كانت مغمورة فى اشعاع جاما . بليون فوتون منها مقابل كل جسيم من المادة . هذا الاشعاع يرد بفوره مع برودة الكون خلال تمدده ، متحولا الى اشعاع حرارى عادى.والواقع،فان الخلفية الاشعاعية الكونية هى الأثر المتبقى من اشعاع جاما الذى غمر الكون فى بدائيته .

ولو كان هذا التصور صحيحا ، فانه لن يفسر فقط كيفية تكون مادة الكون ، بل أيضا سيعلل درجة حرارة الخلفية الاشعاعية الكونية . فهذه الدرجة تتحد بنسبة الفوتونات للذرات ، والى الآن ، فان هذه النسبة هى من أهم واغرب القيم فى علم الكونيات على الاطلاق . فقد وجدت أن قيمتها العددية هى بليون لواحد ، بالضبط بالنسبة التى تشير اليها الحسابات من التحيز الضئيل بين المادة ونقيضتها .

ولو كانت النظرية سائرة فى طريق صحيح . فان وجود المادة دون نقيضتها فى الكون الحالى ليس هو التوقع الوحيد ذا المغزى الفلكى ، لان ما بنى يمكن أيضا أن يهدم . فنفس عدم التماثل الذى سمح للمادة أن تخلق من الطاقة خالية من نقيضتها ، يسمح أيضا باختفائها . فالنظرية تتوقع أن هذا ممكن لأن البروتون ، والذى كان لعهد قريب يعتبر جسيما غير قابل للتحلل ، سوف يتحلل الى البوزيترون بعد فترة من الوقت بالغة الطول (٣٠١٠ من السنوات) . ولو صح التوقع ، فان ذلك يعنى أن مادة الكون جميعها مصيرها للتبخر ، وان كان ذلك بعد وقت طويل . فحيث انه يوجد الكترون لكل بروتون ، فان هذه الالكترونات مآلها التصادم مع البوزيترونات الناتجة عن التحلل المشار اليه ، والفناء .

هذا التحلل فى حد ذاته عملية احصائية ، شأنها شأن كافة العمليات الكمية ، بمعنى انه وان كان متوسط عمر تحلل البروتون طويلا لهذه الدرجة ، فانه مع العدد الهول منها فان هناك احتمالا لتحلل واحد أو

اثنين كل عام . وقد أجريت تجارب للبحث عن أية بادرة من هذا التحلل في خزانات مائية بنيت على عمق من سطح الارض ، ولكنها لم تحقق نجاحا للآن .

ولو كانت التصورات السابقة صحيحة ، فان المادة المضادة تكون ذات وجود من الدرجة الثانية . مجرد حاصل ثانوى ناتج عن تصادم الجسيمات عالية الطاقة . وحيث انه لم تتاكد هذه التكهنات بوسائل مباشرة ، فان تبقى قدر من المادة المضادة عن بدء الكون يظل مفتوحا . والمكان المتاح للبحث عن ذلك هو الأشعة الكونية .

وقد تم قياس كمية كبيرة الجسيمات المضادة في الأجواء العليا من الغلاف الجوى عن طريق أجهزة مركبة في بالونات . هذه الجسيمات تعزى في أغلبها للتصادم بين البروتونات في الأغوار السحيقة من الفضاء بين النجمي . ولكن لغزا آخر محيرا يلوح لنا . فعدد البروتونات المضادة أكبر بكثير من أن يعلل بذلك عند مستويات الطاقة المنخفضة . واحد التفسيرات البديلة هو أنها نتجت عن الفناء الانفجارى لثقوب سوداء مجهرية تحت تاثير هوكنج الذى سنعرض له في الفصل التاسع . ولكن التعليل الأخر هو أنها اثر مما كان موجودا منها خلال بدء نشاة الكون . وليس لاحد أن يقطع بتعليل لأصلهما الى الآن .

اما الكشف الذى لو تحقق يكون دليلا على وجود مادة مضادة باقية من منشا الكون فهو نواة ذرة مضادة لمادة اثقل من الهيدروجين ، كان تكون نواة هليوم مضاد . والهليوم هو العنصر التالى للهيدروجين في الوفرة في الكون . ولذا فمن المعقول أن تكون نواته المضادة هى الأكثر احتمالا بعد نواة نقيض الهيدروجين (وهى مجرد بروتون مضاد) . وتتكون من بروتونين مضادين ونيوترونين مضادين . وليس لمثل هذه النواة أن تتكون عشوائيا من تصادمات جسيمات عالية الطاقة في الفضاء. فالهليوم المضاد يتم تخليقه في التفاعلات النووية داخل النجوم ، وقد كان تخليقه بوفرة في عصر الانفجار العظيم . فلو أن نواة واحدة من الهيليوم المضاد تم اكتشافها لاعطت احتمالا بوجود نجوم مضادة .

ولسوف يبدأ البحث عن الهيليوم المضاد في أواخر التسعينات ، بواسطة جهاز يسمى « أرمسترونج Armstrong » ، سوف يركب في احدى محطات الفضاء الأمريكية . وسيزود هذا الجهاز بمغناطيسات قوية مبردة الى قريب من الصفر المطلق . تسبب انحناء الجسيمات المشحونة عالية السرعة من المادة والمادة المضادة التى سيمكن التمييز بينها بواسطة كاشفات قوية . حيث سيكون انحناء المادة في اتجاه مضاد لاتجاه انحناء نقيضتها .

ولو أن النجوم النقيضة موجودة ، فسيستتبع ذلك وجود ما هو أقل من النجوم . كالنيازك والمذنبات والكويكبات ذرات من الغبار الكونى ، مصنوعة من المادة المضادة . ويكون التساؤل المثير هو ماذا يحدث لو أن شيئا من هذا القبيل دخل النظام الشمسى ؟

ليست الفكرة ممتعة بالمرة ، فحجم حبة من الفاصوليا من المادة المضادة كقبيل باحدث انفجار يقارب قنبلة نووية . وهو امر لن يمر بلا انتباه . ولكن من الغريب أن انفجارا من هذا القبيل قد حدث في ١٣ يونيو عام ١٩٠٨ في منطقة تنجسكا Tunguska بسيبيريا ، كان قد هزى لسقوط نيزك . ولكن بعثة عام ١٩٢٨ فشلت في وجود اى اثر لمثل ذلك النيزك رغم الدمار الهائل الذى عم المنطقة باشجارها وغاباتها . وتعددت التكهنات لتبرير الحادثة من اقتراح بسقوط نيزك ثلجي (محتمل تماما) ، الى مرور ثقب أسود (غير محتمل بالمرة . على الأقل لعدم وجود اثر لعبوره الأرض من الناحية المقابلة) . وقد اقترح ويلارد ليبى Willard Libby الحائز على جائزة نوبل لاختراع وسيلة الكربون المشع لتحديد الأعمار المادة المضادة كتعليل للحادثة . ولو كان قوله صحيحا لكان هذا مؤشرا بوجود المزيد منها . ولكن ليس لك ان تجزع ، فالدلائل ضد هذا الاقتراح كثيرة .

منشا الزمن والمكان

ان حقيقة مقدرة الفيزياء الحديثة للجسيمات على تقديم تفسير مقنع لأصل المادة هو انجاز رائع . ولكنه يفشل في تقديم تفسير لأصل الكون

الكل ، حيث ان الكون يحتوى على ما هو اكثر من المادة • فهناك أيضا المكان والزمن ، او الزمكان • ولقد رأينا أن الطاقة اللازمة لخلق المادة يمكن ارجاعها الى المجال التجاذبي للكون • ولكن لم نتوقف هناك ؟ بعض الناس يجادل بالقول بان هذا ليس مثلا للخلق من العدم ولكنه مجرد الرجوع بالتعليل الى الجاذبية • ويظل التساؤل عن المصدر قائما • ولكننا هنا سنواجه بمعضلة • فالجاذبية ليست مجالا موجودا فى الزمكان ، بل انها هى الزمكان • فالنسبية العامة تعامل الجاذبية معاملة هندسية صرفة ، اى على انها تشكل للزمكان • وهكذا اذا كانت الجاذبية قد خلقت المادة ، فيجب علينا القول بأن الزمكان هو الذى خلقها ، ويرحل التساؤل الى كيفية ظهور الزمكان •

ويلجأ كثير من الفيزيائيين الى العزوف عن التفكير فى هذا التساؤل، تاركين اياه لرجال الدين • ولكن آخرين يجادلون فى الأمر ، ذاهبين الى انه يجب علينا ان نتوقع ان تكون الجاذبية ، وبالتالى الزمكان ، أشياء خاضعة للظواهر الكمية كغيرها من الأشياء فى الطبيعة • وفى هذه الحالة ، اذا كان الظهور التلقائى للجسيمات أمرا لم يعد مستغربا ، فلماذا لا نتقبل نفس الشىء للزمكان ؟

ويتطلب وضع وصف مرض لهذه العملية نظرية رياضية تضم الجاذبية والكم معا ، وهو ما ليس متاحا حتى الآن • ولعل نظرية كهذه يمكن التوصل اليها فى اطار توحيد قوة الجاذبية مع غيرها من قوى الطبيعة • ولكنا نعرف بالفعل ما يمكننا من القاء الضوء على أهم خصائص نظرية من هذا القبيل ، ولبيان لماذا يمثل تحقيق هذا التوحيد النهائى مشكلة رياضية عويصة •

احدى المصاعب متعلقة بمدى العمليات الكمية التجاذبية • فلان الجاذبية هى اضعف القوى المعروفة فى الطبيعة الى الآن ، فهى لا تلعب دورها على المستوى الذرى أو حتى نواة الذرة ، وهو ما تظهر فيه بوضوح كامل الخصائص الكمية للقوى الأخرى ، بل على مستوى قد يصل الى 10^{-30} من هذا المستوى ، وعلى مسافة أقل من 10^{-30} من السنتيمتر ،

وهو مايعرف بمسافة بلانك Plank's distance ، نسبة الى ماكس بلانك واضع النظرية الكمية • والمقياس الزمنى المقابل لهذه المسافة ، وهو ما يعتبر الوحدة الكمية الأساسية للزمن ، هو الزمن اللازم للضوء ليعبرها ، وهو 10^{-43} من الثانية • والمسمى زمن بلانك Plank's time ويعتقد بعض الفيزيقيين أنه عند هذه المسافة يفقد الزمكان صفته كمتصل سلس ، ويتحول الى شىء رغوى • وعلى وجه الخصوص ، فان « فقاقيع » من الزمكان ، التقديرى ، يمكن أن تظهر وتختفى على نفس نمط ما نفعله الجسيمات التقديرية •

فعلى مستوى بلانك ، يمكن للزمكان نفسه ان يتحول الى التلقائية والخروج عن روابط السببية ، من خلال التذبذبات الكمية • ولا يزيد نطاق كل زمكان عن مسافة بلانك ، ولا يدوم الا لزمن بلانك • وبقول أكثر دقة ، فان مفهوم الزمن فى سريانه يتلاشى عند هذه المسافة الزمنية ، فالزمكان لا يكاد يظهر حتى يختفى • وقد كان الشغل الشاغل للفلكيين هو امكانية ان (زمكان) على شكل الفقاعات التى تنشأ فى الفراغ من لاشىء أو كونا ، تقديريا ، بحجم متناه فى الصغر ، يمكنه تفادى الفناء اللحظى المحتوم ، ليتحول الى الكون المستقر الذى نعايشه • ويوجد آلية مقبول لذلك فيما يسمى السيناريو التضخمى infalatory scenario للكون •

ولكى تنجح مثل هذه الحيلة ، فان الكون الوليد يجب ان يرفع من حجمه من العدم تقريبا الى مقياس ملموس • وعليه أن يفدح زناد هذه العملية بأسرع وقت ، خلال جزء الثانية التى يسمح فيها للتذبذبات الكمية ان تكون موجودة • وعليه لتحقيق ذلك الهدف غير العادى تفادى حاجز الجاذبية التى تحاول سحقه مرة أخرى الى العدم • ان المطلوب هو قوة طاردة ذات حجم خرافى • يمكن بها الخروج من قبضة الجاذبية لياخذ الكون طريقه نحو التمدد •

في قبضة الجاذبية المضادة

نعود الآن الى مفهوم الفيزيقيين للفراغ على انه ليس مرادفا للخواء التام . فقد اتضح ان الفراغ الكمي يمكن ان يستثار الى مستويات اعلى من الطاقة . والفراغ المستثار سيبدو كالفراغ الحقيقي (بمعنى انه ظاهريا مفرغ من الجسيمات الدائمة) بينما هو متأجج بتفجرات من الطاقة التي لا تدوم الا للحظات جد ضئيلة . مطلقا طاقته في شكل جسيمات حقيقية . وخلال وجوده . فالفراغ المستثار ستكون له خاصية جد غريبة . ضغط سالب هائل . وفكرة الضغط السالب يمكن تمثيلها بمط زنبرك (في مقابل ضغطه) . فهو يجذب للداخل . بدلا من أن يدفع للخارج . وقد يكون من المتصور أن كونا محتويا على ضغط كهذا يتحطم تحت تأثيره . ولكن هذا القول ليس دقيقا . ذلك أن فرق الضغط هو المؤثر . فالأسماك التي تعيش في أعماق البحار تعيش في وسط من ضغط هائل . ولكنها لا تسحق لأن هذا الضغط متساو من كل الاتجاهات .

وعلى الرغم من عدم توافر أية قوة ناجمة عن الضغط السالب . فله تأثير تجاذبي ملحوظ . فطبقا للنسبية العامة . فالضغط مصدر للجاذبية . بالاضافة للجاذبية الناشئة عن المادة او الطاقة . وفي الأحوال العادية فان مساهمة الضغط في المجال التجاذبي كم مهمل . فالضغط داخل الشمس مثلا يساهم بجزء من مليون جزء في قوتها التجاذبية . أما في الفراغ الكمي المستثار . فالجاذبية الناشئة عن هذا الضغط لها السيادة على تلك الناتجة عن الطاقة والمادة . وحيث أن هذا الضغط سالب . فان تأثيره يكون سالبا أيضا . أو في الواقع جاذبية مضادة . وعلى ذلك . فانه لو حدث احتمال ظهور كون واحد من بلايين البلايين من الأكوان التقديرية في حالة مستثارة . فان الجاذبية المضادة ستتسبب في القوة الطاردة المطلوبة بالضبط لتدفع بالفضاء للتمدد في شكل اسطواني عنيف .

ولكي نأخذ فكرة عن مدى عنف ذلك الدفع للخارج . تصور ان الكون يتضاعف كل 10^{-35} في هذه المرحلة التضخمية العنيفة . ويستمر هذا التضاعف طالما كان الكون في قبضة ذلك الدفع الخارجي الهائل . هذا التضاعف يسمى الزيادة الأسية exponential . وهي تؤدي الى معدل نمو كبير جدا (١١) . والعالم المرئي الذي نعايشه هو نتيجة لهذا المعدل الأسي للتزايد .

ولم تستمر هذه المرحلة التضخمية سوى فترة وجيزة . فحالة الفراغ المستثار بطبيعتها غير مستقرة . وسرعان ما تتلاشى . ونتيجة لذلك فقد أطلقت الطاقة الهائلة المختزنة في الفراغ المستثار على صورة حرارة وجسيمات للمادة . وما أن يتلاشى الفراغ المستثار . حتى تختفي معه قوة الدفع للخارج الكونية . ولكن كمية الحركة لهذا التمدد تجعله يستمر باقيا . مسببا العنف الانفجاري الذي نربطه بالانفجار العظيم . وباختفاء الضغط السالب تستعيد الجاذبية دورها المعتاد . لاعبة دور فرملة للتمدد . مسببة نقص معدله الى المعدل الذي نشاهده اليوم .

ولا تقتصر أهمية التمدد التضخمي المفاجيء على مجرد الزيادة الرهيبة في الزمكان في فترة متناهية الصغر . بل انه أيضا سيمحو ما قد يكون عليه توزيع الطاقة من عدم تساو . بحيث توزع توزيعا عادلا خلال هذا التمدد التضخمي العنيف . وعلى ذلك . فلنا ان نتوقع ان يخرج الكون من المرحلة التضخمية بتوزيع متساو بقدر كبير في المادة وفي الحركة . فما الذي توحيه لنا المشاهدات ؟

كما قدمنا في الفصل الرابع . فقد ظنت الخلفية الكونية الاشعاعية عند نشأة الكون كما هي لم تتغير تقريبا . وهي على ذلك شاهد يحتوي على بصمات لشكل الكون البدائي . والاشعاع متساو بشكل يثير الدهشة. فلا تنقص شدته الا في حدود جزء من مائة ألف جزء . ومن الواضح أن الكون الذي تمخض عنه الانفجار العظيم كان منتظما بقدر كبير . وهو في الواقع قد ظل منتظما على مستوى كبير للآن .

وفى ظل نموذج للانفجار العظيم لا يحتوى على مرحلة التضخم ، يكون هذا الانتظام أمرا مستغربا . فمن تراه كان المسئول عن ضبط الانفجار بتلك الطريقة التى تجعل كافة أجزاء الكون تتمدد بنفس المعدل فى كافة الأرجاء ؟ وتزداد المعضلة عمقا حين تأخذ الأفق فى الاعتبار . فكما قدمنا فى الفصل السابق ، فاننا لا نستطيع رؤية أجزاء من الكون وراء حوالى ١٠ بلايين سنة ضوئية، حيث ان الضوء لم يصلنا منها بعد . وفى الماضى ، كانت المناطق المختلفة فى هذا الأفق أصغر نسبيا ، فبعد ثانية واحدة مثلا كان قطره ثانية ضوئية (٣٠٠ الف كيلو متر) فقط .

ويدفع الأمور مزيدا للغموض ، فانه عند فترة تقدر بزمن بلانك كان الأفق قطره مسافة بلانك . والآن ، فطبقا للصورة التقليدية للانفجار العظيم ، والتى يتمدد فيها الكون بمعدل متناقص ، فان حجم الكون الذى نراه الآن كان حجمه حوالى المليمتر بعد فترة زمن بلانك، أى ١٠ $^{-٣٤}$ مرة قدر الأفق . ولما كان من المستحيل لأى تأثير أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، فان هذا الكون كان ، وطبقا لتلك النظرية ، مقسما الى مناطق منعزلة عن حيث الرؤية بسبب الأفق ، كل منها بحجم مسافة بلانك ، أى الى ٣٢١٠ منطقة غير مرئية لبعضها البعض تماما . فكيف أمكن لهذه المناطق أن تتناغم فى حركتها فى غيبة أى اتصال أو سببية تربطها ؟

ويحل التضخم هذه المعضلة ، بسبب التمدد الفجائى العنيف الذى وقع بين ١٠ $^{-٣٥}$ و١٠ $^{-٣٢}$ من الثانية . ففى التصور التضخمى كان الكون المرئى حاليا يبلغ من الحجم ١٠ $^{-٢٦}$ سنتيمترا بعد فترة زمن بلانك ، وهى مسافة فى نطاق سرعة الضوء عند ذلك الوقت . وعلى ذلك فانتظام الكون ليس مستغربا بالمرة فى التصور التضخمى .

وليس حل معضلة الأفق هو المكسب الوحيد من النموذج التضخمى، فهو يحل أيضا لغزا محيرا طال أمده ، متعلقا بمعدل تمدد الكون. فالتمدد الحالى هو أثر من التمدد الذى كان ، وفى النموذج التقليدى كان الكون

يتناقص معدل تمدده منذ الـ د . فلو كان الانفجار أقل قليلا لتهاوى الكون على نفسه مرة أخرى بتأثير الجاذبية . ولو كان أعنف قليلا لتشتت المادة بما لا يسمح بتكون المجرات . والواقع أنه كان يظن أن الانفجار من الدقة فى شدته لدرجة التوازن الدقيق للجاذبية بين هذين البديلين . وتقدم النسبية رابطة بين معدل التمدد والانحناء المتوسط للكون ، وفى حالة التوازن الدقيق المشار اليه يكون الانحناء صفرا ، ويكون مغلفا الى حدى بعيد .

ومن المثير حساب درجة الدقة التى كان من الواجب تحقيقها . فبالرجوع الى زمن بلانك (وهو أقل زمن يكون الحديث عنه ذا معنى) ، فان التوازن يكون فى حدود جزء من ١٠ ^{٦٠} . هذه الدقة الخرافية بلبلت الكونيين طويلا .

وهنا تتدخل الصورة التضخمية للانقاذ مرة أخرى . فمهما كانت شدة الانفجار ، فتأثيره سيمتص تماما مع الانفجار التضخمى . وعند نهاية المرحلة التضخمية سيكون الكون قد نسى تماما ما كان عليه قبل تلك المرحلة ، ولن تحمل الفترات التالية الا بصمات المرحلة التضخمية . وقد حدث أن الزيادة الأسية فى التضخم قد توله عنها توازن فى تمدد الكون بالنسبة للجاذبية ، بدرجة أكبر من أن تستطيع قياسات البشر ملاحظتها . ولتقريب الصورة لسبب ذلك تتصور نملة عالقة على سطح ثمرة عنب ، فهى قد تستطيع بسهولة ادراك أن الثمرة منحنية . ولكن اذا كانت الثمرة قد انتفخت بما يعادل تضاعفا لـ ٦٤ مرة ، فلن يمكن للنملة أبدا الاحساس بمدى ما أصبح عليه الانحناء .

وبالمثل ، يمكن للتضخم أن يحل جزئيا مشكلة مبدأ ماخ ، وتعليل لماذا لا يكون الكون دوارا . فأى دوران فى البداية سوف يبطأ مع التمدد الكبير ، بالضبط كما تهبط سرعة الزلاق المتزحلقين على الجليد مع مد أذرعهم .

هذه السلسلة من النجاحات تجعل نموذج التضخم محببا للكثير من الكونيين . ولكن النموذج مع ذلك ليس بلا مشاكل . أهمها على الاطلاق هي مشكلة انتهائه . كيف عاد الكون سيرته الأولى ؟ فلكي ينتج التضخم آثاره يجب أن يستمر الى أن يتضخم الكون ٢٠١٠ على الأقل . وخلال هذه الفترة تهبط الحرارة تقريبا بنفس المعدل ، فتصل الى ما يقترب من الصفر المطلق . ومعنى ذلك أن الكون يبرد لحظيا تقريبا من درجة حرارة ٢٧٦ كلفن الى حوالى الصفر . بعد ذلك يفتح الباب أمام رجوع الكون الى حالته المستقرة غير المستنارة . هذا التغيير ، الذى يشبه بحالة تغير الماء الى بخار سائل ثم الى ثلج ، يحدث فى نهاية الفترة التضخمية بعد أن تفقد قوتها الدافعة . وحتى لا يحدث ذلك بسرعة أكثر من اللازم ، فان النظرية فى صورتها الأصلية ، كما وضعها الان جوث **Alan Guth** من معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا **Massachusetts Institute of Technology** اقترحت نوعا من التبريد الفائق تعرضت له مادة الكون

والتبريد الفائق ظاهرة قد تحدث للماء حين يبرد ببطء شديد ، حيث يمكن أن يظل فى حالة السيولة تحت الصفر المئوى بقدر قليل ، الى أن يحدث اى اضطراب يؤدى به الى التجمد . وبالمثل يمكن أن تكون الحالة المستنارة قد ظلت مستمرة مع هبوط الحرارة الى لا شئ تقريبا بسبب التضخم ، وبالتالى تمكن القوة الطاردة من الاستمرار فى نشاطها الى القدر اللازم من الانتفاخ ، ثم يحدث « التجمد الكلى » .

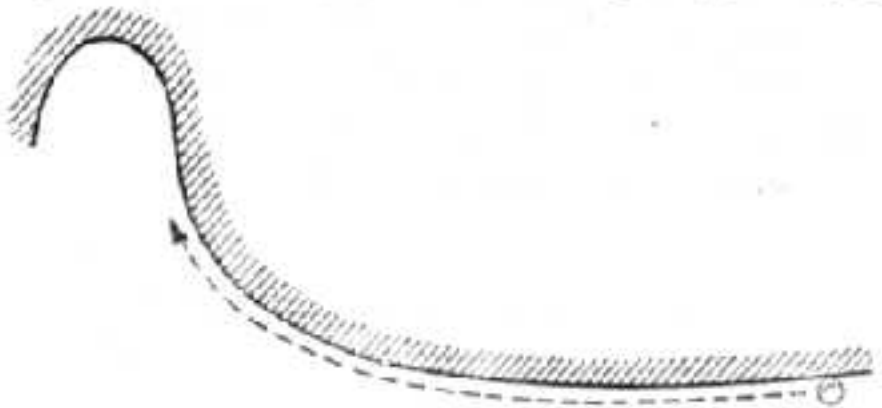
ولن تحدث هذه المرحلة البينية متماثلة فى كافة أجزاء الكون ، فبعبارة قضفاضة يمكن القول بأنه تحدث نفاعات عشوائية من هذه الحالة ، وتنمو بسرعة الضوء ، ثم تتجمع معا الى أن تملأ الفضاء . داخل الفقاعة يتوقف التضخم فجأة ، معطيا طاقته لجدران الفقاعة . وحين تتصادم هذه الجدران عالية الطاقة ، تبث طاقتها على صورة حرارة ، معيدة الطاقة الحرارية الهائلة التى سبق أن اختفت من الكون أثناء التضخم . وعلى ذلك يعود الكون بصورة انفجارية عنيفة مرة أخرى الى حالة السخونة ، ولكن بلا قوة طاردة هذه المرة . وبعد هذا التسخين المعاد يمكن للكون أن

يعود للتمدد بالصورة التقليدية المتناقصة المعدل التى بدأها مع الانفجار العظيم ، متماثلا ، وقد تحرر من مشاكل الأفق ومعدل التمدد .

ورغم أن الخطوط العريضة لهذه الفكرة تبدو جذابة ، فان المشاكل مختفية فى تفاصيلها ، خاصة فيما يتعلق بالتصادم بين جدران الفقاعات . هذه الحوادث ستقع عشوائية وبلا ضابط ، ويبدو للوهلة الأولى أنها ستنتج نفس عدم التماثل الذى قامت النظرية للتخلص منه . ولم يحدث الفاق للآن على حل هذه المشكلة التى أصبحت تعرف باسم « الخروج السلس **graceful exit** » ، ولكن عددا من الاقتراحات قدمت بهذا الشأن .

أحد هذه الاقتراحات هو أن الفقاعات تتضخم بدرجة كبيرة قبل التصادم ، بحيث اننا نعيش فى منطقة من الكون وراء الأفق من مثل هذه الجدران ، وخارج نطاق أية اضطرابات تحدث بسبب هذه التصادمات . واقتراح آخر يذهب الى أنه بدلا من اللجوء لفكرة التبريد الفائق ، فان المرحلة البينية نفسها تأخذ شكل عملية بطيئة .

ولتقريب الصورة ، تخيل كرة مستقرة فى توازن حرج على قمة تل مرتفع لتحدر (الشكل ٢٧) ، عند أى اضطراب تبدأ الكرة فى التدحرج



الشكل (٢٧) : تمثل الحالة المستنارة غير المستقرة الفراغ الكمى للكون فى بدايته كرة موضوعة على قمة منحدر بصورة غير مأمونة ، واذا كان الانحدار ضحلا ، فان زمن الهبوط يكون طويلا ، مما يعطى التضخم فرصة للحدوث قبل أن تفقد الطاقة على هيئة حرارة .

حابطة لقاع الوادى . حيث تصل لحالة الاستقرار . وتقابل قاع الوادى حالة الفراغ المستقر ، بينما تمثل قمة التل الحالة المستثارة . لو تصورنا ان الانحدار ليس حادا عند القمة ، فان الكرة ستبدأ التدحرج ببطء ، وبقابل ذلك قولنا ان التغير فى طبيعة الفراغ كان طفيفا فى البداية ، رغم ان التضخم قد بدأ . ويحوم شك كبير فى أن العمليات الكمية التى تحكمت فى المرحلة البينية قد تصرفت بالفعل على هذه الصورة .

والتصور التضخمى للكون ما زال فى مرحلة الطفولة ، وما تزال التعديلات جارية عليه . والكثير من التفاصيل معقدة وتعتمد على حساسية النماذج التى تضعها النظريات . ومن السابق لأوانه الاعلان عن نجاح النظرية ، الا أنها تحتوى على خصائص تجعل غوامض لم تكن لتحل بغيرها ، مما يجعل الاجراء قويا بتصور ان حالة من التضخم قد عاصرت الكون فى نشأته .

واذا قدر للنظرية التضخمية أن تحقق النجاح ، فانها سوف تقدم لنا ميكانيزم مقنعا لتحول الكون التقديرى الكمى الى الكون المتمدد المألوف، مما يتيح لنا التأمل فى الرأى الدينى فى الخلق من العدم ex nihilo . فقاعة حقيقة من الزمكان تظفر بحياة وبشكل شبحى ليتحقق لها الوجود الدائم نتيجة للاضطرابات الكمية ، بينما يقوم التضخم بالسيطرة عليها ومى تتمدد الى حجم مرئى . بعد ذلك يحدث التجمد الذى يبدأ به انخفاض معدل التمدد وسط انفجار حرارى ، ومن الحرارة الكونية والجاذبية تخلق المادة ، ويبرد الكل تدريجيا وينخفض معدل التمدد الى الظروف التى نشاهدها حاليا .

يبدو اننا كسبنا شيئا من اللاشىء ، فى تعارض مع المبدأ الذى نادى به الفيلسوف لوكريتوس بأنه « لا شىء يمكن أن يأتى من اللاشىء » . وكما قال الان جوث ذات يوم : « يقال عادة انه لا يوجد شىء يسمى وجبة بلا مقابل،ولكن يبدو أن الكون هو أكبر وجبة بلا مقابل يمكن تصورها » . أحقا هو كذلك ؟ ان كل الأشياء الجميلة مآلها للفناء ، والكون ليس استثناء من ذلك ، فقد تحدد مصيره النهائى مع الثانية الأولى من نشأته .

هوامش الفصل الخامس

(١) مترجم – بتصرف – بواسطة ممدوح الوصيلى لمستشار الفيزياء بجامعة عين شمس . الناشر « الفد للنشر والدعاية والاعلان » ٥٦ شارع ٢٦ يوليو القاهرة – (المترجم) .

(٢) رغم انه ليس القصد لاعطاء تاريخ تفصيلى لتطور الفيزياء الكمية ، فانها مود أن نركز على كافة هذه الافكار ، مثل التداخل غير المتعدد مع المنطق التجريبى فى النظرية النسبية ، قد تأكدت من خلال التجارب كو يلة صحيحة فى وصف الطريقة التى يعمل بها الكون ، بل ان فشل فيزياء نيوتن فى تفسير نتائج بعض التجارب هى التى أدت لظهور الحاجة لنظريات جديدة . فالنظرية الكمية تعنى بالعمل وصفا دقيقا لكيفية نشاط الاشياء على المستوى دون الذرى .

(٣) طبقا لمعادلة بلانك الكمية ، فان كم الطاقة يزداد كلما زاد تردد الموجة – اى قل طولها الموجى – (المترجم) .

(٤) تسمى احيانا جيزون جاى – (المترجم) .

(٥) تسمى هذه الظاهرة « الشعاع فاوكنج » – (المترجم) .

(٦) من المبادىء المسلم بها أن النظم الفيزيائية تميل الى التحول الى مستويات الطاقة الادنى .

(٧) اطلاق اسم « الاشعة على الاشعة الكونية » هو من قبيل التجاوز . فهى ليست اشعة على الاطلاق ، ولكنها جسيمات كما ورد فى المتن ، وهو السبب فى ان الكلمة وردت فى المتن بين علامتى تنصيص اشارة لعدم دقتها – (المترجم) .

(٨) حصل عليها ديراك عام ١٩٢٣ (مع شرودنجر) ، وانديرسون عام ١٩٣٦ – (المترجم) .

(٩) يشك الفلكيون فى ان توجد « مادة سوداء » تملأ الفضاء بين المجرة .

(١٠) حصلا معا على جائزة نوبل عام ١٩٨٠ – (المترجم) .

(١١) يصور اثر التضاعف ، او الزيادة الأسية ، فى القصة الشهيرة لوضع حبة أرز فى أول مربع فى رقعة الشطرنج ، ثم مضاعفتها كل مرة مع المربعات التالية ، فيكون المطلوب فى المربع الأخير ٢ ٦٤ حبة ، اى حوالى ثمانية عشر بليون حبة ، أ وهو انتاج العالم من القمح لعدة قرون – (المترجم) . وبالمثل فانه بعد ٦٤ من الفترات الزمنية متناهية الصغر المذكورة فى المتن ، فان كونا فى الحجم الذى يصل الى حجم نواة الذرة ثم فى الفترة التالية مباشرة (الخامسة والستين) يصل الى كيلو متر كامل .

الفصل السادس

... والأخيرة

ربما كانت أهم خصيصة تتميز بها الساعة الكونية المهولة ، هي أنها ما أن تبدأ في العمل حتى تستمر في عملها للأبد دون تدخل خارجي . فمستقبلها لا يتحدد الا بماضيها . وفي الفصول السابقة عرضنا لتصور جديد للكون ، فيه المستقبل مفتوح لشتى الاحتمالات ، حيث للعفوية والجدة دور غير منكور . ولكن هناك وجهة نظر معينة يلتقي فيها كلا التصورين ، وهو المتعلق بالمصير النهائي للكون بأكمله . ذلك أنه على الرغم من كون جزء معين منه غير محدد المستقبل قطعيا ، فانه حين نأتي للكل فان قوانين النسبية والكم ليست أقل من قوانين نيوتن حتمية . فان الرؤية المتفحصة لتلك القوانين تبين أن فناء الكون متوقف على طبيعة نشأته .

وكما بينا في الفصل السابق ، فالكون الآن في قبضة جاذبيته الذاتية ، ولا يحول بينه وبين الانهيار على نفسه الا القوة التي أدت به للتمدد ، والتي اكتسبها من الدفعة التضخمية بعد فترة وجيزة من ميلاده . الا أن التمدد يتباطأ بالتدريج ، ويثور التساؤل عما اذا كان في طريقه للتوقف ، ثم التحول الى الانكماش . ومن المستحيل بالملاحظة المباشرة أن نؤكد أن هذا هو ما سيحدث (٦) . ولكن بعض الآراء ترى ذلك ... أمر ليس لابد منه . فعلى سبيل المثال ، من المحتمل أنه في فضاء

مغلق فقط يمكن لمبدأ ماخ أن يتحقق . والأكثر من ذلك ، فقد اقترح هوكنج نموذجا مقنعا للأصل الكمي للكون يكون فيه الكون منغلقا .

وقد يكون التضخم قد أدى لانتفاخ الفقاعة الى حجم كبير ، لكنه لا يمكن على الاطلاق أن يحول «زمكان» منغلقا الى آخر مفتوح . ففي هذه الحالة ستكسب الجاذبية معركتها في النهاية لا محالة . وبذلك سيتوقف التمدد ، ثم يبدأ الكون في الانكماش الى حجم متناه في الصغر ، الى أن يفنى في مفردة . وقد يستغرق ذلك وقتا طويلا للغاية ، تريليونات بعد تريليونات من الأعوام ، ولكن صورة الثانية الأخيرة ستكون صورة منعكسة من الثانية الأولى ، تتحول فيها المادة الى طاقة ، وتشوه الطاقة نسيج الزمكان الى أن تحيله الى تقوس مهول حول نفسه يتزايد الى أن يؤدي لاختفائه كلية من الوجود . على أية حال ، فتواجد الكون كان على حساب قرض من الفراغ ، وكل ما فعله التضخم هو تأخير ما لا مندوحة عنه . ففي فيزياء الكم يمكن لشيء أن يظهر من العدم لفترة ، ولكن القرض سيسدد في النهاية .

نهاية الزمن ؟

ويشار لنهاية الكون على الصورة المبينة بـ « الانسحاق العظيم big crash » ، أو أحيانا بـ « نقطة اوميجا omega point »وهو ما يشبه اعادة الانفجار العظيم بالعكس . فبدلا من ظهور الكون فجأة من العدم ، فانه يندفع غائرا في العدم ، غير مخلف شيئا وراءه . والعدم هنا يعني حرفيا ـ العدم ، فلا مكان ، ولا زمن ، ولا مادة . فالانسحاق العظيم هو النهاية الكاملة للكون الفيزيائي ، فنقطة اوميجا هي نهاية الزمن . ولا يوجد توقع علمي أخطر من ذلك التحذير من الكارثة النهائية ، والذي يحمل معه تنبؤا لا يقل عنه خطورة ، وهو أن كل المادة التي نشاهدها اليوم ، كافة المجرات مجتمعة ، لا تمثل سوى شيء يقارب واحدا في المائة من محتوى الكون من المادة .

وهذا التوقع مرتبط بما تتطلبه نظرية الجاذبية على الوجه المبين

في الفصل الرابع ، من أن يكون الكون مغلقا ، وما تبينه المشاهدات من أن الفضاء مستو بقدر كبير . ويمكن من الحسابات المباشرة معرفة القدر من المادة في كل متر مكعب من الفضاء المطلوب لاحداث الجاذبية التي نشاهدها اليوم ، والتي تبين المشاهدات أن ما يرى من مادة قد لا يمثل سوى جزء من عشرة أو حتى من مائة من ذلك القدر .

واذا كان المنظرون يرجعون حاجتهم لافتراض وجود المادة السوداء الى أهميتها في تفسير شكل الكون ، فان نفس الحاجة تلوح لدى الكونيين لتبرير حركة المجرات ، والتي تبين الدراسات أنها في قبضة جاذبية أقوى مما تنتجه المادة المرئية . ولا يعلم أحد كنه مثل هذه المادة ، وان كان أفضل افتراض بخصوصها أنها شيء متبق من الانفجار العظيم .

وتشير أعمال المنظرين الى أن الانفجار العظيم قد أفرز ، بالاضافة الى الجسيمات المكونة للمادة من الكترونات وبروتونات ونيوترونات ، أنواعا أخرى غريبة . من ذلك جسيم « النيوترينو neutrino » ، وهو الجسيم الخفيف الذي يمكنه أن يخترق جدارا من الرصاص بسمك سنة ضوئية ، والذي يفوق البروتون عددا بنسبة بليون الى واحد . انها بقية باقية من المليار ثانية الأولى . كما يوجد أيضا ما يسمى الأكسيون axion والفوتينو photino ، والجرافيتينو gravitino ، والتي ترجع لعصر أسبق . هذه الجسيمات ضعيفة التفاعل مع المادة لدرجة أن شيئا منها لم يشاهد للآن ، ولكن الأبحاث مخططة لاقتناص بعض منها في القريب . على أن الجاذبية المجمعة لهذه الجسيمات يمكن أن تكون المسيطرة على الكون ، والمحددة لمصيره النهائي . فالعمليات هائلة الطاقة التي تمت في الكسر من الثانية الأولى ، يمكن أن تكون قد أنتجت من جسيمات غريبة غير مرئية بالقدر الذي يمكن أن يبين المكان الحال لكتلة الطاقة المطلوبة لتحديد المصير النهائي للكون .

وتأتي الشواهد على أن تأثيرا غير مرئي يمارس نشاطه في الكون من دراسة طريقة توزيع المجرات في الفضاء . ومع التأكيد على التوزيع المتساوي بقدر مدهش للكون على مدى اتساعه ، فاننا نشير بذلك الى

متوسط التوزيع على مساحات شاسعة ، معترفين بعدم تحقق ذلك على المستوى المحلي . وعلى الرغم من أن التساوي على المدى الواسع هو مفتاح فهم الظروف الأولية ، فان عدم التساوي على المستوى المحلي له نفس القدر من الأهمية ، لبيان كيفية بدء الحيود عن ذلك التساوي في العصور السحيقة ، وربما أيضا المصير النهائي للكون . وتشير الدراسات الى أن مثل هذا الخروج عن التساوي يعطي رؤية لكل من بدء ونهاية الزمكان ، أي الثانيتين الأولى والأخيرة .

ربط أشلاء الكون

من النظرة العابرة للسماء في الليل يتضح أن النجوم ليست موزعة بالتساوي في الفضاء ، ولكنها متكوكبة في مجموعات . وأوضح شاهد على ذلك درب التبانة . وكما ذكر في الفصل الرابع ، فان ما يقرب من مائة بليون من النجوم ، بما فيها الشمس ، تكون درب التبانة ، والتي تأخذ شكل المجلة ، ويغطي الجزء المرئي منها مسافة ١٠٠ ألف سنة ضوئية عبر السماء . ولنتذكر أن هذه المجرة ذاتها هي عضو في مجموعة تكون كوكبة cluster مجرية ، وان الكوكبة بدورها عضو في كوكبة فائقة superchuster ، تضم عدة آلاف من المجرات . وتظهر لنا المراقيب القوية ان هذا التشكيل الهرمي سائد على مدى اتساع الكون .

وأصل هذا التشكيل الكوني هو من ألغز المواضيع في العلم الحديث . لماذا لم تتوزع المادة بالتساوي عبر الكون ؟ ما الذي دفع بالمادة الى التجمع في مناطق معينة من الفضاء ؟

ومن المغري أن نعيد أصل هذا التكوين الى الظروف الأولية ، لندعي ان الكون ببساطة قد خلق هكذا . وان هذا التكوكب قد فرض عليه منذ الميلاد . ولكن هذا الرأي قد عارضته دراسة الخلفية الاشعاعية الكونية ، وهو الاشعاع الحراري المتخلف عن الانفجار العظيم . فدراسات الاختلافات الدقيقة في حرارة الاشعاع الآتي من المناطق المختلفة في السماء كانت تشين عدم الانتظام الذي ساد في الغازات الساخنة التي ملأت الكون في

فترة صغيرة تعود الى مليون عام بعد الانفجار العظيم . في تلك الحقبة ، والتي تبعد عنا بعشر بلايين من الأعوام ، تسبق عصر تكون المجرات ، وتبين نتائج ذلك المسح أن الكون كان منتظما بصورة مدهشة ، دون اية اشارة الى هيكلة واسعة المدى . كما أن النجاح الذى حققته النظرية التضخمية في تبرير ذلك يزيد من غموض لغز وجود عدم انتظام على مستوى مجرات وكوكبات مجرية تمت بالكون بعد المليون الأولى من الأعوام .

وعلى الرغم من الانتظام في توزيع مادة الكون في الحقبة الأولى ، فان قوة الجاذبية كان من شأنها احداث تشوهات تنمو باستمرار بمجرد انتهاء التضخم . وما أن يبدأ تجمع من المادة في منطقة ما حتى تعزز الجاذبية من المزيد من التجمع ، مع ازدياد في معدل العملية . وبهذه الطريقة يكبر اية زيادة في الكثافة،ولكن زيادة معدل تجمع المادة يعارضه تمدد الكون ، وبالتالى فان معدل التجمع للمادة يكون أبطأ من ان يبرر تكون المجرات من مجرد سوء توزيع عشوائي لكثافة المادة لكون بدأ منتظما بصورة تامة .

لابد اذن من عامل تسبب في بدء العملية . بايجاد « بذرة » مجرية تتجمع حولها المادة بصورة فعالة . وقد اتجه الفلكيون لفترة طويلة الى القول بأن الكون « هكذا كان » ، ولكن ذلك بالطبع لا يمثل تعليلا . فهو لا يزيد عن القول بأن الأمور على ما هي الآن لأنها هكذا كانت . وفي الآونة الأخيرة ظهر احتمال لايجاد تبرير لعدم التساوى في كثافة المادة ، مبنى على عمليات تمت في كسر الثانية . تذكر أن التضخم دام فقط للمدة التي استمرت فيها حالة الفراغ المستثار ، وانتهت بمجرد استعادة الفراغ لحالته المستقرة . ولكن عملية التلاشى ، شأنها في ذلك شأن كافة العمليات الكمية ، معرضة للتغيرات ، بما يوافق مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج . وعلى ذلك فالتضخم لم يتوقف في كافة المناطق في نفس اللحظة ، وأهم نتيجة لذلك هو عدم التساوى في الكثافة في الكون عما كان أثناء فترة ما قبل التضخم . وعلى ذلك فالتضخم كان له أثره المزدوج في محو التغيرات

السابقة عليه وخلق تغيرات خاصة به . والأكثر من ذلك ، فهذه التغيرات قد اتضح أن لها نفس التوزيع الذى يتطابق مع الشكل العام الذى نراه اليوم . ولو كانت هذه النظرية تمثل وصفا حقيقيا للكون ، فانها تعلل ان التغيرات الكمية المجهرية ، والتى تولدت مع عدم يقين كمى ، يمكن أن نرى عبر السماء ، أى أن المجرات ما هى الا بقايا تغيرات «متجمدة» لعصر لا يتجاوز ١٠ $^{-٣٢}$ من الثانية .

وعلى الرغم مما لنظرية التغيرات الكمية من وجاهة ، الا أنها ليست بلا مشاكل . فقد بينت حسابات عديدة مثلا أن التغيرات في الكثافة ستكون من الكبر بدرجة لا تتوافق مع ما يشاهد من عدم انتظام الكون اليوم . كما أن هناك مصاعب فنية تجعل الفكرة أقل جاذبية . على أنه توجد نظرية منافسة تحاول أيضا أن تفسر دفع المجرات للتكون ، وهى أيضا تلجأ للمرحلة التى فيها تتلاشى المرحلة المستثارة من الفراغ . هذه النظرية تشابه بين تلك المرحلة وبين ظاهرة مألوفة هى ابتداء مغنطة الحديد . فعند تسخين الحديد للمغنط الى درجة أعلى من درجة معينة ، تسمى «نقطة كوري Curie point» فانه يفقد مغنطته.وعندما يبرد الحديد فانه يستعيد حالة المغنطة بصورة تلقائية ، على أن المغنطة لا تكون بنفس الصورة التى كانت عليها ، بل يتجزأ المجال المغناطيسى الى مناطق ، لكل منطقة اتجاهها الخاص لمجالها . وبناء على ذلك اقترح أن تبريد الكون قد تولد عنه ان كانت قوى الطبيعة مشتقة الاتجاهات بنفس الصورة .

ولمناطق التجاور بين تلك المناطق اهمية خاصة ، لأنها بصفة عامة مناطق من عدم التوافق بين الاتجاهات على جانبى الحدود الفاصلة . وينتج عن ذلك نوع من تشويه الموضع ، مسببا شيئا أشبه بالعقد . وقد عرضنا لهذا النوع من التشويه الطبولوجى في الفصل الثانى ، والذى من خصائصه تكوين سلسلة من الأنابيب الرفيعة ، خارج كل النواة الفضاء الكمى المعتاد الذى نشاهده اليوم ، ولكن بداخلها سيحبس الفضاء على حالة الاستثارة السابقة . وينتولد عن ذلك ما يسمى بالوتر الكونى cosmic string ، وهو شيء ليس مصنوعا من مادة ما ، بل هى أنابيب من

الطاقة المجالية . فاذا كان شيء من ذلك موجودا حقيقة ، فانها تكون اشبه بكبسولة تجمد فيها الزمن عند اللحظة ١٠ $^{-٣٥}$ من بدء نشأة الكون .

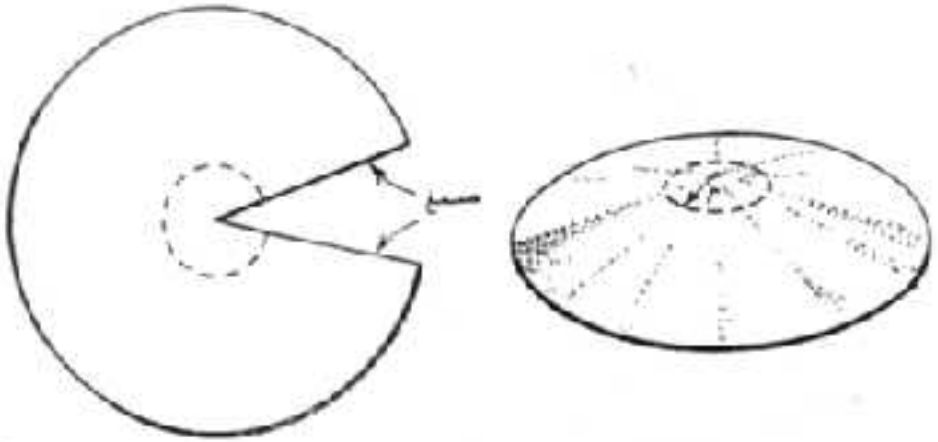
ويفترض أن للأوتار الكونية خواص غريبة . وفي أكثر صور النظرية اتفاقا عليها فهي لا يجب أن تكون ذات نهايات ، بمعنى أما أنها لانهائية الطول عبر الكون ، او ذات حلقات مقفلة . ويبلغ من درجة تركيز المجال بداخل الوتر ان كيلومترا من طولها قد يبلغ وزن الأرض ثقلا . ولكن مقرى ذلك يظهر حين تتخيل ما تحتويه تلك الأوتار من طاقة ، جزء من المليون ـ تريليون ـ تريليون من السنتيمتر . ولتصور ذلك فان وترا طوله عبر الكون كله ، لا يشتمل من الفراغ اذا تكور الا اقل من حجم الذرة ، وأن وزن هذه الكرة دون الذرية يكون ٤٩١٠ طنا ، أي ما يساوي وزن كوكبة فائقة من عدة كوكبات مجرية !

والخاصية الغريبة الأخرى هي أن الأوتار رغم هذه الكتلة المهولة لكل وحدة طولية منها ، لا تمارس أية قوة جاذبية على الأشياء المجاورة . فهي رغم أن لها قوة جاذبية هائلة ، انها في نفس الوقت قوة ضغط معادلة . الكون ذا جاذبية مضادة ، على نفس الصورة التي أوجدت التضخم .

وليس معنى ذلك أن الأوتار لا تسبب أي تأثير تجاذبي على الاطلاق . بل العكس هو الصحيح . فعلى الرغم أن الوتر لا يسبب تقوس الفراغ حوله ، فانه يسبب تشوها من نوع آخر . يمكن تصوره على الوجه التالي : تصور شخصا دار حول وتر منها دورة كاملة . فبحسب المألوف لنا لتوقع أن يكون قد استدار ٣٦٠° ، الا أنه في الواقع سيكون قد دار بأقل من ذلك من الدرجات .

ويمكن أن نوضح ذلك بتصور قطع جزء مثلث من قطعة ورق على شكل دائرة ، ثم اعادة لصق الورقة الأصلية ، لتتخذ شكلا مخروطيا ، بالصورة المبينة في (الشكل ٣٨) . فرغم أن المحيط لم يزل دائريا ،

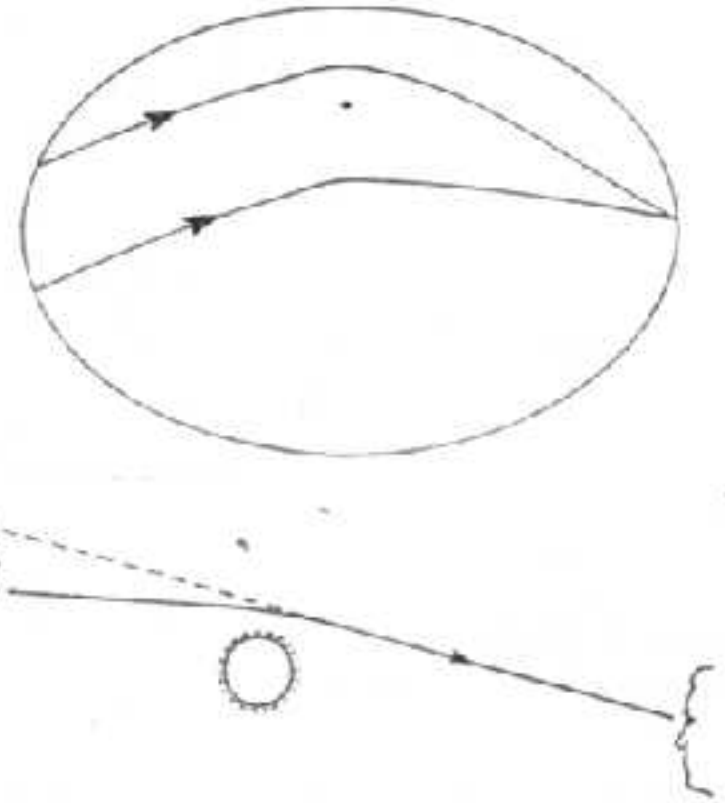
الا انه قد اصبح اقصر . ويقابل سطح الورقة في مثالنا جزء من الفراغ متعامد على الوتر ، ورأس المخروط نقطة تلاقي الوتر مع ذلك الجزء . ويكون تأثير الوتر هو اقتطاع جزء من الفراغ بنفس الصورة ، واعطاؤه شكلا « مخروطيا » .



الشكل (٣٨) : حين يقطع جزء من إفرض مسطح ، ثم يعاد لصق الزمن ، فيتكون الشكل المخروطي المبين . ولهذا الشكل خاصية ان الدائرة المرسومة على سطحه ومركزها قمة المخروط تكون اقل من ٢ ط . ويكون الفضاء في اتجاه متعامد مع وتر كوني مماثلا لهذا الشكل المخروطي .

ولهذه الزاوية المفقودة تأثيرات هامة . من ذلك أن شعاعين متوازيين من الضوء عند مرورهما على جانبين من الوتر سوف ينحرفان إبتداءيا ، ويكون تأثيره أشبه بالعدسة الضوئية . فاذا وضع الوتر بين مجرة ومشاهد على الأرض ، فانه يرى صورتين متطابقتين لتلك المجرة (الشكل ٣٩) . وقد شوهدت بالفعل أزواج عديدة من صور متطابقة لكوازارات ، الأمر الذي يوحي أن كل زوج هو لكوازار واحد .

ولكن للأسف ! فان تأثير العدسة قد ينتج أيضا عن مجرة أو ثقب اسود ، وبذلك لا يمثل دليلا على وجود الأوتار الكونية . على أن الدراسة الدقيقة لأزواج الصور قد يميز بين ما يحدث منها بسبب الأوتار وما يحدث بسبب الأجرام الفلكية . كأن تكون الصورة المتكونة بتأثير الوتر ذات حواف حادة .

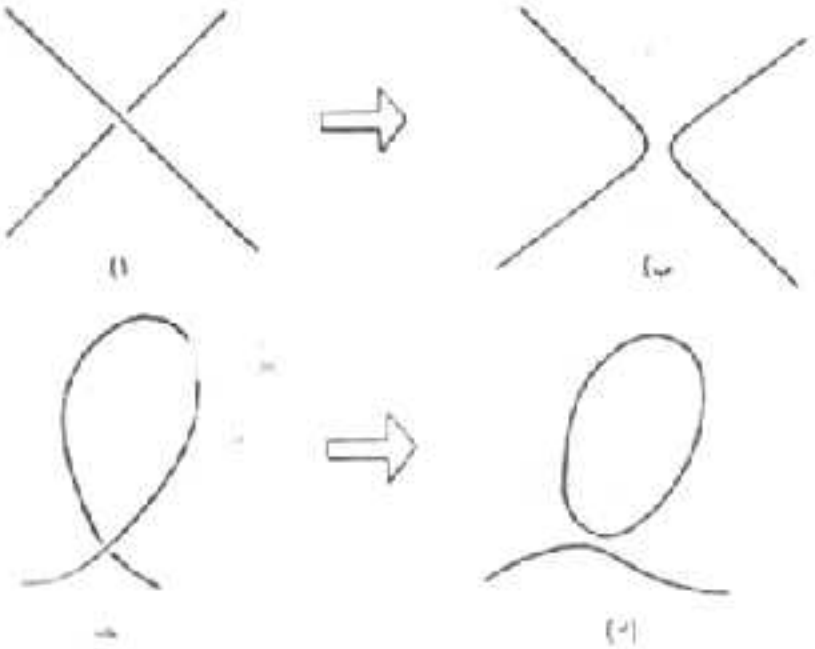


الشكل (٢٩) : الاشعة الضوئية حين تنتقل في فضاء مخروطي الشكل تتلاقى في النهاية ، كما لو كانت صادرة عدسة ، ويرى الراقب صورتين لمصدر الضوء ، وليس واحدة .

ومن التأثيرات الممكن ملاحظتها هو ما يحدث خلال حركة الأوتار معترضة خط النظر . فالضوء القادم من أجسام بعيدة له خاصية الانزياح نحو اللون الأحمر ، وهذا الانزياح يعتبر مقياسا لسرعة تباعد الجسم عنا . فلو أن وترا كونيا اعترض مسار الاشعة بيننا وبين الجسم المرئي ، فان تغيرا مفاجئا في الانزياح الأحمر سوف يمكن ملاحظته . ونفس الأثر سوف يلاحظ على الخلفية الاشعاعية الكونية ، حيث سيحدث تغير مفاجئ في درجة حرارتها على جانبي الوتر .

ورغم أن الوتر ذا الشكل المستقيم ليس له تأثير تجاذبي ، فان حلقات الأوتار تتصرف كما لو كانت جسما ماديا عاديا . وان الحلقات هذه هي ما يلجأ اليه الفلكيون بحثا عن ، بقدرة ، تكون المجرات وغيرها من تجمعات المادة الهائلة . ولكن هل يتوقع المرء كثيرا من مثل هذه الحلقات في الكون المبكر ؟ طبقا للتحليل الرياضي،فان عددا كبيرا من هذه الحلقات قد تكون ، هائما بسرعة قريبة من سرعة الضوء .

ومن الطبيعي ان يحدث نتيجة لذلك تشابك بين الأوتار حين تتلاقى فحين يلتقي وتران فان المحاليق بداخل هذين الأنبوبين سوف يتفاعلان بحيث تتحد الأطراف لهما بشكل أو بآخر (الشكل ٣٠) . ويعني هذا تكرار التوصيل بين الأوتار ، وخاصة حين تنتوى الأوتار على نفسها . ومن المحتمل انه خلال الثانية الأولى كان الكون مشتملا بالفعل من مثل هذه الحلقات .



الشكل (٣٠) : حينما تتقابل الأوتار الكونية ، تميل للاندماج كما هو مبين .

وعلى مر الدهور ، تمدد الكون تمددا هائلا ، وتباطأت الحلقات ، كما تباطأت سرعتها حتى وصلت تقريبا للسكون بالنسبة للمادة المحيطة بها . ومن وضعها الهادىء ، بدأت فى تجميع المادة لتكوين المجرات . والكثير من الكونيين مقتنعون بأن الأوتار الكونية قد لعبت دورا رئيسيا فى هيكلة الكون على نطاق واسع ، وأن منها ما لا يزال موجودا الى وقتنا هذا . واذا كان هذا صحيحا ، **فكيف نستشعرها ؟** من الاحتمالات ما ذكرناه سالفا ، تأثير العدسة . ولكن اين نوجه ابصارنا ؟

بداية يجب أن ينصب تحقيقنا على قلب المجرات ، كمجرتنا درب التبانة . ولكن ليس الكثير من الحلقات الكونية سيكون باقيا . ويعتمد مصير الوتر على ديناميكيته . فالشد فى الوتر سيحاول أن يكمشه على نفسه ، ولكن يعارض ذلك الحركة السريعة التى يمكن لأجزاء الوتر أن تكون عليها . تتنبأ المعادلات الحاسوبية بأن الوتر سوف يتلوى بعنف. الكون المحيط . هذه التموجات تسمى (موجات الجاذبية) .

تموجات فى الفضاء

يتسبب جرم كبير كالشمس فى التواء الزمكان بالقرب منه . وحين تتحرك الشمس فان التواء الفضاء والزمن يتحركان معها . وفى عمق الكون ، تحمل أجرام أخرى ، منها ما هو أكثر جرما من الشمس ، التواءاتها معها . وحين يتلاقى جرمان ، فان الالتواءات تتصادم ، مطلقة تموجات فى الكون المحيط . هذه التموجات تسمى (موجات الجاذبية) .

وكان آينشتين أول من تنبأ بموجات الجاذبية فى النسبية العامة ، عام ١٩١٦ ، ولكن عقودا مرت دون امكانية استشعارها رغم الجهود الاستكشافية . ومع ذلك فالفلكيون مقتنعون تماما بوجودها ، وما عدم الاحساس بها الا للضعف المتناهى للجاذبية .

وليس تصادم الأجرام هو فقط ما ينتج موجات الجاذبية ، فمن الوجهة النظرية يشع أى جرم متحرك مثل هذه الموجات . ومن المصادر

الأخرى انفجار أو انسحاق الأجرام ، ودوران أزواج النجوم حول بعضها البعض ، واهتزاز الأوتار الفلكية . والاشعاع الذى يبث فى مثل هذه العمليات ينتقل بسرعة الضوء ، ويمكن ان يصل الينا من حيث المبدأ من أطراف الكون المرئى .

كيف اذن يمكن استشعار موجات الجاذبية ؟ موجات الراديو يحس بها عن طريق ما تفعله بالشحنات الكهربية من اهتزازات (الالكترونات الموجودة فى مادة الهوائى) . ولكن لما كانت الجاذبية تعمل على أى شىء ، وليس فقط الشحنات الكهربية ، فان جهاز الاستشعار بها يمكن من حيث المبدأ أن يصنع من أى شىء على الاطلاق . ولكى للأسف بسبب الضعف المتناهى للجاذبية ، فان المواد منفذة تماما لموجاتها ، ويتطلب الأمر أجهزة غير مسبوقة فى درجة دقتها اذا كان لنا أن نحس بها .

ويجرى حاليا تصميم وبناء مثل هذه الأجهزة . وقد كان الجهاز الأول ، والذى صممه جوزيف ويبر Joseph Weber من جامعة ماريلاند ١٩٦٠ ، مكونا من اسطوانة من الألومونيوم بقطر ١٫٥ متر معلقة بسلك رفيع فى غرفة مفرغة . والصقت بالأسطوانة كشافات حساسة لاستشعار أية حركة طفيفة تسببها موجات الجاذبية . وتبلغ درجة الحساسية قدرا لا يتصوره عقل ، قريبا من قياس المسافة بين الأرض والشمس لأقرب مسافة تساوى قطر الذرة . ناهيك عن الشوشرات الحادثة من أية اهتزازات دخيلة ، كالاهتزازات الأرضية ، أو حتى ما يتسبب عن الاشعاع الحرارى. كل هذه الاهتزازات يجب اخمادها .

وقد ظفر العالم الفيزيائى حين أعلن ويبر عام ١٩٧٠ عن تسجيل اهتزازات متكررة عزاها لموجات الجاذبية . وتدافعت الجهود لانتاج كشافات مشابهة ، دون تحقيق أى نجاح . وما زالت المحاولات تجرى للتبريد الى قرابة الصفر المطلق لاخماد الشوشرة الحرارية ، وتحسين الحساسية بطرق أخرى ، ولكن لم يبد فى الأفق للآن تحقيق تسجيل مقنع لتلك الموجات . وقد استخلص من تجارب عديدة أن الذبذبات التى أعلن عنها ويبر منذ عشرين عاما لم تكن بسببها .

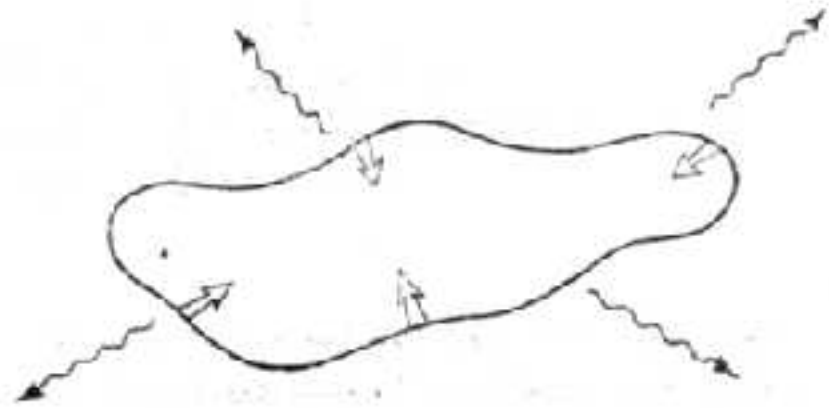
وفي أثناء ذلك لجأت فرق من الباحثين لتصميمات أخرى . ومن التصميمات الواعدة تصميم يعتمد على قياس شعاع من الليزر المنعكس من عدة مرايا معلقة بدقة بالغة في غرفة مفرغة . ويتصور أن أية اهتزازات دقيقة يمكن الاحساس بها من مقاومة انجاهات أشعة الليزر . ورغم التطور المتواصل في هذه الأجهزة فائقة الحساسية ، فانه لا يتوقع قبل فترة الاعلان عن كشف حاسم لتلك الموجات التي طال انتظارها . ولكن ثقة المختبرين بأن مجهوداتهم لن تذهب هباء قد عززت بما توصل اليه فريق من الباحثين في جامعة ماساشوستس عن تأثير موجات الجاذبية . فباستخدام تلسكوب لاسلكي ضخم في اريكيبو في بورتوريكو ، كان الباحثون لعدة سنوات يدرسون نظاما فلكيا يسمى PSR 1913 + 16 . هذا النظام عبارة عن نظام نجمي ثنائي ، اي نجمين يدوران حول بعضهما البعض ، ولكنه نظام ثنائي له تميزه ، فكلا النجمين قد انكمشا الى حجم مدينة ، رغم أن كتلة كل منهما لا تقل عن كتلة الشمس . وعلى ذلك فقد ارتفعت كثافة المادة فيهما الى قيمة هائلة ، فمل، ملعقة من مادة يصل وزنها المليون طن ! في مثل هذا الانضغاط تنحطم حتى الذرات . فيكون النجم مكونا من النيوترونات بصفة أساسية .

ويعتقد أن النجوم النيوترونية تتكون خلال الفجارات المستعرات العظمى (السوبرنوفا supernova) ، حين ينهار نجم ذو كتلة هائلة على نفسه تحت تأثير ثقله . وفي بدء تكونها يعتقد أنها تكون على سرعة دوران رهيبة ، عدة مئات من الدورات في الثانية الواحدة . وأغلب هذه النجوم لها مجال مغناطيسي ، وحين ينهار النجم ينكمش المجال فتزداد شدته . فالنجم النيوتروني التقليدي يكون مجاله أشد من مجال الأرض بترليون مرة . وحين يدور النجم يدور معه مجاله المغناطيسي ، فيتحول بذلك الى مولد كهربي رهيب ، يقتنص الجسيمات المشحونة التي بجواره ، كالالكترونات ، فتدور معه بما يقارب سرعة الضوء . وبدوران النجم تدور معه الاشعاعات مثل ضوء الفنار . ويظهر التأثير من الأرض على هيئة نبضات قوية من الاشعاعات .

وقد كان أول اكتشاف لهذه النبضات الراديوية عام ١٩٦٠ . والكثير منها معروف اليوم ، وتعرف باسم « النابضات » او « البلسارات pulsars » ولكن النظام المذكور هو نوع خاص منها ، ومن ثم تسمى « النبضات الثنائية » .

ويقدم هذا النظام مثالا نادرا لرؤية موجات الجاذبية تمارس نشاطها . فالزمن الدوري للنظام ، أي الزمن الذي يستغرقه نجم للدوران حول رفيقه ، هو ثمانية ساعات لا غير ، بمعنى أن النجمين يتحركان بسرعة مذهلة في مجال تجاذبي شديد . وعلى ذلك يكون كل نجم مصدرا لانبعاث موجات الجاذبية ، والتي تقوم أثناء اشعاعها باستنفاد طاقة النظام . ونتيجة لذلك ينضاءل المدار تدريجيا ، ويتلولب النجمان في اتجاه بعضهما البعض ، الى أن يتصادما . هذا التقارب يمثل على الأرض كتغير في سرعة النبضات القادمة من النظام ، وحين أحس العلماء بذلك التابتهم اثارة طاغية ، فقد تحقق أخيرا تنبؤ آينشتين بأن نظاما كهذا يجب أن يشع موجات الجاذبية ، قبل أن يعرف انسان بوجود النجوم النيوترونية . وقد بينت القياسات أن تضاؤل المدار يتوافق تماما مع حسابات النسبية العامة في ذلك . وقد بدا أنه اذا كان لم يحن بعد استكشاف موجات الجاذبية على الأرض ، فاننا على الأقل نشاهد اثرها (٢) .

وبالضبط كما تشع الأجرام الدوارة موجات الجاذبية ، فكذا تفعل الأوتار الفلكية (الشكل ٢١) . وفي حالة حلقة دوارة من الأوتار الفلكية ، فانه سيكون لها تأثيران ، احدهما دراماتي لحد ما - فالميل للموجات أن يكون متماثلا من محيط الحلقة ، بل له بروز أشد لاتجاهات معينة . ويعتمد ذلك على شكل الحلقة . ونتيجة لذلك تتعرض الحلقة لدفع في الاتجاه الأشد ، مما يجعلها تنطلق كالصاروخ بسرعة قد تصل لعشر سرعة الضوء . وعلى ذلك فلو كانت تلك الحلقات هي بذور المجرات ، فلابد أنها قد غادرتها من وقت طويل .



الشكل (٣١) : حلقة مشعة من وتر كونى هى مصدر واثر لموجات الجاذبية . ومع انتشار الموجات ، تستنفد طاقة الحلقة ، فتنكمش .

والأثر الثانى هو أن بث موجات الجاذبية يستنفد طاقة الحلقة ، فتزداد انكماشا على نفسها ، وتنتهى فى نهاية الأمر الى التلاشى ، ربما على صورة ثقب أسود . ومعنى ذلك على أى من الاحتمالين ، انه ليس من المحتمل أن نجد منها ما هو باق للآن .

والأثر التراكمى لموجات الجاذبية المشعة من آلاف من حلقات الأوتار الفلكية فى العصور السحيقة ، سيكون قد ملأ الفضاء بكم متلاطم من التموجات ، بالضبط كسطح بركة تعرضت لرياح شديدة . بعض من هذه التموجات يمكن أن تكون لها أطوال ، أى مسافات بين القيم المتتالية ، تبلغ عدة سنوات ضوئية ، عاكسة حجم الحلقات آنذاك . ومن بين آثار أخرى ، ستعمل هذه التموجات على التأثير على سرعة نبضات النجوم النابضة ، ليس فى هذه المرة بسبب اشعاع النجوم ذاتها ، بل بسبب التموجات فى الفضاء بينها وبين الأرض .

وكلما ازدادت سرعة النجم النابض ، زادت حساسيته لهذا التأثير . وبعض النابضات تبث نبضات بسرعة عدة آلاف من النبضات فى الثانية الواحدة ، فتتوالى النبضات بمعدل يصل لمئة ثانية . هذه الـ « نابضات المئة ثانية » هى الآن محل دراسة مستفيضة ، للبحث عن أى أثر لموجات جاذبية نتجت من حلقات أوتار فلكية من العصور السحيقة .

لقاء رهيب : وتر فلكى يقابل ثقبا أسود

لكون الوتر الفلكى مسئولا ان تضخم عراء . فان السؤال يثور حول ما يحدث لو قابل وتر فلكى ثقبا اسود . اى شئ يدخل الثقب الاسود لا يمكن ان يخرج مرة أخرى ، بما فى ذلك جزء الوتر الفلكى ، ومن جهة اخرى . فان الثقب لا يمكنه أن يهضم الوتر دون أن يهضم عراء . والحل الأوحد هو أن يظل الوتر عالقا بالثقب . عندئذ يبدأ الثقب فى ابتلاع الوتر كزوج من عصوات الاسباجتى . وفى حالة الوتر المستقيم فلن يكون على الوتر علامات تدل على سرعة هذا الالتهام . وبالنسبة للمراقب فلن يرى أى شىء يحدث . وفى الواقع يظل الموقف ساكنا . فالثقب لن يزداد حجما بسبب ابتلاعه للوتر ، لنفس السبب الذى به لا يظهر للوتر قوة جاذبية ، الا وهو الجاذبية المضادة التى تعادل جاذبيته . وبالتالى لن تزداد جاذبية الثقب مهما كان طول الوتر المبتلع .

أما فى الحالة الواقعية ، فاصطياد ثقب أسود لوتر فلكى هى عملية أكثر تعقيدا . فالوتر لن يكون مستقيما بصورة مثالية . وقد بينت المحاكاة الحاسوبية التى أجريت بواسطة ايان موس Ian Moss من جامعة نيو كاسل أن الوتر باقترابه من الثقب سيظهر له طرف مستدق يشير للثقب . هذا الطرف يتحول الى حلقة ، كحلقة وحيدة فى لولب ، قد تتبعها حلقة أخرى ، ثم يتبع ذلك لولب فلولب ، بحيث حين يصل الوتر للثقب لا يكون أشبه بعصوات الاسباجتى ، بل كطبق من الاسباجتى المختلط بلا نظام . فاذا ما كان الثقب دوارا (كما هى الحالة الغالبة) . فان هذا الخليط من الإسباجتى سيدور معه ، محدثا مزيدا من تعقد الموقف .

ويتجاوز الاهتمام بلقاء الثقب الأسود لوتر فلكى هذه التصورات الفلكية ، ليمس أساس علم الفيزياء . فطبقا لما بينه ستيفن هاوكنج ، فان الثقب الأسود لا يمكن أن ينقص حجما . وبقول أكثر دقة ، فسطح الثقب الأسود اما أن يزداد أو يظل ثابتا . والاستثناء الوحيد لهذا المبدأ هو الثقوب السوداء المجهرية ، والتى تقوم العمليات الكمية بتحويل طاقتها التجاذبية الى جسيمات حقيقية ، مما يؤدى لتبخرها واختفائها فى انفجار عنيف للطاقة .

وقانون سطح الثقب هو قانون أساسى فى الفيزياء ، حيث انه يمكن من تطبيق قوانين الديناميكا الحرارية على الثقوب السوداء . فسطح الثقب

الأسود يعتبر مقياسا للاستروبيا ، وتقليل سطحه يقابل تقليل الانتروبيا ، مما يخرق قانونا من اهم القوانين الأساسية للفيزياء .

والوجه الأول يبدو ان سطح الثقب الأسود سوف يقل ، بسبب عملية قطع السطح السابق شرحها (راجع الشكل ٢٨) . وقد بذل كثير من العلماء جهدا للتوفيق بين ذلك وقانون عدم نقص الانتروبيا . وذلك بتصور أن الوتر سيمد الثقب بطاقة تزيد من حجمه . وبالتالي من سطحه بما يعادل النقص الحادث على الأقل .

وقبل أن نترك موضوع الأوتار الفائقة ، يجب أن نشير الى أن تكوينها يتضمن عمليات فيزيائية حدثت في حقبة عصر التضخم . والسؤال الجوهري هو هل قبل او بعد ذلك - فلو كانت سابقة لأوانها التضخم هي أيضا ، وتلاشت بعد التضخم ، كشأن كافة التغيرات فيه . ولتضاءل الأمل الى حد كبير في أن نلاقي شيئا منها . ولهذا السبب ، فان النظرية التضخمية والنظرية القائلة بالأوتار الكونية ينظر اليهما كبديلين . ولم ينتج هذا بطبيعة الحال بعضا من المنظرين من محاولة الجمع بينهما .

وكالكثير من الأفكار التي عرضنا لها في هذا الفصل ، فان هذه المحاولات من المنظرين في كفاحهم لكسب قوتهم ، تطلب التعامل مع الفيزياء الكمية . وقد حاولنا الى الآن تحاشي هذا الموضوع بالتفصيل ، حيث أن له شهرة في التعقيد والصعوبة . كما أن بعض تنبؤاتها غاية في الغرابة . ومع ذلك ، فلكي نواصل حديثنا ينبغي علينا الدخول شيئا ما في هذه التفاصيل ، وهو موضوعنا في الفصل المقبل .

هوامش الفصل السادس

(١) مستحيل من الوجهة العملية ، ذلك انه يرسم مثلث على سطح الارض وقياس مجموع زواياه . يتبين لنا ان كانت مفسطحة او منحنية . وهو ما يتصور نظريا مع الكون .

(٢) **كلمة تحذير** : يطلق مصطلح « موجات الجاذبية » ايضا على موجات التوائل . سطح المحيطات . حين تتحرك تحت تأثير الجاذبية . ويجب الانتباه لعدم الخلط بين المعنيين .

الفصل السابع

أعاجيب الكم

في كل مرة ننظر فيها الى ساعة مشعة ، فاننا نشاهد احدى اعجب العمليات في الطبيعة . فالتدهور الحادث ينتج عن صورة من النشاط الاشعاعي يعرف بانحلال الفا alphadecay . وعند اكتشافه في نهاية القرن التاسع عشر ، كان من الواضح ان انحلال الفا هو احد الظواهر العجيبة .

وفي نيوزيلندا كان ايرنست رذرفورد Ernst Rutherford من اوائل من أجروا تجارب على « اشعاع » الفا . كما كان ينسبي ، واعطاه هذا الاسم عام ١٨٩٨ . وبحلول ١٩٠٧ ، كان رذرفورد قد استنتج ان جسيمات الفا هي في الواقع ذرة الهيليوم وقد نزعت عنها الالكترونين المكونين لغلافها . هذه الذرة المنزوع عنها الكتروناتها سميت فيما بعد بالنواة . ونحن نعلم الآن ان جسيمات الفا مكونة من بروتونين ونيوترونين . ولكن تركيب الذرة لم يعرف آنذاك الا بعد عدة اعوام ، حين استخدم رذرفورد جسيمات الفا كمقذوفات .

في هذه التجارب سلط رذرفورد وابلا من جسيمات الفا على غلافات رقيقة من الذهب . وقد اخترقت الغالبية من هذه الجسيمات الغلافة مثل « طلقة نارية تخترق قطعة من القماش » على حد تشبيهه . بينما انحرف عدد قليل للغاية عن مساره ، وبزاوية كبيرة . كما لو كانت الطلقة قد ارتطمت بشيء صلب . وعلل رذرفورد ذلك بأن كتلة الذرة مركزة في نواة لها . واقترح أن تكون الذرة عبارة عن الكترونات خفيفة للغاية تطوف حول تلك النواة على شكل سحابة مختلطة . وتتشابهت الذرة بذلك من عدة نواح مع النظام الشمسي ، والذي فيه تطوف أجرام خفيفة نسبيا حول جرم مركز به أكثر كتلة النظام ، الا وهو الشمس .

واطلق على نموذج رذرفورد لذلك « النموذج الكوكبي » - وبدلا من الجاذبية ، فان جسيمات الذرة مترابطة بفعل القوى الكهربية . فكل الكترون يحمل شحنة سالبة مقدارها الوحدة ، بينما تحمل النواة الشحنة الموجبة الكاملة ، والتي تساوي مجموع ما تحمله الالكترونات . فاذا كان هذا التصور صحيحا ، فان جسيمات الفا التي تصطدم بالنواة هي فقط التي تعاني من الانحراف المذكور .

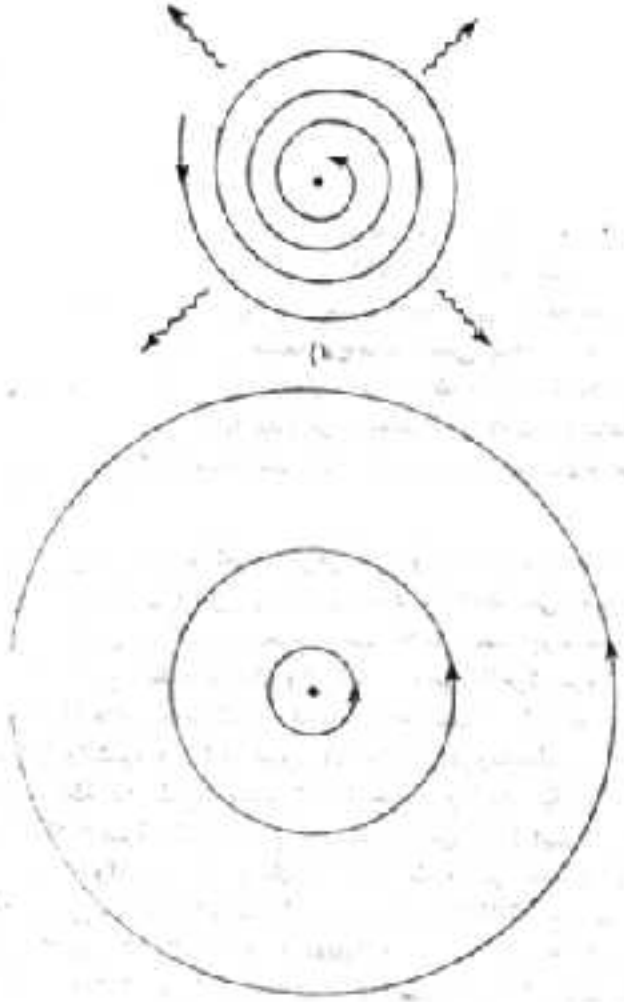
ولكن رذرفورد ووجه بشيء مستغرب ، فاذا كانت جسيمات الفا هي عطايا انبعثت من نواة يورانيوم مثلا ، فلابد من وجود آلية تدفعها لمغادرة النواة الأم ، وبمجرد أن تغادر النواة موجبة الشحنة ، فانها ، وهي أيضا موجبة الشحنة ، ستتنافر معها - فكيف ترابطت الشحنات الموجبة داخل النواة ، ولماذا لا تستطيع جسيمات الفا الدخول مرة أخرى للنواة ، طالما أنها كانت موجودة بها ، واستطاعت الخروج منها ؟

وفي العشرينيات قام الفيزيائيون بتطوير الفكرة بان الشحنات الموجبة في الذرة مترابطة بقوة اطلق عليها « القوة النووية القوية strong nuclear force » ، لتغلب ، عندما تعمل على مسافات ضئيلة ، على قوة التنافر الكهربية ، والتي سميت « القوة النووية الضعيفة weak nuclear force » - هاتان القوتان : التي تعمل على المسافات الكبيرة ، ولكنها الأضعف ، مع القوية ، تختلفان شيئا أشبه بالحاجز غير المرئي حول النواة - فجسيمات الفا بداخل النواة تكون محجوزة بداخلها بواسطة الحاجز ، بينما لا تستطيع جسيمات منها في الخارج اختراق الحاجز . والمسألة أشبه بكرة في أخدود لبركان خامد ، يمكن لها ان تقفز منه للخارج اذا أوليت طاقة كافية ، وما أن تفعل حتى تتدحرج بعيدا ، ولكن كرة بالوادي يتحتم عليها أن تصعد الجبل قبل أن تسقط في الأخدود - ولكن هذا لم يحل لغز عودة الجسيمات المشعة من النواة من العودة لها ثانيا - ولم تفعل الحسابات المتعلقة بهذا الحاجز المفترض الا تعميق الغرابة . فقد اتضح أن الجسيمات المشعة ليست لديها الطاقة التي تمكنها من عبوره . كما بينت التجارب أن جسيمات بضعف تلك الطاقة غير قادرة على عبوره من الخارج - لقد بدا الأمر كما لو كانت جسيمات الفا قد حفرت بطريقة ما ، نفقا ، في الحاجز .

نعم ، ان شيئا غريبا يجري ! - هذا الشيء الغريب ــ التأثير النفقي tunnel effect ــ قد قام بشرحه الفيزيقي الروسي المولد جورج جاموف George Gamow عام ١٩٢٨ ، معتمدا في ذلك على نظرية ميكانيكا الكم الحديثة ، والتي قامت أساسا لتفسير الغرائب المتعلقة بالعالم الذري .

النفق الكمي

حين وضع رذرفورد تصوره « الكوكبي » عن النواة ، لم يكن يعلم كيف تستقر الالكترونات في مداراتها حول الأنوية - فهناك أمر غريب مرتبط باستقرار هذا النظام ، حيث ان قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تنص على



الشكل (٢٢ ــ ١) : طبقا للفيزياء الكلاسيكية ، يجب على الالكترون الدوار حول النواة أن يشع موجات كهرومغناطيسية على الدوام ، فتقل طاقته ليتخذ مسارا لولبيا ليسقط في النواة .

(ب) الشرح يوضح أن الالكترون مقيد في مسارات محددة (مقادير كمية) ، ويمكن للالكترون أن يقفز من مسار لآخر عند امتصاص أو بث موجات كهرومغناطيسية بالقدر اللازم من الطاقة .

انه يجب على الالكترون في حالة دورانه ان يصدر اشعاعات كهرومغناطيسية . مما يفقده طاقته ، فيدور في مسار حلزوني تجاه النواة الى ان يسقط فيها . بمعنى آخر ، ذاته طبقا للفيزيقا الكلاسيكية فان مآل الذرة للانهيار . اما ما يحدث بالفعل فامر مخالف تماما . فالالكترونات تحتل مستويات محددة من الطاقة . تقابل مسارات على مسافات محددة من النواة (الشكل ٣٦) . ويمكن بالطبع ان تشع موجات كهرومغناطيسية من الذرة ، ولكن ذلك يحدث في دفقات قجائية . وحين يتم ذلك يطير الالكترون من مدار لآخر ادنى منه .

وكان وجود مستويات معينة للطاقة لغزا محيرا . من أين اتت ؟ وما الذي يبقي الالكترونات بها ؟ وفي ١٩١٢ قبل هذه الفصيحة نيلز بوهر بعد زيارته لرذرفورد ، الذي كان يعمل وقتها في جامعة مانشستر . وببصيرة نافذة وضع بوهر صيغة رياضية تعطي بدقة هائلة مستويات الطاقة لأبسط الذرات ، الهيدروجين . وكم الطاقة المنبعثة للالكترون او المنبعثة منه عند التنقل بينها علوا او انخفاضا . ولاقت الصياغة ترحيبا حارا ، ولكن لم يكن أحد يعلم لماذا تكون هذه المعادلة على هذه الصورة بالذات .

والخصيصة المميزة لمعادلة بوهر هي وجود ثابت بلانك . والذي قدمه في مطلع القرن الفيزيائي الالماني ماكس بلانك لكي يفسر طبيعة الاشعاع الحراري . كما استخدم ثابت بلانك ايضا بواسطة آينشتين عام ١٩٠٥ لشرح الظاهرة الكهروضوئية ، وهي ظاهرة سريان الكهرباء في بعض المواد عند سقوط الضوء عليها . وقد بينت أعمال بلانك وآينشتين ان الحرارة والضوء (وكافة صور الاشعاع الكهرومغناطيسي) لا يمكن وصفها ببساطة عن طريق صورتها الموجية . ولكنها يمكن ، في بعض المواقف ، ان تتصرف كسيال من جسيمات اطلق عليها اسم « الفوتونات photons » . وقد حدد ثابت بلانك قيمة الطاقة التي يحملها كل فوتون ذي طول موجي معين . فالفوتون أشبه بحزمة من الطاقة . سميت « الكم » (الجمع : كمات ، او الكوانتا) (quanta) . وبيان احتياجه لثابت بلانك ، أنام بوهر رابطة بين كمات الاشعاع الحراري والتركيب الذري . فمستويات الطاقة المسموح للالكترونات أن تحتلها تعتمد ، مثل طاقة الفيتونات ، على ثابت بلانك .

ولكن ظل اللغز حول سبب اتخاذ مستويات طاقة الالكترونات هذه الصفة الكمية . وكانت بداية الحل على يد طالب فرنسي يدعى لويس دي برولي (يسمى في كثير من الكتابات دي برولي Louis de Broglie

عام ١٩٢٤ . والذي واتته فكرة جريئة : لو كانت موجات الضوء تتصرف احيانا كالجسيمات ، فربما كان الالكترون ، والذي ينظر اليه عادة كجسيم من جسيمات المادة ، يتصرف احيانا كالموجات ؟ وتطويرا لفكرته صاغ دي برولي معادلة بسيطة بين فيها علاقة الطول الموجي لمثل هذه الجسيمات بكمية حركتها . وكمية الحركة هي حاصل ضرب الكتلة في السرعة . وبين دي برولي أن علاقة كمية الحركة بالطول الموجي يتضمن بدوره ثابت بلانك .

وعلى الرغم من ان دي برولي لم يضع نظرية متكاملة عن الموجات المادية (اذ يرجع الفضل في ذلك للفيزيائي النمساوي شرويدنجر) . فان فكرته قدمت التصور اللائم لشغل الالكترون مستويات طاقة محددة حول النواة . فاذا ما تصرف بصورة ما الالكترون كموجة ، فانه لكي « تتفق » الموجة مع المدار فان قطر المدار يجب ان يكون عددا صحيحا من الطول الموجي . بحيث انه حين تلتف الموجة حول المدار تقفل تماما . وعلى ذلك فلن يتاح ذلك الا لمدارات محددة . والتي تمثل مستويات الطاقة المسموح بها .

وقد قدم شرويدنجر تفاصيل هذا التوافق في معادلة تصف تصرف الالكترون بالقرب من النواة . وتحل معادلة شرويدنجر ، ظهرت مرة اخرى معادلة بوهر الخاصة بمستويات الطاقة لذرة الهيدروجين . وكان هذا هز النصر المؤزر للفيزياء . وفي السنوات التالية ، طبقت النظرية الجديدة ، المسماة بالميكانيكا الكمية ، بنجاح على عدة مسائل تتضمن الالكترونات . وتمثل معادلة شرويدنجر الآن أساسا للفيزياء المتعلقة بالذرات والجزيئات والجوامد ، والكيمياء الفيزيائية . ولكن هذا النجاح الساحق لم يكن بلا ثمن . فكما كان شرويدنجر نفسه واعيا ، كان ذلك على حساب التخلي عن قوانين نيوتن التي حازت التسجيل على مدى قرون ، وابدالها بالمعادلة الجديدة لموجات المادة .

واذا كان الالكترون يتصرف كالموجات ، فمن المعقول أن نتوقع ان تتصرف بنفس الطريقة كافة الجسيمات الأخرى ، وهو ما أكدته التجارب بالفعل . وما أن استقرت الصفة الموجية للجسيمات دون الذرية ، حتى أصبح من الواضح أن أشياء قريبة يمكن أن تحدث على مستوى الذرات والأنوية . افترض مثلا أن شعاعا من الالكترونات قابل قوة مجال لمثل حاجزا كهربيا . فاذا كانت قوة تنافر فمن الطبيعي أن نتوقع ان تنحرف الالكترونات بعيدا . واذا كانت القوة تجاذبا ، نتوقع انحرافها تجاه القوة . اما بالنظر للصفة الموجية ، فهذا التوقع السليم معرض للاستثناء . فكما

ان لوح الزجاج يعكس بعضا من الأشعة ويمرر البعض الآخر (وهو ما يسبب صورة شاحبة لك على اللوح) ، فان المجال التجاذب سيعكس دائما قدرا من الالكترونات . ومعنى ذلك أن بعض الالكترونات ، قلة من الكثرة الغالبة ، سوف ترتد عن منطقة الجذب ، بالضبط كما لو أن كرة الجولف اندفعت تجاه الحفرة ، وعند حافتها غيرت رأيها ، فارتدت متباعدة عنها .

ويتقبل هذا التصرف الغاذ ، ليس من الصعب تبرير كيفية حدوث ظاهرة النفق المذكورة سابقا لجسيمات ألفا . فكما أن الالكترون له خواص موجية ، فنفس الشيء لتلك الجسيمات . وعلينا أن نتصور هذه الجسيمات محتواة داخل النواة بقوة الحجز ، كما تحجز موجات الضوء داخل صندوق مبطن بالمرايا .

وحين يعكس الضوء بمرآة ، فان جزءا منه يخترق مادتها ، فيمتص داخله . أما اذا كانت المرآة مصنوعة من مادة رقيقة السمك ، فان قدرا من الموجات يمكن أن يخترقها ويعبر للجانب الخلفي منها . منهك القوة . وما أن يعبر المرآة حتى يستعيد خواصه كضوء طبيعي . ونفس هذه الظاهرة النفقية ظاهرة عالمية مع كافة الموجات ، فهي تحدث مثلا مع الموجات الصوتية . وفي حالة جسيمات ألفا فهي تسبب « تسربا » ضئيلا من موجاتها عبر حاجز النواة الى الخارج . وكما سنرى ، يتضمن ذلك أن هناك احتمالا ضئيلا ، ولكنه ليس منعدما ، لجسيمات ألفا أن تشق نفقا عبر الحاجز وتفر من النواة . فاذا ما اعطيت وقتا كافيا ، فان هذا سيحدث وقتا ما .

ولكن ماذا عن لغز عدم عودتها مرة أخرى للنواة ؟ يكمن الرد في عبارة : « اذا ما اعطيت وقتا كافيا » . فدرجة اختراق جسيمات ألفا للنواة ضئيلة للغاية ، وقد يستغرق الأمر بلايين السنين لحدوث حالة من ذلك . وأما ملاحظتنا لذلك بالنسبة لليورانيوم فلأن جسيما ضئيلا منه مكتظ بالأنوية (لكونه من العناصر الثقيلة ـ المترجم) ، تتصارع فيها جسيمات ألفا من أجل الفرار . والطريقة التي تعمل بها الاحتمالات هي انه اذا كان الاحتمال هو بليون الى واحد ، فان الأمر يستغرق لجسيم واحد بليون سنة ، وسنة واحدة لجسيم من بليون جسيم . فاذا راقبت ألف بليون من أنوية اليورانيوم لمدة سنة ، فان لك أن تتوقع ألف حالة من اشعاع ألفا خلالها . وهكذا . فاذا ما اردنا رؤية العملية المكسية لما أن لدينا النواة بلايين من تلك الجسيمات ثم نأمل ملاحظة حالة اختراق واحدة ، أو نقيد جسيما خارجها وننتظر بليون سنة .

عالم من عدم التأكد

وعلى غرابة التأثير النفقي ، فان الأغرب منه أن ثمة أن له تطبيقات عملية ، مثلا فيما يسمى « الثنائي النفقي tunnel diode » ولعل أهم تطبيق للخاصية الموجية للالكترونات هو ما يعرف باسم « التوصيل الفائق superconductivity » . حيث يمر التيار الكهربي في موصل ، فان سيل الالكترونات يواجه بعقبات عشوائية تسبب ما يعرف بالمقاومة الكهربية . ولكن بعض المواد لها خاصية فقد هذه المقاومة تماما عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق . ومن ثم فان التيار يمكن أن يمر بها للأبد ، دون أي فقد في طاقته .

والخصيصة الرئيسية في موضوع التوصيل الفائق هي الخاصية الموجية للالكترونات . فالالكترون له مجاله الكهرومغناطيسي الخاص به ، والذي يتسبب في تشويه الهيكل الشبكي lattice للمادة المنضمن بها ذلك . وتشويه الهيكل الشبكي لجسيمات مشحونة يتسبب بدوره في تشويه مجالها الكهرومغناطيسي ، فيؤثر بذلك على الالكترونات الأخرى . ونتيجة لذلك ، يوجد تفاعل ضعيف بين الالكترونات الحاملة للتيار والهيكل الشبكي للبلورة . وعند درجات الحرارة العادية تطغى الاهتزازات الحادثة في البلورة نتيجة الحرارة على هذا التأثير الواهن ، ولكن عند درجات الحرارة المنخفضة لخمد تلك الاهتزازات ، ويظهر التبادل بين الالكترونات على المسرح . هذا التبادل يمكن الالكترونات من أن تتزاوج ، ويتسبب هذا التزاوج في تغير جذري في خصائصها . أحد هذه التأثيرات هو السماح لأعداد كبيرة من أزواج الالكترونات بالتوافق الموجي ، منتجة موجات فائقة من الالكترونات . هذه الموجة الفائقة ، تحت الظروف الملائمة ، يمكن أن تنتقل حرة عبر حلقة من موصل فائق . في موجة مستقرة في مستوى من الطاقة معين لا تتخارج عنه (١) ، بالضبط كما تحتل الالكترونات مستويات معينة من الطاقة حول النواة . ويمثل الموصل الفائق في ذلك ، من وجهة نظر معينة ، نواة ذرة ، ولكن على المستوى الكلي . وكالغلب التأثيرات الكمية ، فقد استغلت هذه الظاهرة عمليا ، بالأخص في عمل مغناطيسات قوية لمسح الأجسام البشرية وغير ذلك من أجهزة .

وقد تم التعبير عن الخواص الموجية للالكترونات بأكثر من طريقة عملية . فالميكروسكوب الالكتروني مثلا ، يستخدم الالكترونات بدلا من الضوء ، ومن ثم يمكن أن يرى تفاصيل أدق . وتستخدم الموجات الالكترونية والنيوترونية في فحص المعادن بحثا عن أية عيوب بتكوينها المعدني .

كما يسلط شعاع من موجات الميزونات على صدف ما ، بحيث يمكن ضبط ترددها بدقة لتتوافق مع تردد ذرية الهدف ، وبهذه الحيلة يمكن مثلا قياس درجة حرارة ريشة تزريق نفاث بينما هو يعمل .

وأعجب ما في ظاهرة الازدواجية بين الخواص الجسيمية والموجية انها ليست مقصورة على العالم الذري وحده الخبري - فالاجسام المرئية من بشر وكواكب لها - من حيث المبدأ - موجاتها الكمية الخاصة بها ، تحددها معادلة دي برولي الموجية . والسبب في اننا لا نحس بها (كان يتعرض شخص مثلا لتأثير النفق في كرسي يجلس عليه ، ليجد نفسه واقعا على الأرض) موجود في صياغة المعادلة نفسها . فالطول الموجي للموجات يتضاءل مع كمية الحركة ، ومعنى ذلك انه كلما زادت الكتلة للجسم قل الطول الموجي . وعلى ذلك فطول الموجة للالكترون في جهاز متزلي يبلغ جزءا من مليون من السنتيمتر ، بينما يبلغ لبكتيريا طولا أقل من قطر ذرة ، ولكرة ١٠ - ٣٢ من السنتيمتر - كل جسم من هذه الأجسام يمكن أن يشق نفقا في حاجز ذي سمك متناسب مع طول موجته ، مما يجعل فكرة استقلال ذلك للاجسام المرئية ضربا من الفكاهة .

على أن الفكرة في حد ذاتها - من وجود موجات مادية حتى على المستوى المرئي - مهما كان قصر طولها ، تثير جدلا خطيرا الخوض فيه العلماء لعدة عقود - ويرجع ذلك للسؤال المبدئي ، ما كنه الموجات الكمية بالضبط ؟

ذلك انه في الصعب تصور شيء في الطبيعة له خواص مادية وخواص موجية في نفس الوقت . وقد كان اكتشاف ازدواجية طبيعة الضوء والالكترونات مبعث حيرة بالغة في البداية . وحين بدأ العلماء يتحدثون عن ازدواجية الجسيم ـ الموجة لم يقصدوا ان الشيء له الخاصيتان معا ، بل انه يمكن ان يظهر هذه الخاصية أو تلك ، بحسب الظروف .

وقد سمى بوهر فكرة الازدواجية الجسيم ـ الموجة لمبدأ عرف باسم « التكاملية complementarity » ، ويقصد به أن الظواهر التي تبدو متعارضة في الطبيعة هي في الواقع متكاملة . وعلى ذلك فيمكن النظر للخاصيتين الموجية والجسيمية للالكترون على انهما متكاملتان . كوجهي العملة . فالالكترون يمكنه أن يتصرف كجسيم ، أو كموجة ، ولكن ليس ابدا بالصورتين ، كما انه لا يمكنك الحصول على وجهي العملة معا .

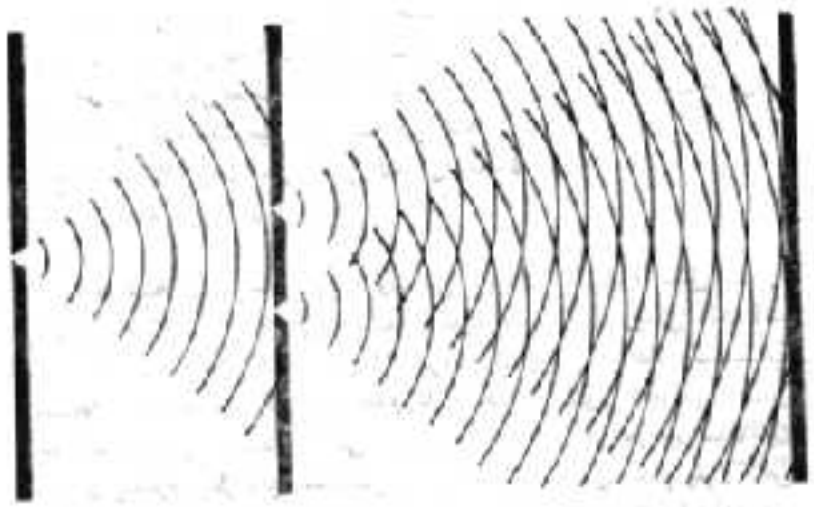
ومن المهم للغاية مقاومة اغراء النظر لموجة الالكترون كاهتزاز في وسط مادي ، كالموجات الصوتية مثلا . والتفسير الصحيح ، وهو الذي

اشرحه بوهر في العشرينيات ، هو ان هذه الموجات هي مقياس للاحتمالات ، فنحن نتحدث عن موجة الالكترون بالضبط كما نتكلم عن موجة الجريمة . فمعرفتك ان ضاحية من مدينة اصيبت بموجة جرائم ، يعني ان احتمال التعرض للجريمة في تلك الضاحية اكبر منه في بقية المدينة . وبالمثل ، فان اشد موضع لموجة الالكترون تعني اكثر الاماكن احتمالا لتواجده ، دون استبعاد احتمال وجوده في مكان آخر .

وحقيقة أن موجات الالكترون هي موجات احتمالية تمثل عنصرا جديدا في ميكانيكا الكم وفي الطبيعة الكمية للحقيقة . ويعني ذلك اننا ليس بامكاننا الجزم بما يمكن للالكترون أن يفعله ، فقط حساب الاحتمالات الممكنة هو كل ما بمقدورنا . هذا القصور الجوهري يمثل نهاية الحتمية في الطبيعة . فهي تعني أن الكترونين في موقفين متماثلين يمكن أن يتصرفا بطريقتين مختلفتين . وهذا يعني وجود عدم يقين كامن في العالم الكمي . هذا الواقع معبر عنه في مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ، والذي يعني ان الكميات زمن الملاحظة تتعرض لقدر من التغيرات العشوائية في قيمها ، مقدارها محدد بثابت بلانك . وقد وجد آينشتين في خاصية اللاحتمية في العالم الكمي صدمة أدت به للوقوف في وجه الفكرة بصرامة ، مقرعا القائلين بها بمقولته الشهيرة : « ان الله لا يقذف بالنرد ! » . وقضى اغلب البقية من عمره يحاول عبثا البحث عن الساعة المنضبطة التي تصورها مخفية تحت المظهر العشوائي للميكانيكا الكمية .

ويرى بوهر في السؤال عن ماهية الالكترون من حيث كونه جسيما ام موجة تساؤلا بلا معنى . فلكي يلاحظ المرء الالكترون ، عليه أن يقوم ببعض القياسات ، وذلك عن طريق اجراء تجربة ما (تذف العملة) . والتجارب المصممة للكشف عن الموجات تقيس دائما الخواص الموجية للالكترون ، بينما تلك المصممة للكشف عن الجسيمات تقيس الخواص المادية . فليس من تجربة على الاطلاق تقيس المزيج بين نواحي الخواص .

وتقدم التجربة الشهيرة التي اجراها في انجلترا لاول مرة توماس يونج Thomas Young في مطلع القرن الثامن عشر مثالا كلاسيكيا . فهو قد اجرى تجارب على الضوء ، ولكن تجربة مقابلة لها أجريت بعد ذلك على الالكترونات (٣) . وفي التجربة الأصلية أضاء مصدر ضوئي حائلا ذا ثقبين ضيقين . ثم استقبلت الصور المتولدة على شاشة خلفية (الشكل ٣٣) . وقد تتوقع أن الصورة المستقبلة هي بقعتان متداخلتان من الضوء ، ولكنها في الواقع متكونة من شرائط متعاقبة تتراوح بين الظلمة والاضاءة ، تعرف باسم حزوز التداخل Interference fringes .



(الشكل ٣٣) : تجربة يونج • الضوء القادم من مصدر (ثقب الشاشة الاولى) يعبر خلال ثقبين متجاورين (الشاشة الثانية) ، ويستقبلان على الشاشة الثالثة ، وتبين الصورة المستقبلة شرائط من الضوء والظلام متعاقبة . تسمى « حزوز التداخل » •

وظهور حزوز التداخل فى تجربة يونج هو دليل ناصع على الخاصية الموجية للضوء . حيث ان الموجات اذ تتداخل فانها تقوى بعضها البعض فى مناطق (مناطق الاضاءة) ، وفى مناطق اخرى تتلاشى فيما بينها (مناطق الاظلام) • ومن البديهى أنه بتغطية أحد الثقبين فان ظاهرة التداخل تختفى •

والأمر المستغرب هو حين نتصور الضوء مكونا من جسيمات ، هى الفوتونات • فعند اضعاف الشعاع الضوئى لدرجة مرور فوتون بعد الآخر من المجموعة ، وتسجيل الأثر التراكمى لوصول آحاد الفوتونات واحدا وراء الآخر لمدة طويلة • وفى التجربة المقابلة لقذف آحاد الالكترونات خلال النظام ذى الثقبين ، وتستقبل الالكترونات على شاشة وامضة كشاشة التلفاز • ويتكون الشكل النهائى من الومضات المتتالية المعبرة عن وصول الالكترونات واحدا وراء الآخر •

نذكر أننا بسبب عدم اليقين لا نستطيع أن نتكهن بمكان سقوط الفوتون أو الالكترون بالضبط ، ولكن متوسطات التأثير المتراكم من • القذف المتتالى للفرد الكمى » سيحمل النمط النهائى يتخذ شكلا معينا ،

والأكثر من ذلك . فهذا النمط هو نفسه سنسلة الانبرطة الخاصة عن تسليط الشعاع الضوئى دفعة واحدة • واللغز هو أن كل جسيم على حدة ، فوتونا كان أو الكترونا ، لن يعبر الا من ثقب واحد ، ويتصرف كجسيم حين يصل موضعه ، مصطدما بالشاشة فى مكان واحد • فكيف تعرف الجسيمات فى مجموعها بوجود الثقب الآخر ، فتكيف أفرادها نفسها لاحداث نمط التداخل ؟ هل يمكن القول بأن شيئا ما قد عبر الثقبين معا كموجة . ثم استعاد الخاصية الجسيمية عند تحديد موضعه على الشاشة ؟ يا له من أمر ملفت للنظر . حيث ان هذا الشىء يجب أن يكون عالما بمصدرنا ، وكيف يعلم كل فرد من هذه الجسيمات بما سيتصرفه زملاؤه حتى يضع نفسه فى الوضع الملائم له من الشكل النهائى ؟ ان هذا لدليل قاطع على الطبيعة الهيولية للنظم الكمية ، والتى فيها تتشكل تصرفات الأشياء فى انماط ليس لها تبرير طبقا للمنطق الحتمى لنيوتن •

وقد عبر بوهر عن هذا الموقف بوضوح • تخيل أننا اردنا الكشف عن الخاصية الجسيمية للفوتونات عن طريق حصر أماكنها بحيث يمكننا تحديد اى من الثقبين قد عبره كل فوتون • عندئذ ، فانه من نتيجة هذا التدقيق فى الفحص أن يشوش على النمط التداخل الذى يميز الخاصية الموجية • وعلى ذلك ، فلو أننا أجلسنا مراقبا عند كل ثقب يسجل مرور كل فوتون خلاله ، فان أثر هذه الملاحظات هو ادخال قدر اضافى من عدم اليقين (تطبيقا لمبدأ عدم اليقين) فى تصرف الجسيمات • وان القدر من عدم اليقين هو بالضبط ما يكفى لتطبيع النمط الداخل ، تاركا بقعتين من الضوء كما نتوقع للجسيمات أن تفعل وهى تعبر الثقبين ، حيث لا تداخل • وعلى ذلك ، فانه لاظهار الخاصية الجسيمية تشوه الخاصية الموجية . علينا اذن أن نتعامل مع نوعين متمايزين من المشاهدات ، مشاهدات متعلقة بالخواص الجسيمية والأخرى متعلقة بالخواص الموجية • ان نتائج التجربة اذن تعتمد على مشمول العملية التجريبية بأكملها ، الأجهزة مع الفوتونات (أو الالكترونات) • وليس فقط طبيعة الضوء ذاتها • واذا كان ذلك يشذ عن منطقنا الفطرى ، فلنتذكر أن منطقنا الفطرى مؤسس على التعامل مع أشياء أكبر كثيرا من الفوتونات والالكترونات ، وليس من سبب وجيه يجعله مرشدنا للعالم الذرى •

خلق الحقيقة :

وانا كان ما عرضناه للآن ليس مدعاة للبلبلة بقدر كاف ، فاليك المزيد مما توصل اليه جون هويلر John Wheeler من جامعة تكساس فى أوستن • فقد بين أن الطبيعة الهيولية تمتد ليس فقط خلال المكان بل

وايضا خلال الزمن . وقد بين هويلر كيف ان القرار بالنسبة لنتيجة التجربة في اظهار اي من الخصيصتين يؤجل الى ما بعد عبور الثقوب . ممن الممكن ان « تنظر للوراء » من موضع الصورة على الشاشة لتعلم من اي ثقب عبر جسيم ما ، او قد تقرر الا تنظر ، مبقيا على نمط التداخل يتشكل على سجيته . وقرار مجرى التجربة حول ان ينظر او لا ينظر للخلف لحظة وصول الجسيمات للشاشة ، يحدد اذا ما كان الضوء قد تصرف كجسيمات أو كموجات في لحظة سابقة ، عندما عبر الثقبين عند الحائل الأول .

وقد اطلق هويلر على ذلك تجربة « الاختيار المؤجل » « delayed choice » . وقد اجرى كارول الاي Carroll Alley من جامعة ماريلاند تجربة مبنية على هذه الفكرة ، اكدت وجهة النظر هذه تماما . وكان الجهاز المستخدم يتضمن نظاما من اشعة الليزر ، ورغم ان التأجيل في تجربة كهذه لم تزد فترته عن جزء من بليون من الثانية ، الا ان مبدأ خطيرا قد تأكد كحقيقة واقعة . وقد وسع هويلر من الفكرة الى مثال متطرف ، حيث تقدم الطبيعة نوعا من نظام ذي شقين على المستوى الفلكي . قد قدمنا في الفصل السادس أن جاذبية المجرات او الثقوب السوداء او حتى الأوتار الفلكية قد تحني الضوء على شكل عدسة . وقد يتخيل المرء مصدرا للضوء على البعد السحيق ، يشبه نجم (كوازار) مثلا ، يبعث بالفوتونات لتجمع في البؤرة على الأرض (الشكل ٣٤) . ومسارا الضوء يلعبان دور نظام الشقين ، حيث ان الشعاعين يمكن ان يتجمعا على شكل حزوز تداخل . فاذا ما استنهض مبدأ الاختيار المؤجل ، فان قرار مجرى التجربة للكشف عن اي من الخاصيتين الجسيمية أو الموجية لضوء الكوازار يؤثر على طبيعة ذلك الضوء ، ليس فقط لجزء من بليون من الثانية من الماضي ، بل لعدة بلايين من السنوات مضت ! وبعبارة أخرى ، فان الطبيعة الكمية للحقيقة تتضمن تأثيرات غير محلية ، يمكنها من ناحية المبدأ ان تنفذ لأقوار الكون وتمتد عبر دهور من الزمان .

الشكل (٣٤) : جرم ذو كتلة كبيرة ، كمجرة او حتى ثقب اسود ، يمكن ان يلعب دور عدسة هائلة . فالضوء القادم من مصادر بعيدة يمكن ان ينحني لاحتواء الفضاء المحيط بالمجرة بسبب الجاذبية . والاثر يماثل على نطاق اكبر انحناء الضوء بسبب الشمس (الشكل ٢٦) ، ويمكن ان يعطي اكثر من صورة لمصدر الضوء ، كمثل القانيا به نيجة الأوتار الكونية (الشكل ٢٩) .

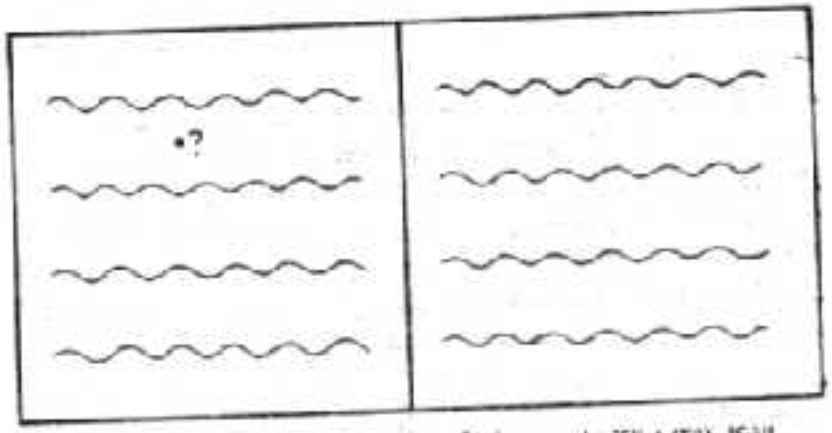
على انه يجب الانتباه الى انه لا يمكن استغلال مبدأ الاختيار المؤجل لارسال معلومات الى الماضي . فليس لك مثلا ان تستخدم التجربة لكي تبث اشارة لمشاهد آخر عند مصدر الضوء ، أي عند عدة بلايين من السنوات في الماضي . ان أية محاولة لتمكين المشاهد الآخر من الرؤية في المستقبل ، من شأنها ان تشوه الحالة الكمية وتدمر ذات الاشارة التي يحاول المشاهد الأرضي بثها . ومع ذلك ، فتجربة الاختيار المؤجل تبين بصورة توضيحية أن العالم الكمي يملك طبيعة هيولية تخترق الزمن والفضاء . فيبدو الأمر وكأن الموجات المادية تعلم مسبقا اي من القرارين سوف يختاره مجرى التجربة .

ولعل أكثر ما في هذه الدراسات من اثارة للقلق هو انه يبدو ان للمشاهد دورا جوهريا في بيان وجه الحقيقة على المستوى الكمي . ولقد ازعج هذا كلا من العلماء والفلاسفة لوقت طويل . ففي عصر ما قبل الكم للفيزياء ، كان كل امرئ يفترض أن العالم الخارجي له خصائص ثابتة ومحددة ، لا تختلف بمراقبتها من عدمه ، او بكيفية تلك المراقبة . بالطبع قد تتداخل المراقبة في بيان الحقيقة ، حيث اننا لا نستطيع أن نراقب شيئا دون التداخل معه طبيعيا لدرجة ما . ولكن المبدأ هو أن هذا أمر عرضي متعلق بدقة المشاهدة ، ويمكن العمل ، من حيث المبدأ على ازالة الخطأ الناتج بسبب ذلك الى أكبر قدر ممكن . أو اجراء التجربة بصورة تأخذ في الحسبان معادلته تماما . ولكن الفيزياء الكمية تقدم لنا نوعا آخر تماما من الحقيقة ، يتفاعل فيها المشاهد مع الشيء الذي يشاهده بصورة لا تقبل الانفصام . فتأثير عملية المشاهدة هي جزء لا يتجزأ من الحقيقة التي يتم الكشف عنها . ليس لنا أن نقلل من قدرها أو نعمل على معادلتها .

واذا ما كانت المشاهدة هي أمر جوهري في طبيعة الحقيقة الكمية ، فان هذا يؤدي بنا الى التساؤل حول ما يجري حقيقة عند مراقبة الكترون أو فوتون . ولقد ذكرنا من قبل أن الطبيعة الموجية للأشياء المرئية هي بغير ذي وزن يذكر في الحياة العادية ، ولكن مع اجراء التجارب الكمية فانه يبدو أن الخصائص الموجية لأجهزة القياس ، بل والأفراد ، لا يمكن تجاهلها .

ويتضح دور المشاهد فيما يعرف باسم « مفارقة القياس » « the measurement paradox » . تخيل جدلا أن الموجة الخاصة بالكترون قد احتويناها في صندوق ، ويديهي أن الجسيم ذاته في موضع منه -

نخيل اننا شطرنا الصندوق شطرين ، واقمنا حاجزا بينهما (الشكل ٣٥) . فطبقا لقواعد الكم ، فان موجة الالكترون ما زالت موجودة في كلا الصندقين، عاكسة حقيقة اننا في بحثنا عن الالكترون فانه يحتمل وجوده في أيهما . ولكن المنطق البديهي يفرض أنه لا يمكن أن يوجد الا في أي من الصندقين. نخيل الآن شخصا ما نظر بالفعل ، ورأى الالكترون في جزء ما ، من الواضح أن الدالة الاحتمالية يجب أن تختفي من النصف الآخر ، حيث علم الآن أنه خاو .

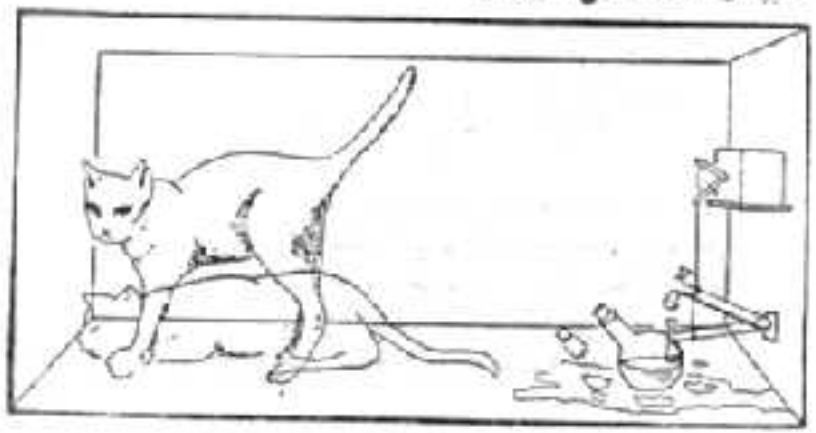


الشكل (٣٥) : الكترون موجود في قسم من صندوق ، ثم وضع فاصل بين الجزئين . الموجة المصاحبة للالكترون منتشرة في الجزئين ، مما يعكس احتمال وجوده في ايهما . بيقما يدلنا المنطق البديهي ان الالكترون ، يكون جسيما يجب ان يكون في احد النصفين .

ان ما جرى بالنسبة للموجة ، وهو ما يطلق عليه غالبا « انهيار المعادلة الموجية collapse of wave function» يبدو انه كان بسبب عملية المراقبة . فاذا لم يقم بها احد ، فلن تختفي أبدا . وعلى ذلك ، فيبدو ان تصرف جسيم كالالكترون تعتمد على كونه تحت المراقبة أم لا . هذا الأمر مزعج للغاية عند الفيزيائيين ، ولكن قد لا يكون بهذه الأهمية لدى العامة . فماذا الذي يهتم حقيقة بما يفعله الالكترون؟ ونحن لا نراقبه ؟ ولكن المسألة تتجاوز الالكترونات . لو ان الأشياء المرئية تمتلك خاصية موجية ، فان حياد الحقيقة لكافة الأشياء سوف تذهب ادراج رياح الكم .

ويشعر الكثير من الفيزيائيين بعدم الارتياح لفكرة وجود خواص موجية للأشياء المرئية ، تلعب دورا في نتائج التجارب التي تجرى عليها . والسبب هو امكانية تصور شكلين موجيين متداخلين ، بينما يمثل كل

منهما حالة مناقضة للحالة الأخرى . وأشهر مثال مخيل لذلك هو ما يسمى « قطة شرويدنجر » . فقد تخيل شرويدنجر قطة محبوسة في صندوق يحتوي قارورة بها مادة السيانيد السامة . ومطرقة فوقها (الشكل ٣٦) ، ومادة مشعة ، تشع جسيم ألفا بعد فترة من الزمن ، وهو ما يمكن الكشف عنه بعداد جيجر . ولنتصور أن التجهيز بحيث ان جسيم ألفا حين اشعاعه يتسبب في ارخاء المطرقة على القارورة فتكسرها ، مسببا وفاة القطة في الحال .



الشكل (٣٦) : تصوير لتجربة قطة شرويدنجر ، تبين حالة مخلوطة لقطة حية وميتة في ان واحد (تنويه لمحبي القطط ، هذه تجربة ذهنية) .

لنا أن نتصور أنه بعد فترة من الزمن أصبح جسيم ألفا محتبسا جزئيا في النواة ، لم يؤذن له بعد بالتسلل عبر النفق ، وجزئيا قد تسلل بالفعل . وهو ما يمثل الاحتمال المساوي للحالتين . والآن ، فان كل عناصر التجربة ، عداد جيجر ، والمطرقة ، والسم ، والقطة ، كلها تعامل كموجة كمية . ليس هناك اذن أن يتصور وضعين . في الأول لم اشعاع الجسيم ، وسقطت المطرقة ، وماتت القطة . والوضع الآخر لم يحدث شيء من ذلك ، والقطة على قيد الحياة . وبما أن الموجة الكمية يجب ان تحتوي على كل الاحتمالات ، فان الوصف الكمي لمحتويات الصندوق بأكملها يجب أن يتكون من شكلين موجيين متداخلين ، الأول هو المعبر عن حياة القطة ، والثاني يعبر عن وفاتها . في هذه الحالة المختلطة ، لا يمكن اعتبار القطة حية قطعا أو ميتة قطعا ، ولكن في حالة محيرة بين الحالتين . هل معنى ذلك أنه بامكاننا أن نصمم تجربة نكتشف بها عن هذه الحالة الغائمة ، القطة حية ـ ميتة ؟ كلا ! فحين يفتح المشاهد الصندوق

لجرى ما بداخله . فانه سوف يرى احدى الحالتين . يبدو الأمر كما لو كانت الطبيعة تؤجل قرارها بشأن الحيوان المسكين الى ان يقرر احدهم اختلاس النظر . ولكن هذا يثير السؤال البديهي : ما الذي يجرى حقيقة حين لا ينظر أحد ؟

ومن الواضح من تصور تطبيق الخواص الموجية على الأشياء المرئية والحية منها . أنها تثير قضايا عميقة حول طبيعة الحقيقة . والعلاقة بين المشاهد والعالم الفيزيقي . وقد وضع مثال القطة السابق عمدا ليصور بدرجة مبالغ فيها الطبيعة المتناقضة لاعاجيب العالم الكمي . ولكن نفس الظاهرة تحدث كل مرة يشع فيها جسيم ألفا من نواة . وتمارس دورها بلا كلل على المادة المشعة في عقارب ساعاتنا الصوتية .

ولم يحدث اتفاق بين الفيزيائيين على حل معضلة قطة شرويدنجر . فيذهب البعض الى أن ميكانيكا الكم تفشل عنه مستوى المرئيات . ويذهب رأي آخر الى أن ميكانيكا الكم لا تقول لنا شيئا عن الأفراد . من جسيمات أو قطط . بل عن الأعداد الضخمة منها على صورة احصائية . ولكن ذلك يعتبر مراوغة عن اجابة السؤال حول ما يحدث للقطة بالفعل .

ولعل أكثر محاولات تفسير هذه الغرائب الكمية هو ما يسمى بنظرية الأكوان المتعددة many universes theory أو التواريخ البديلة alternative histories) ففي موضوع تجربة القطة . تقول النظرية ان الكون قد انقسم لنوعين من الحقائق المتعايشة . أو المتوازية . لقطة حية وأخرى ميتة . ورغم ان الأمر يبدو كالخيال العلمي . فان النظرية تتفق تماما مع ميكانيكا الكم . لها انصار عديدون ممن لهم وزن في عالم الفيزياء . وسوف نلقي نظرة أكثر تفحصا لهذه النظرية عما قريب .

وقد وضعت نظرية العوالم المتوازية كما رأينا لتحل معضلة جوهرية متعلقة بطبيعة الحقيقة كما تبدو داخل العالم الذري ودون الذري . فبسبب خاصية الازدواج الموجي ـ الجسيمي لكيانات مثل الالكترون . فانه من المستحيل أن نضع لها بعض الخواص . كأن تكون لها مسار محدد في الفضاء . كما تعودناه بالنسبة للأشياء المرئية كمسار طلقات الرصاص أو مدارات الكواكب . وعلى ذلك . فانه اذا ما انتقل الكترون من الوضع (أ) الى الوضع (ب) . فان مساره يكون مشوشا بسبب عدم اليقين الكمي كما صاغه هيزنبرج . ان احدى صياغات المبدأ تقول انه من المستحيل أن نقيس الوضوح والسرعة معا لجسيم كمي . أما الصياغة

الأعمق . فتقول ان الجسيم ليس له بالفعل قيم محددة للموضع والسرعة في نفس الوقت . فاذا ما أردت قياس الموضع بدقة . فسيكون ذلك على حساب الدقة في السرعة . والعكس بالعكس . انه لتوجد مقايضة تقول التصور بين القيمتين . فيمكنك الوصول لدرجة دقة المعلومات كما تشاء . ولكن على حساب الدقة في معلومة أخرى .

وقد صادفنا مبدأ عدم اليقين عند حديثنا عن الهيولية الكمية . والتراوح . ومنشأ الزمن . وهو نفس عدم اليقين الذي يؤثر في الطاقة وفي الزمن . ويخبرنا كيف أن الجسيمات التقديرية تبزغ لنا من اللاشيء . لتفنى على التو . هذا القدر من عدم اليقين لا ينبع من قصور بشري . بل هو خصيصة كامنة في الطبيعة . فمهما حاول المرء من تحرٍ للدقة . ومن تطوير لقوة الأجهزة . فلن تظهر الغموض الكامن في عدم اليقين الكمي .

والمقايضة بين الدقة في الوضع ومثلها في السرعة هي مثال آخر للتكاملية الكمية في ممارستها لدورها . فقد اتضح أنها على علاقة وثيقة بتكاملية الجسيم ـ الموجة . فالموجة المصاحبة للالكترون هي بطبيعتها شيء منتشر . ليس له موضع محدد . رغم أنها تحوي شفرة عن المعلومة المتعلقة بالسرعة . وفي المقابل . فالجسيم المصاحب للالكترون هو بطبيعته شيء يحتل موضعا محددا . ولكن موجة تضاءلت الى نقطة لا تحمل معلومة عن سرعة الالكترون . ان لك قياس موضع الالكترون . حينئذ لن تعرف (ولا هو) كيف يتحرك . ولك أن تقيس السرعة للالكترون . ولن يتاح لك أو له تحديد مكانه .

معضلة آينشتين

في بداية عصر نظرية ميكانيكا الكم . انقسم العالم الفيزيائي بشأن نتائجها الشاذة معسكرين . كان على رأس الأول نيلز بوهر . وضم الذين تقبلوا تماما المضمون غير الحتمي للنظرية . وأصروا عليه كخصيصة جوهرية للعالم الكمي . وكان على رأس المعسكر الثاني آينشتين . العالم الذي لا ينكر قدره . والذي أصر على أن النظرية تعتبر غير تامة طالما أنها تذهب لهذه المقولات غير المنطقية . وكما أسلفنا القول . فقد كان آينشتين يأمل في أن يكون وراء عالم الكم المعجب حقيقة حتمية للأشياء والقوى التي تتفاعل بالصورة التقليدية طبقا للأسباب والنتائج . وقد افترض أن علامية نتائج التجارب هي نتيجة للقصور فيها . معتقدا أن أجهزتنا ليست مهيأة بطبيعتها للكشف عن التفاصيل الدقيقة للمتغيرات التي تكمن

وراء تلك المسالك الغريبة للجسيمات دون الذرية . انها يوهر فقد ذهب الى أنه ليس لهذه الهيولية سبب ما ، وان ساعة نيوتن الكونية المنضبطة قد ولى زمانها . وبدلا من قواعد صارمة للأسباب والنتائج ، فان المادة تخضع لقوانين الصدفة . فلعبة الطبيعة اقرب للعبة الروليت ، منها للعبة البلياردو .

وقد تركز أغلب الجدل حول الحقيقة الكمية على شكل « تجارب ذهنية thought experiment » ، كتلك التى عرضنا لها فى قصة شرويدنجر . وقد دار الصراع بين آينشتين وبوهر على هذه الصورة ، حيث يضع آينشتين موقفا تخيليا يتوسم فيه انه سيفحم بوهر . ويقوم بوهر من ناحيته بتفنيد الموقف ، واستمرت اللعبة الى ان كف آينشتين عن محاولته ، مركزا على محاولة بيان النقص فى النظرية . ومعنى ذلك ان آينشتين ربما يكون قد اعترف مكرها بما فى النظرية الكمية من حقيقة ، ولكنه لا يرى فيها كل الحقيقة .

وانصب الجدل حول عدم اكتمال النظرية على مبدأ عدم اليقين . وقد اراد آينشتين ان يبين مثلا ، ان للالكترون موضعا محددا ، وسرعة محددة فى نفس الوقت ، حتى ولو كانت اجهزتنا قصوره من احدى المعلومتين عند قياس الأخرى . وقد حاول تخيل طريقة يبين بها أن عنصرا من الحقيقة ، يمكن أن يلحق فى نفس الوقت بالصفتين المتكاملتين . وكانت اقوى محاولاته ، والتى صاغها مع زملائه ناثان روزن Nathan Rosen وبوريس بودولسكى Boris Podolsky تفترض الحصول على معلومتى الوضع والسرعة لجسيم باستخدام جسيم آخر ، حين يرتد الجسيم الثانى عن الأول الذى هو محل بحثنا ، فانه يحمل معه معلومات عن موضع وسرعة الجسيم الأول . بالضبط كما تحمل كرة البلياردو المرتدة معلومات عن سرعة واتجاه الكرة التى اصطدمت بها ، من القوانين المعتادة للتصادم .

لنفرض ان لدينا جسيمين (أ) و (ب) ، تصادما وتباعدا الى مسافة كبيرة . ان لنا الآن ان نقيس موضع أو سرعة الجسيم (ب) . فاذا قسمنا الكمية الأولى ، فسيعطينا ذلك دليلا على موضع (أ) . ولكن بامكاننا أيضا ان نقرر قياس سرعة (ب) ، ونستنبط منها سرعة (أ) . ورغم ان قياس موضع (ب) سوف يؤثر على قياس موضعه ، والعكس بالعكس ، فان عملية القياس التى تجرى على (ب) لن تؤثر على (أ) ، لما بينهما من تباعد . وفى النهاية لن يمكن للقياس الذى يتم على (ب)

ان يؤثر على (أ) ، حيث يبلغ التباعد بينهما مسافة سرعة الضوء ، وهو الحد الأقصى للسرعة كما تحدده النسبية . وعلى ذلك ، فان القياس الذى يجرى على (ب) لن يؤثر على (أ) .

ويبدو ان ذلك قد حسم المسألة ، حيث انه بما ان المشاهد يمكنه قياس سرعة (ب) أو موضعه ، مستنتجا من ذلك القيمة المقابلة لـ (أ) ، وبدون اى تأثير على هذا الأخير ، فانه بالتأكيد لابد ان لـ (أ) عنصرى الحقيقة معا ، لحظة القياس . كما انه يمكن تصور قياس موضع (أ) باستخدام القياس على (ب) ، وقياس سرعة (أ) عليه مباشرة ، فنكون قد حصلنا على القيمتين المضبوطتين معا فى نفس الوقت . ومن ثم فقد ذهب آينشتين الى انه من حيث المبدأ يمكن معرفة الوضع والسرعة لجسيم فى نفس الوقت . وقد بدا له أن عدم اليقين لن يتحقق الا اذا تحقق بين الجسيمات ، تأثير غامض على البعد ، ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، متحديا النظرية النسبية .

ورغم أن بوهر قدم رده على هذا الجدل ، فان المسألة ظلت فى طى التجربة الذهنية الى الستينيات . فقد مد جون بل John Bell فى مختبر المركز الأوربى للابحاث النووية CERN التجربة على زوج من الجسيمات الى مدى من العمليات أوسع ، مستنبطا القواعد التى يجب أن تخضع لها الجسيمات لكى تتفق مع منطق آينشتين فى تصوير الحقيقة . ووجد بل أن ذلك يقتضى تحديدا رياضيا اطلق عليه « متباينة بل Bell inequality » ولأول مرة اصبح من الممكن أن نختبر هذه الأفكار عمليا . وأجريت التجارب للتحقق من صحة اللامساواة المذكورة ، وبالتالى انتصار رأى آينشتين ، أو عدم صحتها ، فيكون هو الخاسر . وازدادت التجارب دقة على مر السنوات ، حتى بلغت أوجها على يد الين اسبيكت Allan Aspect من جامعة باريس عام ١٩٨٢ ، والتى حسمت الموقف بخسارة اينشتين المعركة ، فما معنى ذلك ؟

اذا ما استبعدنا التأثير الأسرع من سرعة الضوء ، فان ذلك يعنى انه ما أن يؤثر جسيم فى آخر ، حتى يظل الاثنان مترابطين بصورة ما ، فيشكلان واقعا نظاما لا ينقسم ، وللخاصية « عدم المحلية » هذه مضامين خطيرة ، فلنا أن نتصور الكون شبكة مهولة من الجسام مترابطة ، كل رابطة تجمع بين أطرافها فى نظام كلى موحد ، وعلى الرغم من أن الكون - من الوجهة العملية - من التعقيد لدرجة عدم ملاحظة الترابط الخفى الا فى تجارب معينة كتلك التى أجراها اسبكت ، الا انه توجد نكهة كمية قوية فى وصف الكون .

وقد نضجت تجربة اسبكت على أعمال آينشتين في أن يكون وراء عدم اليقين الكمي قوى خفية تمارس نشاطها . فلابد أن تتقبل وجود عدم تحديد كامن لا يتخلص منه في الطبيعة . فالالكترون وغيره من الجسيمات الكمية ليست لها مواضع وسرعات محددة الا اذا اجريت تجربة فعلية لقياس أي من تلك القيم . فعملية القياس هي التي تجعل الهلامية تتحول الى نتائج محددة قاطعة . ان هذا المزيج من عدم اليقين مع انهيار الدالة الموجية هو ما يؤدي لمعضلة القطة . ولكنا الى الآن لم ننظر الا لصورة مبسطة للغاية من اللغز . فما الذي يحدث حين نطبق ما تعلمناه منه على الكون في مجموعه ؟

ان مضمون حرافة القطة الحية والميتة لينظر شخصا ما يختلس النظر في الصندوق حتى يتحدد مصيرها – يبدو سخيفا . لانه يفترض أن القطة نفسها تعلم ان كانت حية أم ميتة . ألا تمثل هذه المعرفة جزءا من الملاحظة المؤدية لانهيار الدالة الموجية الى حالة محددة من الحالتين ؟ أليس من المؤكد ان الملاحظات الكمية لا يشترط ان تكون مقصورة على البشر حين ينظر اليها كمحددة لحالة من حالات الحقيقة ؟ واذا كانت القطة صالحة للقيام بالمهمة . فماذا عن الفيل ؟ وعن البكتيريا ؟ أم تراه بامكاننا أن نتخلى كلية عن عنصر الحياة ، ونترك المهمة لحاسوب ، أو كاميرا ؟

وفيما يتعلق بالعالم الخارجي للصندوق . فانه بامكاننا النظر للمختبر باكمله كصندوق كبير . فاذا ما نظر المراقب داخل الصندوق واحدد مصير القطة . فان زميلا له بالحجرة المجاورة قد لا يعلم ذلك . فهل الموجة الكمية للمختبر ككل تنهار لو انه دخل من الباب وسأل عن حالة القطة ؟ من المؤكد أن هذا يؤدي بنا الى تسلسل لا نهاية له . كل نظام كمي يمكن أن ينهار الى حالة محددة حين يشاهد من نظام خارج عنه . ولكن النظام الأكبر يظل في حالة اللاتحديد حتى يراقب من نظام أكبر . وهكذا .

وقد اقترحت أفكار عديدة للخروج من هذا المازق . واحد هذه الأفكار المثيرة للجدل الشديد هو ادخال عنصر الوعي في الموضوع . بافتراض أن التسلسل يقف عندما تدخل النتيجة عقلا مدركا . ويدخل هذا عنصرا شخصيا على العالم ، حيث انه يجبرنا على تصور أن العالم الخارجي لا يوجد في صورة محددة حتى نراقبه . ويبدو ذلك وكأننا لا نراقب العالم الخارجي ، بل نصنعه .

والكثير من العلماء مفسح يتجاهل هذا التسلسل اللانهائي ، على اساس انه مهما كان كبر مختبرهم ، فما يزال هناك الكون باسره كعالم خارجه يمكن أن يسبب انهيار محتويات المختبر الى حقيقة مؤكدة . ولكن الفلكيين ليس لديهم هذا الخيار . فمختبرهم هو الكون ذاته . وليس خارجه شيء يراقبه .

الحقيقة المتعددة

هذا هو المنطلق الذي يبدو ان تفسير العوالم المتعددة قد فرض نفسه عليها . وبلغة العلم الجاد ، في مقابل الخيال العلمي ، ترجع الفكرة الى عام ١٩٥٧ ، مع أعمال الأمريكي هوج افريت Haugh Everett وقد ادخلت عليها التحسينات منذ ذلك الحين . وكما ذكرنا من قبل ، فان فكرة الأكوان المتعددة قد ظهرت لكي تحل معضلة القطة بافتراض أن الكون منقسم الى نسختين ، يتعايشان متوازيين . وليس من يأس اذن في تطبيق الميكانيكا الكمية على الكون باسره ، طالما أننا مستعدون لتقبل فكرة الهيالية هذه ما ، بأن الكون ينقسم باستمرار الى نسخ لا حصر لها قريبة الشبه من بعضها البعض ، كل نسخة تقابل حالة من الحالات المحتملة للتفاعلات الكمية . وتفترض نظرية افريت نوعا من تعدد الحقائق ، يتعايش فيها عدد لانهائي من الأكوان . وربما ما فيها من غرابة ، فان الصياغة الرياضية لها تتفق تماما مع الميكانيكا الكمية في صورتها التقليدية . ويتمثل وجه الجدة فيها فقط في تفسير الكميات التي تظهر من المعادلة .

والحجة الواضحة ضد الفكرة أننا نعايش فقط وجها واحدا من الحقيقة ، في كون واحد . فاين الباقون ؟ وحتى نفهم الاجابة علينا ان ناخذ صورة أرحب لمفهوم الزمكان الذي عرضنا له في ثنايا هذا الكتاب . حين ينقسم الكون الى عدة نسخ ، فان كل نسخة لا تحتوي فقط على نسخ من الأشياء المادية ، بل على مكان وزمن ايضا ، بمعنى أن كل كون « جديد » يتولد ومعه فضاؤه وزمنه . والعوالم الأخرى ليست « هناك » بالمعنى الدارج ، فليس بالامكان الوصول اليها من عالمنا ، بل هي زمكانات تامة في حد ذاتها . ونحن حين نسأل عن مكان شيء ، نفترض عادة أنه على بعد وفي اتجاه ما منا . ولكن عوالم افريت ليست في كوننا بالمرة ، فهي ليست على بعد معين أو في اتجاه معين بالنسبة لنا .

وقد يكون من الصعب أن نتصور ذلك . ولكن الواقع هو أن عدم قدرتنا على التصور لعدة زمكانات لا يلغي احتمال وجودها من الوجهة المنطقية . فما زال بامكاننا أن نصفها رياضيا . على أن قدرا من التخيل

مفيد . وأحد الاحتمالات هو تخيل هذه العوالم منتشرة فوق بعضها كصفحات في كتاب . وفي هذا التجمع الثنائي الابعاد تمثل كل صفحة كونا متكاملا ، اي زمكانا وحيدة ، ويختلف شكل كل كون قليلا عما للخيارات الكمية المتاحة له . وبتحركنا من صفحة لأخرى ، مبتعدين عن الصفحة التي اخترناها مرجعا لنا ، نتراكم الفوارق .

واحيانا تصور الأكوان المتعددة كافرع الشجرة . « الجذع » يمثل كونا معينا ، هو الذي نشير اليه كنقطة مرجعية لنا ، والذي يتفرع لم يتفرع في احتمالاته الكمية المختلفة . ولنا ان نتصور شريحة افقية عبر كل هذه الافرع عند لحظة معينة ، تتقاطع خلال الجمع بأكمله من اكوان نمت جميعا من الكون الاصلي . وبوجه عام ، فالجذع ذاته هو فرع من شجرة أكبر تقدما ، تمتد للانهائية .

وحين سمع الناس لاول مرة عن النظرية اعترضوا بانهم لا يشاهدون مثل هذا الانقسام . ولكن الخصيصة الأساسية في النظرية ان المشاهدين البشريين ليسوا استثناء من عملية الانقسام . فهي تتم بالنسبة لهم ايضا . ففي مثال القطة التي ينقسم الكون فيها الى كونين ، يكون ذلك بكل شيء بما فيه المختبر والمراقبون . وفي كل نسخة ينظر المراقب ليرى مصير القطة ، فيراها أحدهم حية ويراها الآخر ميتة ، وكل مراقب يقع في الخطأ الشائع وهو ان الحقيقة تكمن فيما يراه هو .

الا ان هناك تعديلا آخر لفكرة الأكوان المتعددة ، تتمثل في استبعاد الانقسام . وتصور وجود نفس العدد دائما (في الواقع عدد لانهائي) من الحقائق المتوازية ، ولكن في كل لحظة يكون عدد من النسخ متطابقة بالضبط . ففي مثال القطة ، لنا ان نتخيل كونين موجودين قبل التجربة ، ولكن غير متمايزين بالمرة . وفي لحظة اجراء التجربة يتمايز الكونان بوجود القطة حية في أحدهما وميتة في الآخر .

ومن الطبيعي أن يثور التساؤل حول امكانية السفر عبر تلك الأكوان أو على الأقل الاتصال بها . والاجابة هي انه بالنسبة للمجرى العادي للأمور فان هذا غير ممكن . فليس لنا للأسف ان نلجأ لفكرة الحفائر النوازية لتفسير وجود الأشباح أو الكائنات غير البشرية أو الأجسام الفضائية الغامضة . فنظرية الاوتار مؤسسة على ان الأفرع المختلفة لكون ما (أو اكوان) هي صور تبادلية للحقيقة ، منفصلة فيزيائيا .

وهذا هام لكي نحل مفارقات القياسات الكمية ، ونحافظ الشعور بالانقسام .

ولكن ، كما وضحنا في امثلتنا للفرعين مرتا ، فان القياس كما نفهمه عادة هو ما يحدث حين نعي تغيرا على المستوى المرئي ، كنبضة لعداد جيجر او حركة في مؤشر (او حالة صحية لقطة) . ونسجل ادمغتنا هذه الحوادث بدرجة دقيقة لكون الأجهزة وعقولنا كيانات مرئية ، تتجاوب التغيرات على المستوى الكمي . ومن الممكن مع ذلك تصور كائن واع يعمل مراسه وذاكرته على المستوى الكمي . وفي الواقع ، فان علماء الحاسوب يعملون جادين على انتاج أجهزة على المستوى الجزيئي امعانا في تصغيرها اكثر من الشائع في الأجيال الحالية . وقد اقترح الفيزيائي البريطاني رائيد دويتش David Deutch تجربة مؤسسة على هذا التصور ، والتي فيها يبدو من الممكن اجراء اتصال فيما بين العوالم المتوازية .

وفي تجربة دويتش ، يطلب من عقل كمي (سواء اكان طبيعيا أم صناعيا) ان يجري تجربة كم تقليدية ذات خيارين . مثلا ، ان يراقب انحراف الكترون الى اليمين والى اليسار من هدف معين . وطبقا لنظرية العوالم المتوازية ، فان هناك كونا للالكترون المتجه لليسار .

والآن ، فحين لمراقب الكونين ينقسمان او يتمايزان ، فاننا نفعل ذلك بصورة غير قابلة للانعكاس . فنحن لا نستطيع ، على المستوى المرئي ، ان نتصور التطورات التي فيها يعود الكونان للاندماج ، او يصبحان متماثلين مرة أخرى . فمن الواضح ان حادثة كموت القطة هي غير منعكسة . أما على المستوى الذري فمن المتصور أن تكون الحوادث انعكاسية تماما . فمن السهل تصميم تجربة على المستوى الذري يتعرض جسيم فيها لتجربة ذات خيارين ، ولكن الحالة تعود من حيث البدأ للوضع الابتدائي .

وباختصار ، فانه على المستوى الذري يمكن للعوالم أن تنقسم وتندمج عن طريق التحكم المناسب . هذه الحالات النوعية لا يمكن لنا أن نراها معا ، لأنه بمجرد أن نحاول مشاهدتها لندخل عليها تأثيرا مرتبا لا انعكاسيا يؤدي لانقسام العوالم نهائيا . أما العقل الكمي الذي تصوره دويتش فيمكنه مشاهدة الأشياء دون أن يسبب هذا الانقسام الدائم . فهو يمكن أن يسجل الحقيقة النوعية ، بدون أن يحول دون عودة اندماجها بعد انقسامها المؤقت . وفي مرحلة الانقسام ، يمكن للعقل أن ينقسم الى

نسختين ، تندمجان بعد التجربة ، وتحمل كل نسخة ذاكرة مختلفة عن تصرف الالكترون قيد المشاهدة . فالعقل المندمج مجهز بذاكرتين ، ويمكنه ان يخبرنا عن الحوادث كيف كانت في كلا العالمين المحتملين . وبهذه الطريقة البسيطة ، يمكننا بالفعل الحصول على معلومات حول اكثر من وجه للحقيقة .

ولتعتمد تجربة دويتش على ذكاء على المستوى الكمي ، وعلى الرغم من ان هذه الافكار قد اخذت بجدية من بعض خبراء الذكاء الاصطناعي ، فما هو مجمع عليه انه سيمر وقت طويل قبل تحقيق شيء من هذا القبيل . وأثناء ذلك ، من المثير ان نسأل عن اية شواهد غير مباشرة لوجود الحقيقة المتعددة

المصادفات الكونية

على مدى السنوات الماضية ، كان الفيزيائيون والكونيون في تأثر بالغ لحقيقة ان الكون الذي نعايشه مبني على مجموعة من الصدف السعيدة . ويكفي ذكر عدد منها على بيان الفكرة .

واحد اهم هذه الصدف هو استقرار النواة . تذكر حديثنا عن اشعاع الفا ، والذي بدأنا به حديثنا عن عجائب الكم . فمكونات النواة مترابطة . كما قلنا ، بواسطة قوة نووية شديدة . فاستقرار النواة مبني على التوازن بين القوة الشديدة ، وقوة الاشعاع الكهرومغناطيسي ، وتأثير النفق الكمي . والعدد الناتج من هياكل النواة التي يمكنها أن تستقر تحت هذا التوازن قليل للغاية .

ويضرب لنا فريمان دايسون Freeman Dayson مثلا محددا ، فلو أن القوة الشديدة كانت اقوى بنسبة بسيطة ، لصنعت كل بروتونين في رابطة مستقرة ، بما يقاوم التنافر الكهربي بينهما ، دون حاجة لمساعدة من نيوترون او اكثر . ولو تم ذلك فان احد البروتونين كان سيتحلل الى نيوترون ، منشئا ديوترون ، وهي نواة الديوتوريوم ، وهو وقود نووي فعال . كان من شأنه أن يحرم الكون منذ عهد الانفجار العظيم من تكون البروتونات الحرة ، ومن ثم ذرة الهيدروجين التي تعتبر حجر البناء الأولي للكون كله . ولما تكون الكون وكانت الحياة على الصورة التي نعايشها الآن .

وبنفس الدرجة المرامية ، نجد نفس التداعيات لو أن القوة النووية كانت اقل بنسبة ضئيلة بالنسبة لقوة التنافر الكهربي ، حيث لم تكن الذرات لتتكون ، ونفس هذا التوازن الدقيق متحقق بين قوى الطبيعة .

فقد بين الكوني براندون كارتر Brendon Carter كيف ان تكون النجوم يعتمد على توازن دقيق بين الجاذبية وقوة الكهرومغناطيسية . فشمسنا نجم اصفر ذو حجم متوسط ، تتوقف الحياة على الأرض على طبيعته الاساسية . ولو أن تلك القوى كانت في تناسب مخالف قليلا لما هي عليه ، لما تكونت نجوم مثله ، بل لكانت اما عملاقة زرقاء او اقزاما بيضاء ، بحسب في اي جانب مال التوازن .

هذه « الصدف » الظاهرية ، وربما المزيد على شاكلتها ، قد اقنعت بعض العلماء أن هيكل الكون الذي نشاهده حساس بدرجة مثيرة للدهشة لادنى تغير في القيم الأساسية للطبيعة ، كما لو كان هذا النظام المتقن للكون نتيجة ضبط دقيق . أما ظهور الحياة على وجه الخصوص ، وما تلاها من مخلوقات عاقلة ، فهو نتاج ضبط غاية في الدقة ، لحساسيتها البالغة لظروف التي أوجدتها .

وتبدو للبعض هذه الصدف الاتفاقية في العالم الفيزيقي ، وكأنها تأزرت عمدا للسماح للانسان العاقل بالوجود ومراقبة الكون ، تأكيدا للايمان بوجود خالق مبدع . أما البعض الآخر ، فيلجئون لنظرية تعدد الاكوان كتفسير لوجود هذه الصدف الفلكية . فاذا ما وجد حقيقة مصفوفة لا نهائية من الاكوان ، كل كون يحقق اختلافا طفيفا للاحتمالات الكمية ، فالباب مفتوح اذن لاية صورة لكون مهما كانت درجة تميزه او حساسية تشكيله . وعلى ذلك فليس مستغربا أن يكون الكون الذي نعايشه على هذه الصورة من التوازنات الدقيقة ، حيث انه فقط في مثل هذا الكون (او الاكوان) والذي تنتهيا فيه الظروف الدقيقة لوجود الحياة العاقلة سيوجد مراقبون يتفكرون فيما يحدث .

واذا صح هذا الرأي ، فان النسبة الغالبة من الاكوان تكون غير مأهولة ، وتمضي بلا مراقبة ، فقط عدد متناه في الصغر ـ عدة صفحات من صغر الاكوان الضخم ـ ستتحقق فيه كل هذه المصادفات ، ومن ثم فعدد متناه في الصغر من كل هذه الاكوان قد تم الادراك به .

مثل هذا المنطق ، والذي يعرف بالمبدأ الانثروبولوجي anthropic principle ، قد عرضنا له باختصار في الفصل الثاني ، في معرض حديثنا عن قوانين الفيزياء بوجه عام . وهو قد يقدم دليلا عرضيا على وجود الأكوان المتعددة . ولكن الكثير من العلماء يميلون لافتراض وجود الخالق الأعظم . وإلى أن نتمكن من بناء العقل الكمي الفائق ، فان الصفحة الفلكية تعطي أفضل دليل على تصور الأكوان المتعددة .

والمزيد من الجدل حول الموضوع أمر غير مجد ، الى أن يتحقق الذكاء الكمي . وفي الأثناء ، ومتحصنين بفهم أعمق للعمليات (والغرائب) الكمية ، يمكننا أن نسبر لأغوار أعماق أسرار الفضاء والزمن كما يعرضها العلم الحديث .

هوامش الفصل السابع

(١) اللهم إلا اذا تغيرت درجة الحرارة مثلا .

(٢) حاز كل من بانفيدسون وولسون على جائزة نوبل عام ١٩٧٧ لاجراء هذه التجربة التي أثبت تنوع بولتمن في الموجات الثانية ، ولعلها اعظم تجارب القرن العشرين على الاطلاق – (المؤلف) .

الفصل الثامن

الشبكة الكونية

الاسطورة المادية مبنية على خرافة أن الكون الطبيعي ليس مكونا الا من أجسام من مادة خاملة تتدافع وتتصادم كمثل الآلات الميكانيكية منضبطة التصميم . وقد رأينا كيف أن الفيزياء الحديثة ، وبأكثر من طريقة ، قد وضعت حدا لهذا التصور . وقد سحبت الميكانيكا الكمية على وجه الخصوص البساط من تحت أي تصور ميكانيكي مبسط . وقد وجدنا كيف أن اللامحلية الكمية تمنع أي تصور للاستقلالية بين الكيانات، حتى بين الجسيمات المتباعدة تباعدا كبيرا . وحين تمتد ميكانيكا الكم لتشمل مفهوم المجال ، وهو فرع من العلم يسمى النظرية المجالية الكمية quantum field theory ، فهي تقدم لنا عالما من الأعاجيب ذا نشاط مهول . فالجسيمات التقديرية وتهيج الفراغ ، فحتى تماسك المادة الطبيعية قد تميع الى صورة من تهيج أنماط غير متجسدة للطاقة .

وتخلق النظرية المجالية الكمية صورة لكون تغطيه شبكة من التفاعلات المتبادلة تنسجه في كل متكامل . وكما قدمنا ، فقد تعرف العلماء على أربع قوى أساسية في الطبيعة : الكهرومغناطيسية والجاذبية والنووية الشديدة والنووية الضعيفة . ثلاث من تلك القوى يمكن وصفها بدقة بلغة نظرية المجالات الكمية ، كجزء من الشبكة الكونية . ولكن الجاذبية قاومت بعناد أن تنصهر في هذه البوتقة . ويعتبر هذا قصورا شديدا في وصفنا للطبيعة . وكما رأينا ، فالنسبية العامة تربط الجاذبية

يرتبط وثيق بهندسة الزمكان . ويوصفها هذا تمثل اساسا من أحد أساسيين راسخين للعلم الحديث . وتمثل النظرية الكمية الاساس الثاني، ولكن الحقيقة الحالية هي ان التزاوج بين النظريتين لا يزال امرا غير متحقق .

وليس من السهل التجاوز عن هذه الصعوبة . لان تناسق النظرية الكمية يتطلب ان تكون الطبيعة بأكملها خاضعة لقوانين الكم . واذا لم يتحقق ذلك . فانه يكون من المتصور اجراء تجربة في نطاق الجاذبية ، تخرق مبدأ عدم اليقين هنا . ولقد تزايد انشغال الفيزيقيين مؤخرا لفكرة انه عندما تأخذ الجاذبية وجها جديدا تماما . فلن يصبح من الممكن فقط ان نعطي وصفا كميا مناسبا . بل سوف يتحقق توحيد قوى الطبيعة الاربع في قوة فائقة موحدة . بما يؤدي لتحقق شبكة كونية حقيقية متناسقة .

فوتونات الضوء تقفي الطريق

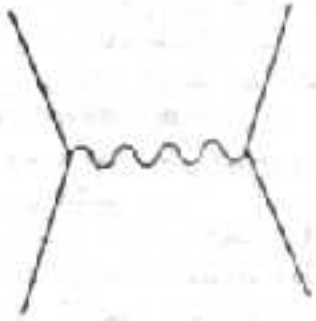
لالقاء الضوء على الصعوبات التي تواجه وضع نظرية كميه للجاذبية، سيساعدنا ان نراجع الحالة الابسط . حالة الكهرومغناطيسية . اول النماذج لنظرية كمية محالية . فالجسيم المشحون . كالالكترون مثلا . وهو اصل المجال الكهرومغناطيسي . يمكن النظر اليه كجسيم مشحون . محاط بمجال غير مرئي من الطاقة الكهرومغناطيسية . على شكل حالة منتشرة حوله في الفضاء . وحين يقترب الكترون آخر من الأول . فانه يحس بهذا المجال . ويتعرض لقوة طاردة . فكان الالكترون الأول قد أرسل رسالة تحذير للثاني : « انا هنا . فاحترس لشأنك » .

وتنتقل الرسالة خلال المجال على شكل اضطراب . يمارس تأثيرا ميكانيكيا على كل من مرسل الرسالة (الفعل) . والمرسل اليه (رد الفعل) . وبهذه الطريقة تتفاعل الجسيمات المشحونة كهربيا على بعضها البعض عبر الفضاء الخاوي . وطبعا . في التصوير الكلاسيكي للعملية . فان الرسالة المنتقلة بين الفعل ورد الفعل تحمل عن طريق اضطرابات في المجال الكهرومغناطيسي . ألا وهي الموجات الكهرومغناطيسية .

وتحتفظ النظرية الكمية بالفكرة الأساسية للمجال . ولكن التفاصيل تتغير تغيرا جذريا . فالاضطرابات الكهرومغناطيسية . كما رأينا . لا تبث ولا تمتص الا في وحدات أولية من الكم . وهي الفوتونات . وعلى ذلك فعلينا أن نتصور اضطرابات المجال الكهرومغناطيسية التي تنقل التفاعل على أنها تبادل للفوتونات .

هذه الفوتونات هي الواقع هي التي تنقل الرسالة بين الجسيمات المشحونة . وبدلا من تصور المجال الخاص بكل الكترون على انه يفيض باستمرار على مسار الالكترونات الأخرى . فاننا نتصور ان الالكترون الأول يرسل فوتونا ينتصه الثاني (الشكل ٢٧) . ويمكن تصوير ذلك الارسال قديمة . يرتد لها الأول للخلف . ويتحرف لها الثاني نتيجة التصادم بها . ويتم الاضطراب بصورة فجائية . فالمشاهد سوف يرى النتيجة النهائية . على صورة تشتت للالكترونين احدهما عن الآخر . وتسبيط ان الشحنات الكهربية لسبب التنافر .

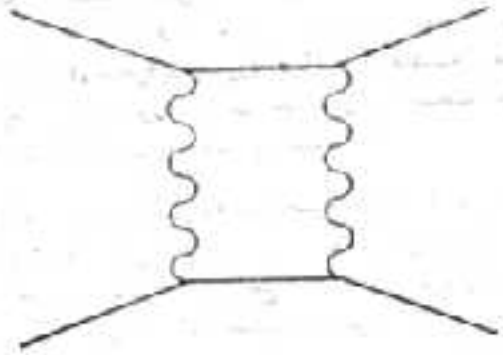
على الرغم من كون الصياغة الرياضية لهذه العملية التشبيهية تتضمن تغيرات فجائية . فهي لا يمكن أن تستخلص من تجربة . ولا يمكن مشاهدة مرور الفوتون مباشرة . ويرجع ذلك لحالة الابهام الأصلية التي تسير بها النظم تحت الذرية . كما تقتضيها النظرية الكمية . والتي تتمثل في مبدأ عدم اليقين . فالالكترونات لا يمكن أن تتخذ مسارات محددة في الفضاء . حتى التسلسل الزمني الذي يتم به بث وامتصاص الفوتون غير دقيق . فالفوتونات الوسيطة تكتسب صورة شبحية ذات مرور عابر . وتتميزها عن الأنواع ذاتية الوجود التي ألفناها أسميت بالتقديرية . وقد عرضنا للجسيمات التقديرية عامة في الفصل الخامس . حيث ناقشنا الرها على طبيعة الفراغ . وهي تلعب دورا في العالم الكمي .



(الشكل ٢٧) : تفاعل الالكترونات فيما بينها بتبادل الفوتونات التقديرية . فيمثل الفوتون (الخط الموج) كوسيط ينقل القوة بين الالكترونين ، وتكون النتيجة هي تشتتهما عن بعضهما البعض . (يسمى هذا التصوير « مخططات فاينمان ») .

ورغم أننا وصفنا عملية تشتت الالكترونات من مفهوم تبادل فوتون وحيد بين جسيمين مشحونين . فهناك امكانية تبادل فوتونين . أو اكثر

(الشكل ٣٨) . وقد تبين ان تبادل فوتونين له اثر اضعف على المسألة المغناطيسية بأكملها . وتبادل ثلاثة أشد ضعفا وهكذا .



الشكل (٣٨) : هناك امكانية ان يتفاعل الكترونان بتبادل اكثر من فوتون ، مما يترتب عليه تصحيحات في حسابات الشحنة للالكترونات .

ورغم أن تبادل الفوتونات على المستوى الفردي لا يمكن ملاحظته عمليا ، فان المعالجة الرياضية لهذه الافكار تعطينا توقعات صريحة يمكن ملاحظتها . كمتوسط قياس زاوية التشتت حينما يتصادم شعاعان من الالكترونات . وفي هذا الخصوص كان وصف القوة الكهرومغناطيسية على أساس تبادل الفوتونات نجاحا منقطع النظير . وقد أجريت الدراسة التفصيلية لهذا الموضوع في أواخر الاربعينيات ، وسميت الكهروديناميكية الكمية Quantum electrodynamics (QED)(١) . وتسمح لنا النظرية بتقدير تأثيرات دقيقة وخفية فعلا ، مثل التزحزح الخفيف في مستويات الطاقة للالكترونات الذي يتسبب عن وجود الفوتونات الوسيطة . وفي بعض هذه التأثيرات ، يجب الأخذ في الاعتبار تبادل أكثر من فوتون . وقد أجريت تجارب معقدة أكدت هذه التأثيرات بدقة مدهشة . وقد وصلت الدقة الى واحد في عشرة البلايين . وتوافقت تماما مع النظرية . هذا النجاح المذهل حول نظرية المجالات الكمية أن توصف بأنها من أنجح نظريات العلم .

شبكة من الوسطاء

ان ما نظنه فراغا ساكنا هو في الواقع خضم مزدحم بالوسطاء من الجسيمات التقديرية المتنقل بلا كلل . ودرجة نشاط هذا التزاحم تعتمد

على القوة محل الاعتبار . فالقوى القوية تكون مصدرا للنشاط محموم أما الواهنة فالنشاط المتولد عنها اقل . ولو لم تكن هذه الشبكة من التبادل بين الوسطاء . لا احس جسم من المادة بالآخر ، ولما تم أي تفاعل على الاطلاق . فلولاها لانطلق كل جسم مادي على رسله في الفضاء ، في مسار لا يعرف الحيود ، منعزلا في الكون بلا هدف أو غرض . لم يكن للاشياء المركبة أن توجد ، حيث لم يكن لتوحد قوى تربط بينها .

وقد مدت الفكرة وراء النظرية المجالية الكمية ، تبادل الجسيمات الوسيطة ، بنجاح للوصف الكمي للقوتين النووية القوية والضعيفة . فكل منهما له مجاله الخاص به . والذي يمكن وصفه عن طريق جسيمات وسيطة مشابهة للفوتون . فالجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة رغم توقعها نظريا من فترة طويلة لم يتم اكتشافها حتى ١٩٨٢ . ورمز لها بالحرفين W, Z . ولكن الامر مع القوة الشديدة اصعب نسبيا . فجسيمات النواة من بروتون ونيوترون قد علم الآن أنها جسيمات مركبة كل منها من ثلاثة جسيمات تسمى كواركات quarks -والكواركات مترابطة بقوة لا يتوصل اليها الا بتمانية جسيمات وسيطة عل الاقل ، أطلق عليها اسم جلونات gluon . والقوة التي تترابط بها البروتونات والنيوترونات داخل النواة هي صورة مخفضة من القوة التي تترابط بها الكواركات .

وكان الوصف المتماثل للقوى الثلاث عن طريق تبادل الجسيمات الوسيطة مشجعا على التفكير في النظر اليها نظرة توحيدية . وقد اقتنع العلماء الآن بأن القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة هما وجهان لقوة واحدة هي « القوة الكهروضعيفة electroweak force(٢) » . ومتابعة لهذا النجاح ، بدأ توحيد القوة النووية الشديدة مع القوة «الكهروضعيفة» أي « القوة الموحدة العظمى grand unified force » أمرا قريب الاحتمال . ورغم أن أدلة داعمة على وجود هذه القوة لم تظهر بعد ، فان نظريات عديدة قد ظهرت لتصهر هذه القوى الثلاث في بوتقة واحدة .

وبذلك تترائى الجاذبية منعزلة . فلضمها لهذا الخضم ، والوصول الى توحيد تام للقوى في قوة فائقة ، يجب أن تصاغ الجاذبية صياغة كمية . وكما ذكرنا من قبل ، فالنظرية الكمية ظهرت حين اكتشف أن الموجات الكهرومغناطيسية تنطلق على هيئة كمات محددة ، وهي الفوتونات . ومن ثم فمن المتصور أن تكون موجات الجاذبية على نفس الشاكلة . وقد سميت كماتها « جرافيتونات gravitons » . ولم تزل هذه الجسيمات افتراضية تماما . بل في الواقع ليس من المحتمل أن يرى أثرها في القريب العاجل بصورة مباشرة . ويجب على ذلك الاعتماد على النظريات لتبيان

خصائصها . وكما ذكرنا في الفصل السادس ، فموجات الجاذبية تنتقل بسرعة الضوء ، ولذا فمن المنطقي ان نتصور الجرافيتون ، كالفوتون ، ينطلق بسرعة الضوء . ولكن الى هنا وينقطع التشابه . ويكمن الفرق الجوهري في ضعف تفاعل الجرافيتون بالمادة . فشعاع منها له نفس الطاقة فقط والطول الموجي لشعاع من الليزر (والذي هو صورة من الضوء ، أي شعاع من الفوتونات) يخترق الارض بأكملها دون ان يعاني اضمحلالا يذكر . والفرق التالي هو انه رغم ان تفاعل الجرافيتون مع المادة هو هذه الدرجة من الوهن ، الا أن تفاعلها مع بعضها البعض قوي جدا ، أما الفوتونات ، وهي التي تتفاعل بقوة مع الأجسام المشحونة ، فتفاعلها المتبادل ضعيف . فالأشعة من الفوتونات تمر عبر بعضها البعض دون تغيير ، بينما تتشتت الجرافيتونات بعيدا عن أمثالها . وكتمثيل تصويري، يمكن تخيل الفوتونات عمياء بالنسبة لغيرها من جنسها ، بينما الجرافيتونات مبصرة لغيرها ، بما فيها الجرافيتونات الأخرى .

هذه الخصيصة من التفاعل المتبادل هي مكمن الصعوبة البالغة في وضع صياغة كمية للجاذبية . فمثلا ، هي الممكن ان يتبادل جرافيتونان ثالثا ، حتى وهما في تبادل مع جسيمات المادة ، ومن الواضح ما يجره هذا التبادل المتعدد من تعقيد رهيب ، أخذا في الاعتبار مبدأ عدم اليقين الكمي .

لعدم اليقين الكمي يسمح لجسيم وسيط بالوجود المحتمل ، وفي ميكانيكا الكم يأخذ عدم اليقين صياغة منضبطة . فطاقة الجسيمات المحتملة الوجود تتناسب مع زمن بقائها ، بمعنى أن الجسيمات الأعلى طاقة هي الأقصر عمرا وحاصل المزام فحاصل ضرب المقدارين أقل من الحد الذي وضعته النظرية .

وبسبب هذا اللايقين ، يمكننا تصور الالكترون كجسيم يحوم حوله سحابة من الفوتونات التقديرية مثل النحل حول خليتها ، وكل فوتون ما أن يبث حتى يمتص مرة أخرى . والفوتونات الأقرب للالكترون تكون ذات طاقة اعلى ، حيث انها لن تبتعد كثيرا عن مقرها ، تخيل اذن الالكترون محمولا في هذا الحشد من طاقات الكم سريعة الزوال ، عالية بالقرب منه ، ومتضائلة كلما ابتعدنا عنه . هذا الخضم المتاجج من الفوتونات الفائرة النشاط هي بالضبط المجال الكهربي للالكترون ، مصاغا بلغة الكم . فلذا ما دخل الكترون آخر المعمعة ، وامتص أحد فوتونات الكترون مجاور ، حدث التبادل وتولدت القوة بينهما على الوجه الذي ذكرناه آنفا .

أما اذا لم يرتجع الكترون أو جسيم مشحون آخر ، فان الفوتونات لا تجد أيا مآلا سوى موطنها الأصلي . ومن ثم يتفاعل الالكترون مع نفسه خلال سحابته الذاتية من الفوتونات (الشكل ٣٩) .

الشكل (٣٩) : يمكن للالكترون منفرد ان ينبع وينتص فوتونات تقديرية . وهذه العملية تترتب عليها مشاركة في طاقة ، ومن ثم كتلة ، الالكترون . وتشير الحسابات المباشرة الى ان تصحيح الكتلة نتيجة لذلك لا نهائية .

ويمكن حساب نشاط الفوتونات المحيطة بالالكترون . والاجابة ، مهما كانت اغاظتها لنا ، لا نهائية . والسبب في هذه النتيجة الجافية للمنطق ظاهريا ، مفهومة في الواقع تماما . فليس هناك حد نظري لمدى ما ترحله الفوتونات ، على صغر رحلتها . وبالتالي لا حد لما يمكن أن تبلغه من طاقات .

الاحتكاك باللامتناهي

يبدو من الوهلة الاولى ان النظرية برمتها غير معقولة . ولكن الأمر ليس كذلك . فبسبب أننا لا يمكننا أن نفصل الالكترونات عما يصاحبها من فوتونات (لا يمكننا «اطفاء» الشحنات الكهربية) ، فانه ما من طريقة لعزل هذه الطاقة اللانهائية تراقبها . فما نراه حقا في المختبر

وما ، تراه ، الجسيمات الأخرى في الكون ، هو الطاقة المشتركة بين الالكترون وأصدقائه من الفوتونات ، وهذه أساسا محدودة . أما الطاقة اللانهائية الذاتية للالكترون ، رغم أنها خصيصته مرجعه في النظرية ، فيمكن ببراعة التخلص منها بقسمة الطرفين على مقدار لا نهائي . ورغم أننا قد حذرنا خلال المرحلة الدراسية من القسمة على اللانهائية ، الا أنها اذا أجريت بحذر وتمكن رياضي فانها يمكن أن تؤدي لنتائج منطقية . ولاعطاء هذه الخطوة المشكوك فيها شكلا أكثر احتراما ، فقد أعطيت اسما طيب الجرس : « اعادة الاتساق ، أو اعادة الاستظام renormalization »

وعودة الى موضوع الجاذبية الكمية ، فالمسألة متشابهة ، ولكنها أسوأ . فاللانهائية تظهر مع كل عملية مجالية كمية تتضمن حلقة مغلقة ، ولأن الجرافيتونات يمكنها أن تتفاعل مع بعضها البعض ، فان الحلقات المغلقة ذات صفة أكثر شمولية ، حلقات متداخلة في حلقات مثل عجلات داخل عجلات . وعلينا أن نعترض أن كل جسيم محاط بعدد لانهائي من الحلقات المقدة ، وكل مستوى من الحلقات يضيف لانهائية جديدة للحسابات ، بحيث انه كلما توغلنا في الحساب تراكمت اللانهايات بلا نهاية .

في الكهروديناميكية الكمية ، كانت الحيلة الأساسية هي قسمة طرفي المعادلة على ما لا نهاية ، ونجحت الخطة لكونها يجب أن تجرى مرة واحدة ، أما في الجاذبية الكمية ، على النقيض ، فيجب أن تجرى العملية ما لا نهاية من المرات . والمتنزى العملي من ذلك أن كل عملية حساب تقريبا تجرى باستخدام نظرية الجاذبية الكمية بهذه الطريقة تؤدي الى عدد لا نهائي من الاجابات . والنظرية بذلك ليست لها قوة تنبئية ، حيث لا يتمكن المرء من الحصول على قيمة ذات معنى محدد من بين هذه النتائج .

ومشكلة اللانهايات معروفة منذ عقود من الزمان ، ومع ذلك فقد بذلت المحاولات منذ وقت قصير الى امكانية مواجهتها . وكانت الاشارة الأولى مستقاة ليس من معالجة الجاذبية ، بل من معالجة القوة الواهنة . فنظرية هذه القوة ظلت لسنوات مبتلاة باللانهايات ، وتوقفت قيمتها عند حد أكثر التفاعلات بساطة ، حتى اكتشف ستيفان فاينبرج Steven Weinberg وعبد السلام ، كل على انفراد ، طريقة لعلاج المشكلة ، وكان الأسلوب المتبع يعتمد على مفهوم « التناظر symmetry »

ولقد لعب التناظر دورا هاما منذ وقت طويل . فكثيرا ما يكون مرشدا في الطرق الوعرة . فلسبب لم يفهم بعد (ولكن قد تكون له علاقة بالمصادفات الكونية ، والتي جعلت كوننا مهيأ لاستضافة الحياة) ، فوانين الطبيعة للمبادئ التي تسمح بحرية الاستخدام بصور متعددة من المناظر . فعلى سبيل المثال ، فانه في حالة أكثر العمليات اساسية ، أي تغير القوانين الحاكمة للتفاعلات بين الجسيمات في ، كون معكوس ، يتبدل فيه اليمين لليسار أو العكس (أي متماثل للشيء وصورته في المرآة) ، كما أن هذه القوانين لن تتغير اذا ما تبدل الماضي للمستقبل والعكس بالعكس . وهناك استثناءات لهذه القواعد (أحد الاستثناءات يسمح بتكون بزيادة للمادة على المادة المضادة أثناء الانفجار العظيم بنسبة جسيم لكل بليون جسيم) ، ولكن بالنسبة للأعم الغالب في الحالات ، القوانين الفيزيائية متناظرة بالنسبة للانعكاس المكاني والزماني .

وأغلب صور التناظر المهمة بالنسبة للفيزيائيين لها طبيعة أكثر تجريدية ، ليست متعلقة فقط بالمكان والزمان . وليس صعبا تخيل صور من التناظر التجريدي ، فامامنا مثلا التناظر بين الرجل والمرأة ، وبين الشحنات الموجبة والسالبة ، والقطبين الشمالي والجنوبي للمغناطيس . فهناك تناظرات تجريدية تقدم روابط بسيطة بين كينونات تبدو مختلفة الطبيعة . وبتطبيق هذه التناظرات التجريدية على جسيمات العالم دون الذري ، أمكن التعرف على أنماط لها لم تكن واضحة للوهلة الأولى .

والمثال المبسط لذلك هو البروتون والنيوترون ، البنية الأساسية لنواة الذرة . فهما من النظرة السطحية ، جسيمان متمايزان . البروتون جسيم مشحون ، والنيوترون متعادل ، والثقل قليلا . على أنه في العديد من العمليات النووية يتصرف الجسيمان تصرفا متماثلا ، بحيث يمكن النظر للشحنة التي تميز أحدهما عن الآخر على أنها بطاقة هوية لا أكثر ولا أقل ، وليست خصيصة فيزيقية تميزه عن الآخر . ومن هذا المنطلق يمكن النظر لكلا الجسيمين كحالتين لجسيم أساسي . كما أن الرجل والمرأة حالتان لجنس واحد . وبالسير قدما في هذا الاتجاه جمعت الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية في أسر ، كل أسرة تمثل جسيما أساسيا ذا عدة صور .

وباستغلال بعض من التناظرات التجريدية في هيكل القوة الضعيفة أمكن لفاينبرج وعبد السلام توحيدها مع القوة الكهرومغناطيسية (والتي لها هيكل تناظري مقارب) وحل مشكلة اللانهايات فيها تماما . وقد اظهر

هذا الفتح المبين ان مفتاح حل مشاكل اللانهايات في نظرية المجالات الكميه يكمن في وضع اكبر كمية ممكنة من التناظرات . ثم البحث في توحيد المجالات الكميه التي تمثل لذلك .

وفي محاولة رائدة لحل مشاكل النهايات في الجاذبية الكمية ، انهمك الفيزيائيون في السبعينات في وضع برنامج لاستغلال اقوى تناظر تم اكتشافه في الطبيعة ، يعرف (ولا غرابة في ذلك) بالتناظر الفائق supersymmetry . هذا التناظر يكمن في فكرة « اللف Spin » . فجميع الجسيمات الأساسية في الطبيعة لها خاصية كم معينة في الدوران، تسمى اللف ، وتأتي دائما على صورة مضاعفات لقيمة أساسية .

ولأسباب تاريخية اتخذت هذه القيمة الأساسية مساوية للنصف . فالالكترون والنيوترينو مثلا لهما قيمة لف تساوي النصف . والفوتون له قيمة لف تساوي الواحد ، والجرافيتون له وحدتان . وليس يعرف في الطبيعة جسيم له لف يزيد عن اثنين . وتذهب النظرية الى استحالة ذلك .

وتتحدد الخواص الاساسية للجسيمات الوسيطة بكتلتها ومعامل اللف لها معا . وهو ما يميز الفروق بين القوى الاساسية الاربع في الطبيعة . فكتلة الجسيم الوسيط تحدد مدى القوة الخاصة به . كلما كبرت الكتلة صغر المدى . واذا ما كان معامل اللف عددا زوجيا (أو صفرا) ، فان القوة المصاحبة طبقا للنظرية تكون قوى جذب ، واذا كان المعامل عددا فرديا ، فالقوة تنافرية .

وتستخدم الطبيعة جسيمات وسيطة ذات لف واحد او اثنين ، وكتلة صفر ، وبدون كتلة ، يكون مدى الجسيم الكون بأكمله . فالفوتونات جسيمات ذات كتلة صفرية ، ولف واحد ، وهي بالفعل تمتد عبر الكون ، وهي مثل الشحنات المتماثلة ، تتنافر . وللجرافيتون كتلة صفرية ايضا ، ولف اثنين ، ومداه يشمل الكون ، كما انه جاذب دائما ، كما توقعت النظرية . ويبدو أنه لا توجد قوة تستخدم وسيطا ذا كتلة صفرية ولف صفر ، ولكن النظرية يمكنها التنبؤ بطبيعتها لو وجدت ، فهي ستكون قوة جذب كالجاذبية . ولكنها ابسط منها ، وليس بالضرورة أن تكون عامة بالنسبة لكافة الجسيمات في الطبيعة .

وتتصرف الجلوتونات بصورة اكثر تعقيدا ، ورغم أن الأنواع الثمانية منها لها جميعا لف واحد ، مثل الفوتون ، فهي بامكانها التفاعل مع

بعضها البعض ، وهو ما يجعلها حبيسة ويحدد من مداها . أما القوة الضعيفة فتحديد مداها يرجع للكتلة . فجسيمات W و Z اثقل من البروتون ثمانين مرة ، ومداها أقل من ١٠ ـ١٥ سنتيمتر .

وعلى الرغم من أن هذا الوصف قد يبدو معقدا حين يعبر عنه بالكلمات ، فان الطبيعة في الواقع تواجه تقييدا عجيبا في اختيارها للقوى الممكنة . وكلما اظهرت المعادلات حيارا ما ، فان الطبيعة تنزع للخيار الأكثر بساطة ، بمعنى أنه الخيار الذي يحسم التناظر .

وقبل ظهور التناظر الفائق ، عوملت الجسيمات المتسمية الى قيم مختلفة من اللف على أنها تنتمي لاسر مختلفة تماما . وعلى الأخص ، فكل الجسيمات التي معامل لفها عدد صحيح اتضح انها حاملة للقوى ، اى جسيمات لمجالات كم ، كالفوتونات والجرافيتونات . أما الجسيمات ذات معامل اللف الكسرى كالالكترون ، فهي ما كنا ننظر اليها عادة على انها جسيمات مادية ، حقيقية » . وللتمييز بين الطائفتين ، سميت الطائفة الاولى ، بوزونات bosons » ، والثانية « فرميونات fermions » . وليس هناك من تباين أوضح من ذلك ، ولا يوجد وجه للتناظر معروف بين خواص البوزونات والفرميونات . وجاء التناظر الفائق ليغير من كل ذلك. بتقديم وسيلة رياضية للربط بين جسيمات ذات لف مختلف في صف واحد . ومعنى ذلك انه يمكن البحث عن قوانين للفيزياء تتجاوز عائق اللف . وتوحد بين الجسيمات ذات اللف المختلف في اسرة علوية Superfamily بخواص متقاربة ، وعلى وجه الخصوص ، فهو يفترض تناظرا خفيا بين الجسيمات حاملة القوى والجسيمات المادية .

ويتطلب التناظر الفائق أن يكون لكل نوع من الجسيمات في عائلة مجال الكم (وليس كل جسيم) نظير ذو لف معاكس . وحيث انه ما من جسيم « وسيط » معروف يتوافق مع جسيم مادي معروف ، فان ذلك يتطلب وجود بعض جسيمات الكم لم تكتشف بعد ، ولم يتوقع وجودها أحد من قبل . ومن الممكن اعطاء تشبيه مقارب بين وجود عائلتين من جسيمات المادة ، المادة ونقيضها . وكان اكتشاف النقيض للالكترون (البوزيترون) مفتاحا لافتراض وجود نقيض للنيوترون ونقيض للبروتون، للحفاظ على التناظر . وفي التناظر الفائق ، فكل نوع من جسيمات المادة أو جسيمات المجال يجب أن يكون له نقيض بلف مختلف ، لم يكتشف بعد . وكان اكتشاف جسيم واحد من شأنه أن يوحي بوجود الأسرة « أو الأسر » باكملها ، مع فائدة اضافية تتمثل في أن الحسابات الرياضية

لخواص الجسيمات المفترضة تبين أن بعضا منها هي بالضبط ما يتطلب لوجود المادة السوداء في الكون . ولكن الى الآن ليس من دليل قاطع على وجود نظير فائق لأي جسيم معروف .

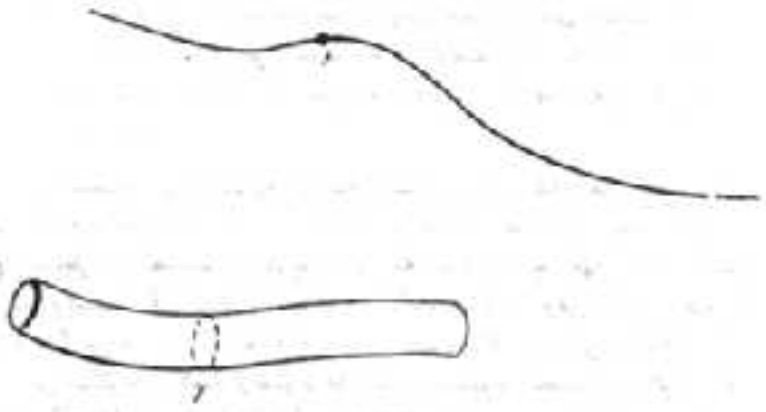
ولكن كيف سيحل ذلك مشكلة النهايات في جاذبية الكم ؟ ان الجرافيتون ، والذي افترض سابقا أنه الوحيد الذي يحمل قوة الجاذبية، يتطلب له من وجهة نظر التناظر الفائق وجود جسيمات حاملة للجاذبية تسمى « جرافيتينو gravitino » لكل جسيم لف مقداره واحد ونصف . ووجود الجرافيتينو سيكون له اثر بالغ على مشكلة النهايات . وبعبارة تضعافه ، فان حلقات الجرافيتينو تكون في صورة سالبة ، منتجة لا نهايات سالبة ، تعمل بسبب علاقة التناظر على الغاء النهايات الموجبة للجرافيتون . وحيث اننا ليس لنا بالمرة فهم عرى الجسيمين ، فان تاثيرهما يجب أن يؤخذ ككل لا بتجزيء . وهو ما يسمى عادة « الجاذبية الفائقة supergravity » .

ابعاد اخرى للفضاء

لفترة في أواخر السبعينيات وأوائل الثمانينيات ، بدا ان التناظر الفائق يمهد الطريق لنظرية متناسقة عن الجاذبية في مضمار ميكانيكا الكم . ولكن اكتشف بعد ذلك انه يفشل مع زيادة عدد اللانهايات . ولم تدم الفترة طويلا ، حيث ان أسلوبا جديدا بالمرة لحل المشكلة كان قيد البحث بالفعل : امكانية توحيد قوة الجاذبية مع قوى الطبيعة الأخرى في نظرية متناسقة رياضيا اذا ما اعترف بوجود أبعاد اضافية للكون .

وفكرة وجود أبعاد أكثر من ثلاثة للكون لها تاريخ طويل . فبعد طرح النظرية النسبية العامة بوقت طويل ، حين لم يكن معروفا سوى قوتين أساسيتين في الطبيعة ، الجاذبية والكهرومغناطيسية ، قدم رياضي المماني يدعى تيودور كالوزا Theodor Kaluza ، طريقة لوصف الكهرومغناطيسية بطريقة هندسية ، وبين أن المجال الكهرومغناطيس يمكن النظر اليه كالتواء في الفضاء . ولكن ليس الفضاء العادي ثلاثي الأبعاد الذي تدركه أحاسيسنا ، بل فضاء ذو بعد رابع ، لسبب ما لا ندركه . ولو صح ذلك ، فانه بامكاننا تصور الموجات الكهرومغناطيسية والضوئية كامتدادات في البعد الرابع للفضاء . ولو اننا أعدنا صياغة نظرية الجاذبية لأينشتين ذات الأبعاد الأربعة لتضم هذا البعد الرابع للفضاء ، لكون المجموع خمسا ، فانها ستضم كلا من الجاذبية ومعادلات ماكسويل لكهرومغناطيسية . وعلى ذلك ، فان الجاذبية والكهرومغناطيسية ، منظورا اليهما من البعد الرابع ، سيكونان أشبه بجاذبية ذات خمسة أبعاد .

ويتفق فيزيقي سويسري شاب هو اوسكار كلاين Oskar Klein ، ويبين لنا لا يمكننا ادراك البعد الرابع للفضاء . فقد ذهب الى ان البعد الرابع للفضاء ، مطوي ، بصورة ما فلا نشعر به . فبالضبط كما يتوجب لنا التحرك على البعد كخيط وحيد البعد ، رغم انها في الحقيقة اسطوانية الشكل ، كذلك فان الفضاء رباعي الأبعاد يمكن تصوره كانبوبه مطوي hypertube (الشكل ٤٠) . فما نعارفنا على اعتبارها نقاطا لا حجم لها ولا هيكل في الفضاء ثلاثي الأبعاد ، يمكن أن نتصورها كدوائر دقيقة في الفضاء رباعي الأبعاد . بل وقد قامت النظرية بحساب محيط تلك الدائرة ، مبنيا على القيمة المعروفة للوحدة الأساسية للشحنة الكهربية ، فكان أقل من بليون مرة قطر نواة الذرة ، ومن ثم فلا عجب في عدم احساسنا بالبعد الرابع .



الشكل (٤٠) : ما يبدو على البعد انه خط ذو بعد واحد يتبين بالتمحيص انه انبوب ذو بعدين . وكل نقطة على الخط هي في الواقع دائرة صغيرة تحيط بالانبوب . وبظن النظرية ، ما نحسبه نقطة في الفضاء قد يتضح انه دائرة صغيرة ، تحيط ، باليعد الرابع .

وحازت نظرية كالوزا ـ كلاين شيئا من الفضول العلمي لعدة عقود . ومع اكتشاف القوتين الضعيفة والشديدة ، انحسر الضوء عن نظرية توحد قوتين من قوى الطبيعة متجاهلة الأخريين . ثم عادت فكرة وجود أبعاد اضافية للكون للظهور في أوائل الثمانينات . وفي الصورة الجديدة من النظرية ، أعطيت كل قوى الطبيعة منشأ هندسيا . والسبب في أن العلماء استغرقوا كل هذا الوقت لاتخاذ هذه الخطوة المنطقية من تعميم نظرية كالوزا ـ كلاين هو أن القوة الكهرومغناطيسية لبساطتها لم

هذه اللانهايات نشأت من كون الجسيمات الوسيطة تتكدس كلما زادت طاقاتها اقرب وأقرب حول الجسيم المادى . ونشأ اللانهاية لأنه يوجد حد لمدى اقتراب الجسيم الوسيط من الجسيم المادى الترابط معه . ذلك لأن الجسيم المادى ينظر اليه تقليديا ـ كنقطة هندسية لا أبعاد لها . وتنتج اللانهاية من حاصل قسمة الطاقة على الحجم الصغرى لهذه النقطة الهندسية . فلو انه نظر لجسيم المادى كشيء ذى بعد معين ، فان المشكلة ستختفى فى الحال .

ونرجع محاولات معاملة الالكترون كذرة لا نقطة هندسية أقرب منى تقريبا . ولم تتقبل هذه الأفكار لعدم انسجامها مع النسبية . أما وجه الجدة فى الأفكار الحديثة فهى ان الجسيمات مدت فى الفضاء فى بعد واحد فقط . فهى ليست نقاطا هندسية ، ولا تكورات من المادة . بل أوتارا ذات قطر متناه فى الصغر .

وينظر لهذه الأوتار على انها اللبنات الأساسية للكون . حالة محل ذرة الجسيمات التقليدية ، ولكنها تتشابه مع الجسيمات فى مقدرتها على التحرك . ولكنها تحوز درجة من الحرية أوسع . اذ بامكانها بجانب الحركة ، أن تتلوى .

فى أوائل السبعينيات ، كان نجاح نماذج سلوك المواد النووية باستخدام مفهوم الأوتار محدودا . وقد بدا فى كثير من الأحوال ان الجسيمات النووية تسلك مثل الأوتار المتموجة . ولكن كانت هناك صعوبات أيضا . فقد بينت الحسابات أن تلك الأوتار تتحرك أسرع من سرعة الضوء ، وهو ما تحرمه النسبية . ولمدة بدت النظرية محتوما عليها الفشل . أما ما حفظ على النظرية بقاءها فكان احتوائها على التناظر الفائق . فـ « الأوتار الفائقة » كانت حسن السلوك بالفعل .

ثم برزت صعوبة أخرى . فالصياغة النظرية لهذه الأوتار حسنة السلوك بدا أنها تحتوى على جسيم ليس له محل فى الأسرة المعروفة من الجسيمات ، ذى لف قيمته اثنان ، وكتلة صفرية ، ومن ثم فله سرعة الضوء . ولم يكن مثل هذا الجسيم معروفا فى العمليات النووية . وبالاضافة لوصف الجسيمات والقوى المألوفة ، كانت نظرية الأوتار تحاول ان تصف شيئا غير متوقع بالمرة . لم يقصد المنظرون تضمنه فيها . ولكن الجسيم متعدم الكتلة ذا معامل اللف اثنين . رغم أنه لم يكن متوقعا فى هذا السياق ، معروف جيدا تحت اسم جرافيتون ،

تحتاج الا لبعد واحد اضافى لاحتوائها فى ذلك التصور ، بينما احتاجت كل من القوتين الاخريين لعدد من الأبعاد اكثر ، بسبب تعقدهما . فالاحتواء التام لخصائص القوى الأربع ، تحتاج لعشرة أبعاد فضائية بالاضافة للبعد الزمنى .

وتسبب هذا التزايد فى الأبعاد الكونية فى تصعيب مسألة تصورها . فمن الصعب ان نتصور لها شكلا من الطى ، لتبرير عدم ادراكنا لها . ولكن الطرق متعددة لتصور ذلك . فبعدان فضائيان مثلا يمكن تجميعهما فى كرة أو حلقة أسطوانية . ومع المزيد من الأبعاد تزداد الامكانيات ، وتزداد صعوبة التصور . وفى أحد النماذج الواعدة يأخذ عشر بعدا اضيف للزمكان ذى الأبعاد الأربعة المعتادة . سبعة أبعاد متجمعة فيما يقابل كرة سباعية الأبعاد . وكان هذا هو أكثر التشكيلات بساطة وتناظرا . وكانت الكرة سباعية الأبعاد محيطة لدى العلماء لبساطة خواصها الهندسية ، والتى كانت قد اكتشفت بواسطة علماء رياضيات منذ عقود ، لسنوات قبل ان يطرح علامة كيونة كهذه لعلم الفيزياء على بساط البحث .

واتضح أن الجاذبية الفائقة تتناسب مع هذا الفكر تماما ، فابسط صياغة رياضية لها تضمنت بالضبط أحد عشر بعدا . بمعنى ان التناظرات العديدة فى الأبعاد الأربعة اختصرت جميعها لتناظر طبيعى وحيد وبسيط فى رياضيات الأبعاد الأحد عشر . وعلى ذلك ، فلو أن المرء بدأ من النسبية العامة ووصفها للقوى كانحناء فى الزمكان ، أو بدأ من النظرية الكمية وتصويرها للقوى بمفهوم الجسيمات الوسيطة ، فسيجد أنه مقاد الى تناظر ذى أحد عشر بعدا .

ومع كل ما فى هذه الأفكار من وجاهة وإغراء ، فقد ظل شبح اللاتناسق الرياضى مخيما . وتمثلت احدى الصعوبات فى قضية اللف . فلكى تتضمن النظرية جسيمات ذات لف ، كان المفروض أن يكون عدد أبعاد الفضاء مع الزمن زوجيا ، لا فرديا كأحد عشر . وبينما العلماء يكدحون فى مواجهة هذه المعضلة ، برزت للضوء فكرة واعدة جديدة ، تتضمن المفهوم الضائع للتناظر الفائق ، والأبعاد المتعددة ، وشيئا آخر أيضا .

هل الانقاذ فى الأوتار ؟

ان مكمن الصعوبة فى أية محاولة لتوحيد قوى الطبيعة هو شبح اللانهايات الذى يهدد بتدمير القوة التنبئية لأية نظرية . ولنتذكر ان

وسرعان ما تطورت نظرية الأوتار الى نظرية جاذبية ، وحين مزج ذلك بافكار التناظر الفائق ، اقترحت كينونة جديدة ، هي الأوتار الفائقة .

واصبح واضحا على الفور أن الأوتار الفائقة لها خواص متميزة تعد بمحو كل اللانهايات المزعجة التي صاحبت نظريات الجسيمات التقليدية . فعند مقادير الطاقة الدنيا تتحول الأوتار كما لو كانت جسيمات عادية ، وتتقمص كافة الخصائص التي وصفتها النظريات التقليدية لعقود خلت . ومع ارتفاع قيم الطاقة بما يسمح بظهور تأثر القوى التجاذبية ، تبدأ الأوتار في التمدد ، وبالتالي تغير من السلوك عند الطاقات العالية بصورة جذرية وبطريقة تمحو أي تواجد للانهايات .

وفي احدى صياغات النظرية تتكون الأوتار (زمكان) من عشرة أبعاد ، وفي صياغة أخرى ، تطلب الأمر ستة وعشرين بعدا . وتضمنت نظرية الأبعاد العشرة التي بلا مشاكل . وكما في نظرية كالوزا ـ كلاين ، ليست الأبعاد الاضافية الى حجم عالية في الضآلة . ورغم أن هذه الأبعاد الاضافية غير قابلة للرؤية مباشرة ، الا أنه من الخرق أن يتصور المرء ان كان من الممكن الاحساس بأثرها بصورة أو بأخرى . وكما رأينا ، يربط علماء فيزياء الكم بين المسافة والطاقة ، فلكي نسبر غور المسافة لجزء من بليون بليون جزء من قطر نواة الذرة ، تحتاج الى طاقة أعلى من طاقة النواة بنفس النسبة . وليس من مكان يتصور أن يتواجد في طاقة بهذا المستوى الا في الانفجار العظيم ، والذي ـ لو صحت هذه الأفكار ـ تكون العمليات أثناءه منضمنة أبعادا متعددة بصفة أساسية . ومن الاحتمالات المثيرة أن تكون كافة أبعاد الفضاء في البداية على قدم المساواة ، وأن تاطس الكون البدائي ، من جسيمات أولية ، قد عايشت تلك الأبعاد المتعددة . وحين تطور بعد ذلك ، تلاشت من تلك الأبعاد اضمحلت سريعا خلال التضخم لتكون الكون الحالي . بينما توارت الأبعاد الأخرى عن الأنظار ، تعبر عن وجودها ليس كفضاء ، ولكن كخواص كامنة في الجسيمات والقوى . وتظل الجاذبية اذن القوة الوحيدة المصاحبة لهندسة الفضاء والزمن كما نتصور الآن تماما . ولكن كل القوى والجسيمات ، بتصريح العبارة ، كانت أصل متنامي .

ولا تتحرك الأوتار على استقلال ، بل يمكنها ان تتفاعل فيما بينها ، منسجمة في أن تتواصل أو تنقسم . وفي الواقع ، فان سلوك مجموعة من الأوتار أمر بالغ التعقيد ، وبالكاد بدأ ـ بصورة لم تزل مبهمة ـ فهم القواعد الحاكمة لانشطتها . ويمكن أن تكون الأوتار مفتوحة ، ممتدة

الطرفين ، أو حلقية ، وهي الواعدة بدرجة أكبر ، والتي تحوي أغلب التناظرات التي ظهرت (أو دخلت) في نظريات التوحيد العظمى (المسماة رياضيا بالاسم الكودي E_8) ، مضافا اليها الجاذبية الفائقة أيضا .

وفي الواقع ، فان التناظر الكامل في هذه الصورة من النظرية يحتوي في الحقيقة على نسختين ، في مجموعة يطلق عليها E_8XE_8 وقد اتجه بعض المنظرين الى افتراض أن هذا الازدواج يعني وجود كون مرادف لكوننا ، عالم ظلي مسكون بمادة شبيهة بمادتنا ، ولكنها لا تتفاعل مع مادة كوننا الا من خلال الجاذبية .

واما عن الشعور بذلك العالم الظلي الذي يتغلغل حولنا ، فانه من الممكن أن تخترق شخصا مخلوقا من مادته دون أن تحس بذلك ، ذلك لان الجاذبية المرتبطة بالأجساد البشرية ضعيفة للغاية . أما لو حفرت وعبر كوكب مجموعتنا الشمسية ، فهو قادر على دفع الكرة الأرضية بعيدا عن مدارها ، ولو لم شيء من ذلك لسيكون أمرا عجبا ، حيث ان المسبب لذلك لن يكون مرئيا ، كما لو كانت الأرض قد وقعت في قبضة وحشية خفية تدفعها دفعا .

وفيما وراء المجموعة الشمسية يمكن تصور مجرات ظلية ، بل وثقوب سوداء ظلية . ولما كانت الثقوب السوداء كينونات جاذبية صرفة ، فانها لن تكون متميزة عن ثقوب كوننا السوداء ، ومع ذلك ، فلو كان هناك عالم ظلي يحوم حولنا ، فانه سوف يساعد على الكشف عن وجود المادة السوداء . ولكن هذه الافتراضات المتطرفة هي على هامش نظرية الأوتار الفائقة . فاهمية النظرية لدى الفيزياليين ليست في تفسير المادة السوداء ، بقدر ما هي في تفسير توحيد القوى .

حين تتوحد القوى

ما زال الوقت مبكرا لمعرفة ما اذا كانت نظرية الأوتار الفائقة (٣) بمقدورها أن تعيد صياغة الفيزياء كما نعرفها ، وفي نفس الوقت تتلاشى اللانهايات التي تصيب نظريات التوحيد الأخرى . ولكن الظواهر الى الآن مبشرة ، حتى لو كان من المحتمل أن بعضا من تنبؤاتها الفريدة حرية بان تسقط خلال اقامة النظرية على قواعد أرسخ ، ومهما كانت صورة حل المسألة ، فانه حتى النظريات القائمة تفسح مجالا لأبنية أخرى من عوالم الكون الكمي ، بما في ذلك تصرفات الجسيمات الوسيطة في الشبكة الكونية .

وتتضمن نظريات التوحيد الكبرى اندماج القوى المختلفة في هوية واحدة . كما انها تتضمن توحيد الصور المختلفة من المادة في هوية واحدة . والجسيمات المعتادة تقع في مجموعتين ، الالكترونات والكواركات . والتمييز الجوهري بينهما هو أن الكواركات فقط هي التي تستجيب لقوة النووية الشديدة المحمولة بواسطة الجلوونات ، بينما تعمل القوة الكهروضعيفة على النوعين . ولكن القوة الموحدة العظمى تفشل ، بحكم طبيعتها ، في التمييز بين الكواركات واللبتونات ، حيث ان ذلك يتطلب خواص من كلتا القوتين .

وتفترض الحسابات أن القوة الموحدة العظمى محمولة بواسطة جسيم وسيط أعطى اسما كوديا X ، يملك كتلة هائلة ، تعطيا جزء من مليون جزء من الجرام ، وهي هائلة لانها أثقل من البروتون بمليون بليون (١٠١٥) مرة . وبفضل عدم اليقين الكم ، فان هذا الجسيم لا يظل الا لفترة جد وجيزة (تذكر أن فترة البقاء للجسيم التقديري تقل مع زيادة كتلته) ، ومن ثم فانه مدى جد محدود . وعلى ذلك ، فهذا الجسيم الشبحي يمكنه الظهور الفجائي ، حتى بداخل البروتون ، ولكن لا يظل الا لفترة $١٠^{-٣٥}$ ثانية تقريبا ، وبذا لا ينتقل الا لمسافة $١٠^{-٢٥}$ من السنتيمتر ، وأي جزء من تريليون جزء من قطر البروتون ، قبل أن يعيد الطاقة التي اقترضها من الفراغ التقديري . ولما كان البروتون يحتوي على ثلاثة كواركات ، فانه من غير المتصور أن يتلاقى أي منها مع الآخر في تلك الفترة الوجيزة . الا ان الاحتمال الغاية في الضآلة ، بأن يقترب كواركان لتلك المسافة الضئيلة ، ليس مستبعدا ، حتى وان كان احتمالا يماثل صدام نحلتين في حظيرة طائرات .

ولتقريب هذا المثال من الدقة ، نقول انها فرصة تصادم نحلتين من ثلاث نحلات في حظيرة طولها عشرة ملايين كيلو متر ، وحين يتحقق ذلك اللقاء البعيد الاحتمال ، فانه يمكن تبادل جسيم X بينهما ، وهي عملية ذات أثر له خطر عظيم . فالكواركان المتفاعلان معا سيتحولان الى كواركين مضادين ، بالاضافة الى بوزيترون .

وحين يتم ذلك التحول داخل البروتون ، فان البوزيترون يلفظ ، بينما يتحول الكوارك الثالث ، مع الكواركين المتضادين ، الى جسيم يعرف بـ « بيون poin » ، وبعد جزء من ثانية ، يتحلل البيون ذاته الى البروتونات بالطريقة المذكورة . فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات معنى ذلك هو ان المادة بأسرها غير مستقرة ، ولن تدوم للابد . فنظريات

التوحيد العظمى كما تقدم آلية ظهور المادة ، تقدم أيضا بدور فنائها . وكل بروتون في الكون سيد وله متزاوجا مع الكترون ، وحين تتحلل البروتونات بالطريقة المذكورة ، فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات جميع امرا حتميا ، فيتفانيان ، وهو ما يبدو بقاء تام للمادة (!) . ولكن لا مفرع دون داع ، فالنظرية لم تتأكد نهائيا بعد ، وحتى لو تم ذلك ، فاحتمال انحلال البروتون يتطلب فترة لا تقل عن $١٠^{٣٢}$ سنة .

كيف يمكن مشاهدة عملية بهذا القدر من ندرة الاحتمال عمليا ؟ الطريقة الوحيدة ، كما ذكرنا في الفصل السابع عن انحلال ألما ، هو مراقبة عدد كبير جدا من البروتونات لفترة طويلة . فمراقبة ٢٢٠٠ بروتونا يؤدي لاحتمال انحلال واحد منها خلال سنة . وقد أعلن فريق بحث هندي في أوائل الثمانينيات ، أثناء مراقبة مائة طن من الحديد بكاشفات غاية في الدقة عن اكتشاف حدث من هذا القبيل ، ولكن غالب الظن انهم كانوا مخطئين .

وعلى الرغم من عدم ملاحظة انحلال البروتون بصورة مباشرة ، فان اغلب الفيزيائيين يعتقدون أن قوى الطبيعة لها بالفعل أصل مشترك على مستوى ملائم من العمق ، وقد تركزت كل المجهودات في العشرين عاما الماضية في اتجاه التوحيد ، وايجاد روابط ما بين الخصائص المختلفة للحقيقة . فهناك احساس متعاظم بأن الكون الفيزيائي يحتوي على رابطة لا تضم فحسب الجسيمات المتشابهة في اماكن مختلفة ، ولكن أيضا الجسيمات والقوى المختلفة . وفي النهاية ، يمكن للمرء أن يتوقع أن الجسيمات المختلفة ، ومجالات القوى ، والفضاء ، والزمن ، وأصل الكون ، هي عناصر من كل ، منضمين في نظام رياضي . ويرى بعض المتفائلين ، من أمثال ستيفن هوكنج ، أن الهدف على مرمى البصر . ولو كان الأمر كذلك ، فان تحويل الساعة النيوتونية المضبوطة الى شبكة كونية لم يتطلب الا مجرد ثلاثة قرون ، ولكن اذا بدت المهمة يسيرة ، فانه بامكاننا أخذ فكرة عن أثر الالتواء النهائي للزمن والفضاء من أحد أعاجيب الكون ، الثقوب السوداء .

هوامش الفصل الثامن

(١) حاز كل من فايمان وتوماناجا وشفينجر على جائزة نوبل عام ١٩٦٩ على وضع هذه النظرية ـ (المترجم) .

(٢) حاز عن اكتشاف هذه القوة كل من جلاشو ، عبد السلام ، وايتبرج على جائزة نوبل عام ١٩٧٩ ـ (المترجم) .

(٣) للمزيد عن نظرية الاوتار الفائقة ، يقترح كتاب « ما بعد اينشتين » ، ترجمة الدكتور فايز فوق العادة ، الناشر « الاكاديميا » ـ (المترجم) .

(٤) الفيبونون ايضا حسبما تقول نظرية الاوتار الفائقة ، اذا وجد حقا ، له بعض اخ توائم والكترون .

الفصل التاسع

ما وراء المستقبل اللامتناهي

لدى اغلب الناس خوف فطري من الاماكن المتسعة ، وهو شعور بدائي يرجع غالبا لعصر الأجداد الذين افزعتهم فكرة الفضاء اللانهائي ، ففضلوا الاعتقاد في كون محتوى في طبقات متحدة المركز ، حتى فكرة الفراغ بين الذرات اثارت قدرا من عدم الارتياح ، فكثير من الفلاسفة الاغريق الفعلوا بعنف ضد فكرة القائلين بقدرات تتكون منها المادة وتحوم في الفراغ ، وقد اتخذ هذا الاحساس شعارا له في المقولة : « ان الطبيعة تمقت الفراغ » ، وحتى ديكارت أعلن : « الفراغ بغيض للمنطق » ، بل وحتى مطلع القرن العشرين لم تعدم عالما ذا شأن مثل ماخ يقف ضد فكرة الذرة لحساب فكرة المادة المتصلة بلا تجزئة ، ويبدو ان الفزع من الفراغ ينبع جوفا متاصلا في النفس البشرية ، فلا عجب اذن ان يملأ الناس احساس بالوجل المشوب بالرهبة لما اثير في الآونة الاخيرة من امكانية ابتلاع الفراغ لهم .

ويعتبر كتاب جون تايلور John Taylor « الثقوب السوداء » المنشور عام ١٩٧٢ من اكثر الكتب العلمية انتشارا على الاطلاق ، وعلى الرغم من ان فكرة وجود ثقوب سوداء في الفضاء كانت تتشكل في أذهان العلماء لبرهة من الزمن ، الا أنها لم تأخذ هذا الاسم المثير الا في أواخر الستينيات ، ولم تحز اهتمام العامة الا في السبعينيات ، وقد سوغت الخصائص الغامضة والرهيبة لتلك الكينونات لها اهتماما فوريا وضمن لها مكانا راسخا في مفردات اللغة ، فمن المألوف في أيامنا هذه ان نقرأ عن ثقب اسود في مركز مجرة منهمك في التهام ما حوله من مكونات الكون ، ولكنها منذ ربع قرن لم تكن سوى افتراض مبهم .

وتتكون الثقوب السوداء حين تنشط قوة الجاذبية ، اوهى قوى الطبيعة ، لتتسيد الموقف • ويسمح لهذه القوة أن تتزايد بلا حد الى درجة انها تمارس تأثيرها الجاذبى على مدى الكون على رحابته • فبقية القوى محدودة : فالقوتان النوويتان مقصـــورتان على البعد النووى ، والقوة الكهرومغناطيسية تدور بين الجذب والتنافر بما يجعل تأثيرها يلغى بعضه بعضا • لكى استمر فى زيادة المادة لجرم ما ، وستجد أن تأثيره يتزايد بلا حد •

ولا تعتمد الجاذبية لجسم ما عند سطحه على كتلته فقط ، بل أيضا على حجمه • فمثلا ، لو أن الارض ضغطت لنصف قطرها الحالى ، لكان وزن كل منا أربعة امثاله الآن • ذلك لأن الجاذبية تتبع قانون التربيع العكسى ، فتزداد مع نقص المسافة ، وزيادة الجاذبية تجعل مسألة الفرار من الأرض اصعب • فمع حجم الأرض الحالى تصل السرعة المطلوبة للانطلاق فى الفضاء والتحرر من جاذبيتها أحد عشر كيلو مترا فى الثانية الواحدة ، وهو ما يطلق عليه « سرعة الافلات » • وتصل هذه السرعة للارض المنضغطة لنصف حجمها أكبر من السرعة الحالية بما يقارب واحدا واربعين فى المائة •

اعتقال الضـــوء

لو أن الأرض استمرت فى تقلصها مع الحفاظ على كتلتها ، فسوف تتزايد الجاذبية عند السطح ومعها سرعة الافلات بلا حد ، وحين تصل الأرض لحجم حبة فاصوليا ، تصـل سرعة الافلات لسرعة الضوء • هذا الحجم يعتبر حجما حرجا ، فهو يعنى أن جسما كهذا لا يمكن أن يصدر ضوءا ، ومن الوجهة الواقعية تختفى الأرض ، وتصبح من وجهة نظر المشاهد لها ، سـوداء تماما • والغريب أن فكرة وجود جسم فلكى ذى جاذبية تحبس الضوء ، قد اثارها منذ قرنين الفلكى والفيلســوف البريطانى جون ميشيل John Michel ، ثم اعادها للأذهان بعد ذلك بقليل الفرنسى بيير لابلاس Pierre Laplace .

وليس من خطورة أن تتقلص الأرض بهذه الطريقة ، فهى آمنة من حيث جاذبيتها بصلابة مادتها • أما بالنسبة للأجرام الأكبر حجما ، فالأمر مختلف • فالنجوم مثل الشمس متهمكة فى معركة لا يهدأ اوارها مع الجاذبية ، ولا يمنع انهيار هذه الكرات الغازية تحت تأثير وزنها الا ما يتولد بداخلها من ضغط هائل • فقلب النجم يصل للاين من درجات الحرارة ، وهذه الحرارة تنتج ضغطا يكفى لحمل الوزن الهائل للطبقات المتتالية من

الغاز • ولكن الأمور لا يمكن أن تجرى على هذه الوتيرة للابد • فالحرارة تتولد من التفاعل النووى ، والمصير النهائى للنجوم من الوقود النووى بداخل الشـموس هو النفاد • وعندئذ يقع النجم تحت رحمة الجاذبية •

وما يحدث بعد ذلك يعتمد بصفة أساسية على وزن النجم • فنجم كالشمس سينتهى به الأمر الى التقلص لحجم يساوى حجم الأرض ، متحولا الى ما يطلق عليه الفلكيون القزم الأبيض • ومثل هذه النجوم معروفة منذ أمد بعيد • فرفيق الشعرى اليمانية هو قزم أبيض يدور حوله • وبسبب الانضاج ، فالجاذبية السطحية للقزم الأبيض هائلة • فملء ملعقة من مادته المندمجة تساوى حمولة سيارة نقل على الأرض ، ولكن وزنها يصل لعشرة ملايين طن تحت تأثير جاذبيتها المهولة • والاقزام البيضاء لا تنضغط بدرجة أكبر بفضل تأثير ميكانيكا الكم ، فالالكترونات فيها لا تتقارب بدرجة أكبر بسبب تأثير على شاكلة النـافر الذى يحـــددها داخل الذرة فى مستويات طاقة معينة ، وهو الذى يمنع الذرة من الانهيار • وهذا مثال درامى للتأثيرات الكمية تمارس دورها •

ويعود تفهم قدرة تأثيرات الكم على وضع نجم فى حالة توازن الى الثلاثينيات • ففى ذلك الوقت ، كان طالب هنـدى يدعى سوبرامانيان شاندراسيخارSubramanian Chandrasekhar مبحرا على متن سفينة متجها الى انجلترا للعمل مع الفلكى البريطانى ذائع الصيت سير آرثر ادنجتون Sir Arthur Eddington ، وخلال رحلته الطويلة أجرى بعض الحسابات. وتبين منها ان نجما له كتلة أكبر من الشمس بنسبة ٥٠٪ تقريبا ، لن تجدى الالكترونات تحت تأثير الكم فى التذكور فى حمايته من المزيد من الانضغاط (١) • وقد عرض حساباته على ادنجتون الذى رفض تصديقها ، ولكن الطالب كان على حق ، فالنجوم بعد كتلة معينة لا يمكن أن تستقر عند أقزام بيضاء •

والانضغاط الأكثر فى النجوم التى كتلتها تسبب جاذبية تتغلب على تأثير الكم المدعم للالكترونات يسبب تغييرا فى بنية الأنوية الذرية التى تتركز فيها أغلب الكتلة • فالذرة المنـضغطة تعانى من شىء أشبه بانحلال بيتا معكوسا ، تنضغط فيه الالكترونات والبروتونات لتتحول الى نيوترونات • وتقوم النيوترونات تحت تأثير الكم السابق بنفس دور الالكترونات فى الأقزام البيضاء ، وتحت قدر معين من الكتلة يستقر النجم بعد انضغاطه عندما يعرف باســم النجم النيوترونى (راجع الفصـل

السادس) . وينقلص حجمه تبعا لقدر معينة . بينما كتلته أكثر من كتلة الشمس . وسرعة الافلات للنجم النيوترونى هى نسبة من سرعة الضوء . ومعنا علما أن نجوما تقترب من النجوم السوداء التى قال بها ميشيل ولابلاس موجودة بالفعل .

فماذا عن النجوم الأكثر كتلة من النجوم النيوترونية ؟ ان الفلكيين غير متأكدين من الحد الذى بعده يحدث مزيد من الانضغاط عن النجوم النيوترونية . بل ومنهم من يقترح مرحلة تالية من استقرار النجوم ، تستقر فيها المادة عند مرحلة الكواركات . ولكن حدا عاما يمكن استنباطه من النسبية العامة .

فلدعم نجم ذى كتلة معينة . فان قطره يجب ان يكون على درجة معينة من الضآلة . وكلما زاد النجم وزنا ، زادت الضآلة المطلوبة لمادة قلبه . وتمتد الضآلة بدورها على سرعة انتقال الصوت بداخل المادة ، فتزداد مع زيادة الضآلة . فاذا ما بلغ النجم للآلة لمثال وزن الشمس ، وصلت الضآلة المطلوبة لابقائه لما يقابل سرعة انتقال للصوت اسرع من الضوء ، وهو محال من وجهة نظر النسبية . وليس امام النجم الا ان يواجه انهيارا تاما بفعل الجاذبية .

ولو كان لنجم أن يواصل الانهيار بعد مرحلة النجم النيوترونى ، فان انضغاطه يتم فى أجزاء من الالف من الثانية ، الى هذه الدرجة تكون قوة جاذبيته ، وتجاوز سطح النجم سريعا الحد الذى يحبس الضوء ، ولذا فان مشاهدة على البعد لن يستطيع رؤيته بعد وصوله هذه المرحلة . ورغم أن ميتشيل ولابلاس كانا محقين فى امكانية تواجد نجوم سوداء ، فانهما كانا مخطئين فى تصورهما امكانية أن يكون النجم مستقرا عند هذه المرحلة . فنحن نعلم الآن ان نجما كهذا لن يستقر على حاله حتى يصل لمرحلة حبس الضوء ، بل سيواصل انكماشه الى أن يتلاشى تماما من الوجود ، مخلفا وراءه ثقبا يحمل بصمة من جاذبية مهولة لما كان نجما يوما ما ، تتمثل فى التواء عنيف فى كل من الزمن والفضاء . وعلى ذلك ، فان منطقة الانهيار التجاذبى الكامل تظهر سوداء وفارغة مما ، اى ثقب أسود .

تهاوى النجوم

هذا عن النظرية ، فماذا عن الواقع ؟ ان لدى الفلكيين شواهد مباشرة على وجود الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية . أما الشواهد على وجود الثقوب السوداء فمثيرة للمصاعب . ان تحت أيدينا تصورا مقنعا لكيفية

تشكلها ، فالأمر ليس موجزا فى انهيار تام وشامل للنجم . بل هو أكثر من ذلك تعقيدا . فالتفاعل النووى الذى يبقى على النجم حارا يتم فى اعماقه . وحين ينفد الوقود بالتفاعل ، تتضاءل قدرة النجم على انتاج ضغط يقاوم الوزن الهائل لطبقاته المتتالية ، فينقلص قلبه تحت تأثير الجاذبية . ويمكن ان تؤدى الظروف لان يكون ذلك التقلص فجائيا . وحين ينهار النجم على نفسه بهذه الطريقة ، فانه يطلق نفثة من الطاقة ، جزء منها على صورة موجة تصادمية ، ولكن أيضا على صورة دفقة مهولة من جسيمات النيوترينو (وهى أيضا من الناتج الثانوى للعمليات النووية التى تجرى داخل قلب النجم) .

وتحت الظروف المتعادة ، ليس لجسيمات النيوترينو تأثير يذكر على المادة . تتفاعلها منها من الضعف بحيث يمكنه اختراقها مباشرة . ولكن التركيز الهائل للمادة المواجهة لانتشار جسيمات النيوترينو الصاحبة للموجة التصادمية يعوقها بدرجة كبيرة ، فيتسبب ذلك فى ضغط منها على طبقات النجم الخارجية يؤدى الى انفجارها وتشتتها للخارج فى الوقت الذى ينهار فيه القلب للداخل . والانهيار والانفجار المتلازمان يحرقان الذى الفلكيين بانفجار المستعر الأعظم ، أو السوبر نوفا .

وانفجار المستعرات العظمى من أكثر الأحداث الفلكية اثارة . فلمدة أيام ، يسائل الضوء القادم من النجم ما يصل من مجرة كاملة ، اذ ان الطاقة المنبعثة من الانفجار تكون على صورة ضوء وصور أخرى من الاشعاع . ومثل هذا الانفجار فى مجرتنا يرى بالعين المجردة . ومن حوادثها الشهيرة حادثة « النجم الزائر » فى كوكبة الثور ، والتى سجلتها الصينيون عام ١٠٥٤ . واليوم ، تظهر التلسكوبات سحابة متشتتة تعرف باسم سديم السرطان فى موضع الانفجار ، وهى البقايا المتخلفة عن موته الذى شوهد من ألف عام تقريبا .

وتشهد المجرة المتوسطة من انفجاره الى ثلاثة كل قرن ، رغم أنه لم يشاهد فى مجرتنا حادثة كهذه منذ اختراع التلسكوب . على أنه عام ١٩٨٧ شوهد انفجار مستعر أعظم فى سحابة ماجلان الكبرى ، وهى مجرة صغيرة تابعة لمجرتنا درب التبانة ، تشاهد فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية . وقد قدم الحادث للعلماء فرصة ذهبية لاختبار آرائهم عن هذه الانفجارات . وقد وضع النجم المنكوب تحت ملاحظة دقيقة منذ اليوم

الأول للواقعة . واهم ما في الأمر هو ان الحادثة شوهدت عيانا في يوم انفجاره الأول ، اذ سجلت دفقات من جسيمات النيوترينو في ثلاثة مواضع من الأرض في نفس الوقت . كانت تجرى فيها تجارب لاكتشاف انحلال البروتون . وبات من المؤكد انها قادمة من قلب نجم ، وشكل وصولها مع الضوء المنبعث منه حال انفجاره دليلا مبشرا بسلامة افكارنا الأساسية عن انفجارات المستعرات العظمى .

ولكن ماذا عن مصير القلب المنهار الذى قدح زناد هذا الانفجار ؟ ان مراقبة سديم السرطان قد كشفت عن نجم نابض في منتصفه . ومن الواضح ان هذا النجم المنتحر بالذات قد آل الى نجم نيوتروني ، ولكن لم يكن من مانع لدى الفلكيين من ان يتحول الى ثقب أسود . بل انهم ليعتقدون ان قدرا لا يأس به من انفجارات المستعرات العظمى قد آلت بالفعل لنفس المصير .

ولو ان مستعرا اعظم آل الى ثقب اسود ، فليس من المحتمل الكشف عنه من الأرض . فهو أولا واخيرا ثقب اسود . ولكن كثيرا من النجوم تتزاوج في نظام ثنائي . ولو آل احدهما لثقب اسود فسيبدو الآخر وكأنه يدور حول لا شيء . وفي كثير من الأحيان يجذب الثقب الأسود من مادة زميله ، ثم يبتلعها .

وبينما هذه الذرات تشق طريقها الى داخل الثقب ، تتولد حرارة عظيمة ، مما يسبب انبعاث اشعاعات كثيفة من اشعة اكس . وعلى ذلك ، فان علامة طيبة لوجود ثقب أسود أن يلاحظ نظام ثنائي ، احد اطرافه غير مرئي ، ويكون مصدرا قويا لاشعة اكس . وفي نظام كهذا (يعرف باسم الدجاجة س-١ Cygnus X-1) امكن بمراقبة حركة الجسم المرئي تقدير كتلة الجسم الخفي . والتاكد من انه بالفعل قد تجاوز حد النجوم النيوترونية .

وليست انهيارات النجوم هي الوسيلة الوحيدة لتكون الثقب الأسود . فكلما كانت المادة متاحة ، تيسر حدوث الانهيار التجاذبي . فعلى سبيل المثال ، قد يتكون ثقب اسود من مادة تصل لبليون شمسي ، تكون كثافتها اكبر من كثافة الماء على كوكبنا . وهناك شواهد على وجود ثقب اسود بتلك الكتلة في مركز المجرة . وبالتاكيد يوجد هناك جرم ضخم يمثل ايضا مصدرا للشوشرة الراديوية والاشعاعات الأخرى .

وقد تضم المراكز المجرية ثقوبا سوداء ذات أجرام كبيرة ، تكافيء كتلة الشمس بليون مرة . هذه الوحوش تكتشف عن وجودها من وقائع التهامها لما يحيط بها من مادة . ويبلغ من عنف الالتهام ان تنطلق نتيجة له كميات هائلة من الطاقة تحس بما تنتجه من مادة تنفث بسرعات عالية ، أو بما تولده من نبضات قوية من الاشعاعات . وتمثل المجرة م ـ ٨٢ M82 مثالا طيبا لنظام نفاث يحتوى على ثقب اسود هائل .

وتمثل اشباه النجوم ، أو الكوازارات ، طائفة اخرى من الأجرام ، توجد مصاحبة للمجرات المضطربة . فالنفير في ضوئها ينبيء عن ان حجمها لا يزيد عن حجم نظامنا الشمسي ، ولكن الضوء المنبعث منها يوازى مجرة ذات بليون نجم . ولدينا الآن شواهد طيبة على انها قاطنة مراكز المجرات ، وتعطى امثلة لأنشطة تشبه النظام (م ـ ٨٢) . ويعتقد كثير من الفلكيين ان القوة الرئيسية التي تمد هذا النشاط هي ثقوب سوداء هائلة الكتلة منغمسة في غازات دوامية .

وبحكم التعريف ليس لنا ان نرى الثقوب السوداء . ولكن يمكننا أن نستنبط من النظريات ما يحدث لفرد يدلف اليه ، ويستكشف ما بداخله . والشيء الجوهرى لفهم الطبيعة الفيزيائية للثقب الأسود هو ما يطلق عليه « أفق الأحداث event horizon » ، وبعبارة فضفاضة ، هو سطح الثقب . فكل حدث يجرى وراء ذلك الأفق ، لا يمكن مشاهدته من الخارج ، حيث انه ما من ضوء أو اشارة أخرى يمكن أن تفلت من الثقب ، كما تنتقل لنا أية معلومة عما يجرى بداخله .

ولو قدر لك أن تقتحم شيئا كهذا ، فلن تكون فقط غير قادر على الافلات منه ، بل لن تستطيع ـ كالنجم الذى سبقك الى داخله ـ أن تمنع نفسك من الاستمرار في الهبوط . أما ما سيحدث لك عند المركز ، فليس لأحد علم يقيني به . فطبقا للنسبية العامة ، يوجد ما يسمى « مفردة singularity » هناك ، حد من الزمن والمكان ضغط عنده النجم الأصل (وكل ما ابتلعه) الى تركيز لا نهائي تحطمت عنده كل قوانين الفيزياء . ومن المحتمل أن تأثيرات الكم تجعل الزمكان شيئا غير محدد الملامح عند القرب جدا من المركز ، حيث تصبح المفردة علامية على مستوى مسافة بلانك البالغة ١٠ـ٣٣ من المتر . عند هذه المرحلة لا توجد لدينا نظرية ترشدنا . وليس من الحكمة أن نحاول أن نستكشف بانفسنا أو أن نرسل انسانا آليا . فالجاذبية الهائلة لدى المركز تتزايد الى قيمة لانهائية .

الأمر الذي ينتج عن تأثيرين ، اذا ما كان نزولك من جهة قدميك ، فستكون الجاذبية عليها أشد منها على رأسك الأبعد من المركز . وفي هذه الحالة ستمط طوليا أكثر وأكثر ، في الوقت الذي تزداد فيه نحافة بسبب الضغط على جانبيك . وفي نهاية هذه « المكرونة الاسباجتية Spaghettification » سوف تسحق الى الفناء (أو تضيع في غموض عدم يقين الكم) . وسوف يحدث كل ذلك في كسر من الثانية قبل وصولك للمفردة . ولذا فلن يقدر لك أن تراها دون أن تكون جزءا منها بلا رجعة .

على أن الأمر سيبدو مختلفا تماما بالنسبة للشخص الذي يراقبك من الخارج . فالجاذبية لا تلوي الفضاء فقط ، بل أيضا الزمن . فبالقرب من نجم نيوتروني يكون هذا التأثير ملموسا . وقد اكتشف بالفعل في اشعاع النجوم النابضات . فمع اقترابك لأفق الحدث للثقب أسود ، يطول بك الزمن أكثر وأكثر بالنسبة لمراقب لك على البعد . ومع ذلك ، فان من يعبر ذلك الأفق لن يرى شيئا غير عادي ، فأفق الحدث ليس له تميز مكاني ، رغم كونه يمثل حدودا لاتنوا، لا نهائي للزمن . فبالنسبة لمراقب خارجي ، سيبدو الأمر مستغرقا زمنا لانهائيا خلال اقترابك من أفق الحدث ، بمعنى أن الزمن من ـ منظور معين ـ سيبدو كما لو كان متوقفا بالنسبة لزمن المراقب على البعد . وعلى ذلك ، فما يحدث لك داخل الثقب سيكون في المستقبل اللانهائي للكون الخارجي .

ولذلك السبب تعتبر الرحلة الى داخل الثقب الأسود رحلة ذهاب بلا عودة . فدخولك الثقب ثم خروجك منه سيعني أن المراقب الخارجي سيراك خارجا قبل أن تدخل . بمعنى آخر ، ستكون قد رحلت في زمن معكوس . وليس لهذه النتيجة أن تسبب دهشة ، فالخروج من الثقب يعني الانتقال بأسرع من سرعة الضوء ، وهذا كما رأينا يعني رحلة في زمن معكوس .

فاذا كان الشيء الذي يسقط في الثقب لا يمكنه الخروج مرة أخرى، فماذا يحدث له ؟ وكما قدمنا ، أي شيء يقابل المفردة يواجه الفناء ، فهو يختفي من الوجود . فكرة مستديرة تماما من المادة . حين تنهار لتصبح ثقبا أسود ، ستتقلص في اتجاه المركز ، وستنضغط المادة الى مفردة . ولكن ماذا لو أن الجسم لم يكن كرة كاملة الاستدارة ؟ كل الأجرام الفلكية المعروفة تدور بسرعات مختلفة ، وحين تزداد سرعتها مع تقلصها لتفرطح

عند خط استوائها . هذا التشوه لن يمنع المفردة من التكون ، ولكنه يعني انها لن تشمل كافة أجزاء النجم .

وقد درست نماذج مثالية للثقوب سوداء مضحونة ودوارة ، لمعرفة اين تتكون المفردة منها ، وما مصير المادة الداخلة فيها. وقد بينت الدراسات ان الثقوب السوداء تمثل جسرا ، أو نفقا في الزمكان ، بين كوننا وكون آخر غير ممكن وصوله من كوننا . هذه النتيجة المذهلة تثير التصور لرحالة فضائي جسور يمر خلال الثقب غير مصاب بأذى . ليجد نفسه في كون آخر ، في مكان ما من مستقبلها اللانهائي . ولو تم له ذلك فلن يستطيع ان يستطيع العودة الى نقطة بدايته من الثقب الأسود ، ليعبر النفق مرة أخرى .

ولكن عبوره النفق من الكون الجديد لن يعيده لكوننا ، بل لكون ثالث ، وهكذا بلا نهاية . فالثقب الأسود الدوار مرتبط بسلسلة لانهائية من الأكوان ، يمثل كل منها زمكانا متكاملا قد يكون ذا امتداد لانهائي ، كلها مرتبطة بداخل الثقب . وان تصور استخلاص أية فكرة تطبيقية من هذه الأفكار ، لهو أمر يستحسن تركه لكتاب الخيال العلمي .

ما الذي يبدو عليه الطرف الآخر من الثقب الأسود لمراقب من الكون الآخر ؟ طبقا لأبسط النماذج الرياضية ، فان المشاهد سيرى ذلك الشيء مصدرا لمادة منبعثة ، خلق انفجاري للمادة ، يسمى غالبا « ثقبا أبيض White hole » وكوننا مليء بالأشياء المنفجرة ، كالكوازارات ، وهو ما أثار تصور أن تكون هناك بالفعل اتفاق زمكاني تسرب منها المادة لكوننا قادمة من كون آخر . على أن الذين يحملون هذه الأفكار محمل الجد من علماء فيزياء الكون قليل عددهم . وعلى وجه الخصوص ، فهم يبينون أن النماذج الرياضية المبسطة تتجاهل تأثير ما يحيط بالثقب من مادة واشعاع ، واحتمال امتصاصهما لداخل الثقب الأبيض بفعل الجاذبية ، لتحوله لثقب أسود . كما ان النماذج المبسطة تتجاهل تأثير الفيزياء دون الذرية . فالنماذج الأكثر تطورا ، تبين أن هذه التأثيرات تثير من الاضطرابات داخل الثقب ما يحطم الأنفاق الزمكانية التي تربطنا بالأكوان المفترضة . والرأي العام لدى الجميع أن المادة المقتحمة لثقب أسود سوف يكون مآلها المفردة، أو بشكل آخر .

فماذا لو أن التأثيرات الكمية ألغت المفردة بشكل أو بآخر ؟ للأسف، ليس تحت أيدينا نظرية كم متكاملة عن الجاذبية ، فليس في استطاعتنا أن نصنع نموذجا موثوقا به لذلك الفرض . فالغاء المفردة كلية أمر غير مؤكد . ويتوقع بعض العلماء أن تكون الحالة كذلك ، بينما يتجه البعض الآخر الى أن المفهوم المتعلق بالزمن والمكان في حد ذاته لن يستمر ساريا تحت تلك الظروف المتطرفة . أما ما يمكن أن يحل محلهما بالضبط فامر متروك للتفكير . وعلى ذلك ، فمن الأحوط النظر للمفردة على أنها نهاية للفيزياء كما نعرفها ، وليس لكل اشكال الفيزياء .

ثقوب الديدان والسفر عبر الزمن

لقد كانت الفكرة المثالية عن ثقب أسود يسمح بالتنقل بين الأكوان معروفة لأكثر من عشرين عاما ، نظرا لفهوم الانفاق كتراكيب رياضية خالية من أي مضمون فيزيائي . ومنذ عدة سنوات ، كتب الفلكي الأمريكي رواية خيال علمي أسماها « الاتصال connection » ، عن مجتمع متقدم استطاع بناء نفق للعبور السريع بين أجزاء الكون . ولكي يعطي رواياته شكلا مقنعا ، فقد سأل مشورة خبير في الثقوب السوداء ، الفيزيائي الكوني كيب ثورن Kip Thorn . وتحت تأثير الاعجاب بالفكرة ، فقد ناقشها كيب مع زملائه ، بغية معرفة المحددات الفيزيائية التي تحول دون تطبيقها . واتضح أن لها جانبا جديا أيضا .

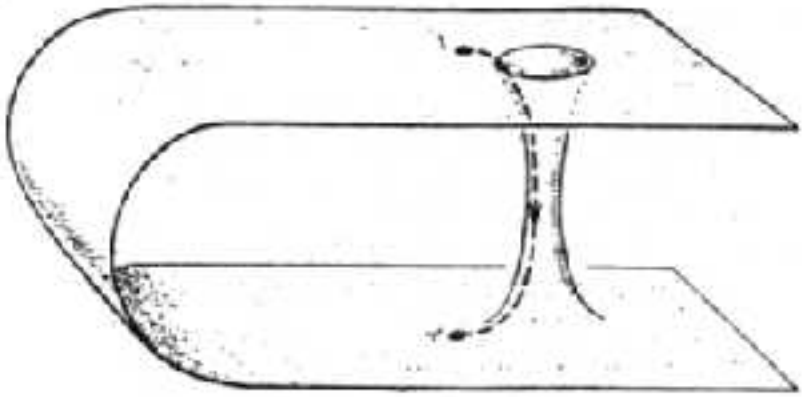
لقد افترضت الحسابات السابقة عن أنفاق الثقوب السوداء افتراضات معينة عن طبيعة المادة . وقد افترض على وجه الخصوص ، بعبارة فضفاضة ، أن المادة تتسبب على الدوام في قوة جاذبية . ولكننا رأينا في الفصل الخامس أن تأثيرات الكم يمكن تحت ظروف معينة ان تنتج جاذبية مضادة . فلو أن هذه الظروف أمكن تطبيقها على مدخل الثقب ، فقد تتحقق امكانية جعل الرحلة عبره ذهابا وايابا .

ومفتاح الجاذبية المضادة هو انتاج ضغط سالب بوسيلة أو بأخرى. واتجه فريق كيب الى تأثير كاسيمير (راجع الفصل الخامس) للحصول على ذلك . فهم يدعوننا لتخيل لوحين عاكسين متقاربين بقدر كبير . ولتفادي اقتراب اللوحين لدرجة التماس ، تحت تأثير كاسيمير ، فقد زود اللوحان بشحنتين تولدان تنافرا يعادل بالضبط قوة التجاذب بينهما . وقد تصور الباحثون وضع تجهيز كهذا في مدخل النفق الفضائي .

وقد بينت الحسابات أن معادلات المجال التجاذبي كما وضعها آينشتين متحققة في تركيب كهذا ، وأن الجاذبية المضادة المطلوبة هي بالضبط ما يتفادى النفق من الانهيار الى المفردة . وأصبح بذلك مدخل النفق ومخرجه ليسا لثقب أسود بالضبط ، ولكن لمجرد منطقة ذات قوة جاذبية هائلة يمكن للمسافر التخيل أن يعبرها حيثة وذهابا دون خشية أن يبتلع للأبد .

وكتمثيل مبسط لما يمكن أن يحدث ، تخيل نفسك مسافرا من انجلترا الى استراليا - فبسبب انحناء سطح الأرض ، ستكون مضطرا الى السير في قوس معين . ولكن لو امكنك ثقب نفق عبر الكرة الأرضية ، فسيتحقق لك الكثير من توفير وقت الرحلة .

ومن السهل تصور كيف يمكن للأنفاق المصاحبة للثقوب السوداء أن تقوم بدور مشابه عبر انحناء الزمكان (الشكل ٤٦) . وكالعادة تمثل الزمكان بصفحة من الورق مطوية كما في الشكل . فلو أنك تمكنت من وصل سطحي الورقة بعد طيها عبر البعد الثالث ، فانه يكون بامكانك التنقل بين السطحين دون أن تكون مضطرا للدوران (٣) . هذا التواصل عبر مناطق من نفس الزمكان يعرف لدى أرباب النسبية باسم ثقوب الديدان Worm holes . وأي شيء لتصوره حادثا لصفحة من ورق ثنائية الأبعاد عبر بعد ثالث . يمكن رياضيا امتداده للزمكان الرباعي عبر أبعاد أعلى . فلو أن النقطتين متباعدتان بسنة ضوئية ، فانه يستحيل قطع تلك المسافة في أقل من سنة ، اما بالعبور خلال ثقب دودي ، يمكن لاشارة ، أو ربما شخص ، أن يحقق ذلك .



الشكل (٤٦) ثقب دودي يربط منطقتين كلتا متباعدتين في الفضاء . ويحقق المسافر عبر الثقب الدودي المختصرا للرحلة .

والآن لنتصور أن الزمكان المطوى قد أعيد فرده مرة اخرى ، مع احتفاظ بالثقب ممتدا بين النقطتين . سيكون الوضع في هذه الحالة اقل اثارة ، حيث ان المسافة بين النقطتين عبر الزمكان المفرود ستصير اقل منها عبر النفق الذي سيكون هو المنحنى ، مما يجعل الانتقال خلاله اطول وقتا .

على أن الموقف ليس بالضرورة كذلك ، لان المكان والزمن يتصرفان بصورة غير تقليدية عبر الثقب الدودي . فعلى الرغم من كون الزمكان الاصل هو السطح (أو تقريبا كذلك) والثقب هو القوس ، فان الاحتمال قائم أن يعبر المسافر بين النقطتين في طرفة عين ، مهما كانت المسافة بينهما عبر الكون .

ورغم أن التصورات التي تمخضت عن دراسات فريق كيب تذهب باللب ، فان وجه الغرابة فيها ليس في السفر عبر الفضاء في الواقع ، بل عبر الزمن . فقد ذكرنا ان السفر اسرع من الضوء يعني الصير معكوسا في الزمن . فالانتقال من النقطة (أ) الى النقطة (ب) عبر ثقب دودي معناه الوصول للنقطة (ب) قبل وصول الضوء من (أ) اليها . فعلى سبيل المثال ، يمثل الانتقال من الأرض الى مركز المجرة لحظيا عبر نفق دودي أن يكون المرء سابقا على وصول الضوء من الأرض بثلاثين الف سنة عبر طريق الكون . وليس معنى ذلك الانتقال الى ثلاثين سنة في الماضي . ولكن تعديلا بسيطا في الواقع يجعل السفر عبر الزمن ممكنا .

والتعديل الضروري يتمثل في أن تثبت فتحة من فتحتي النفق ، وتجعل الأخرى متحركة بما يقارب سرعة الضوء . فاذا ما أوقفت الفتحة المتحركة ، ثم اعيدت الى قرب معقول من الساكنة ، فان فرقا زمنيا يكون قد خلق بين الفتحتين . وهذه نتيجة مباشرة من تأثير التوءمين ، حقيقة أن الساعة المتحركة تسير ابطأ . وهي احدى النتائج الهامة للنسبية الخاصة ، كما قدمنا في الفصل الثالث . فسوف يكون الزمن مقيسا بساعة عند الفتحة الثابتة ، أطول مما سجلته ساعة تحركت مع الفتحة المتحركة . ولذا ، فيمكن القول ان الفتحة المتحركة ستكون في الزمن الماضي بالنسبة للثابتة . ولكن الحاضر ، بالنسبة لأي شخص مسافر عبر الثقب الدودي ، يكون دائما هو اللحظة التي عند الفتحة التي دخل منها . وفي حالة دخول شخص من الفتحة التي تحركت ، وبفرض وجود الفتحتين على بعد مناسب ، فسيكون خروجه من الفتحة الثابتة قبل لحظة الدخول . ومعنى ذلك أن الرحيل جيئة وذهابا بين الفتحتين يجعل المرء يتوغل اكثر

فاكثر في الماضي . ولكنك لن تستطيع أن تتوغل بأبعد من اللحظة التي بدأت فيها الفتحة المتحركة ، وبدأ فيها استنفار ظاهرة مط الزمن .

ومن غير المثير للدهشة أن نشير الى أن هذا العرض مليء بالمحاذير ، وانسحا متعلق باهم عامل في الأمر ، السطحان العاكسان اللذان سيتيران تأثير كاسيمير . فمن المهم ألا نخلق مادتهما جاذبية تفوق الجاذبية المضادة التي يثيرانها . ومن الصعب تصور كيفية تحقيق ذلك . وبالاضافة الى ذلك يجب التفكير في وسيلة بحيث لا يخل المتنقل عبر الفوهتين (الباب السحري ؟) بالتوازن الدقيق للنظام . وتتعلق مشكلة اخرى بكيفية تحريك الفتحة المتحركة ، فهي ليست من مادة يمكن امساكها وجرها ، بل هي من الفضاء (وان كان منحنيا) . فيجب التفكير في شيء من قوة جاذبية أو كهربية تحقق ذلك ، مع الأخذ في الحسبان عدم تقاص قطر الثقب الى الصفر خلال عملية تحرك الفتحة ذهابا وعودة . وبصرف النظر عن كل ذلك ، فهناك مشكلة خلق الثقب الدودي ذاته .

نريد الآن التركيز على انه ليست أي من صور تلك الثقوب المفترضة مأخوذة مأخذ الجد . فهي من قبيل التجارب الذهنية . فالموقف التقليدي هو أن السفر عبر الزمن محظور لأية عملية فيزيائية مهما كانت ، لا لشيء الا لاستقرار النظم الفيزيائية .

تصور ان مسافرا عبر الزمن قد رحل الى زمن طفولة جدته ، وقتلها . وبقتلها وهي طفلة ، لن يكون هو موجودا ، فيستحيل أن يقوم بفعلته . مثل هذا التناقض الداخلي يستدعي أن تتصور ضرورة قانون فيزيائي يحتم أن يوجد رابطة سببية متسقة للعمليات الفيزيائية ، بحيث يحال دون فعل فعل الجدات بأن يتعطل المسدس مثلا ، أو أن يتضح أنه كان ابتا بالتبني ،أو أية وسيلة اخرى . ولكن لو كنت معتقدا في الأكوان المتعددة ، فيمكنك تصور عمليات لا تؤثر على ماضي نفس الكون ، بل على كون قريب منه .

ومهما كان وجه الغرابة في تجارب الذهاب والعودة هذه ، فانه من الواجب التفكير في السؤال ، هل قوانين الفيزياء فقط هي التي تحول دون السفر عبر الزمن ، أم أن قواعد أخرى تساهم في ذلك الحظر . لقد كان هذا هو الدافع الحقيقي لعمل تورن ورفاقه .

ولكن موضوع ثقوب الديدان هو محل أبحاث حاليا من قبل فرق بحث أخرى ، لكن ليس من وجهة نظر السفر الخيالية عبر الزمن . فقد

تركز الاهتمام بدلا من ذلك على ثقوب الديدان الميكروسكوبية التي عرضنا لها بايجاز في الفصل الخامس ، تلك التي تحدث بصفة طبيعية خلال الزبد الزمكاني . فكما أن الاضطرابات في الفراغ تخلق فوتونات وقتية ، فهي على نطاق أشد صغرا تخلق (تقديريا) ثقوبا ديدانية لحظية .

وحجم ثقب منها يبلغ جزءا من 10^{-20} من حجم نواة الذرة . وعلى ذلك ، فعلى المستوى الميكروسكوبي الفائق ، سيتحول الفراغ الى متاهة من تلك التراكيب ، مسموحة أن يطلق على طبوغرافيتك لقب الزبد . وبتجاوز كبير ، يصف النسبيون هذه الأنفاق بأنها ثقوب ديدان ، ميكروسكوبية » .

ويفترض الشموفون بزيادة الزمن أنه لو أمكن الامساك بواحدة من تلك الثقوب الميكروسكوبية وتمديدها الى أن تصبح بأبعاد مرئية ، فانها يمكن أن تستخدم كآلات للزمن . ويفترضون أن الكون من حولنا ملىء بمثل هذه الآلات الزمنية العتيقة والوقتية ، ولا نحتاج الا للتمكن من استغلالها . ولكن الامساك بثقب منها ، وجعله لأبعاد مرئيه ، فاهيك عن منعها من التردى ، كلها أمور تجعل منها ، كما تكرر دائما ، خالية عن مضمون واقعي . ولكن الأمر الجدى هو احتمال ان تمدنا أبحاث الثقوب الديدانية التقديرية باوشاد عن موضوع غاية في الأهمية في الفيزياء الحديثة .

ما وزن الفضاء الخاوى

ان فكرة أن يكون للفضاء وزن هي في حد ذاتها مستغربة ، وقد تبدو بلا معنى . كيف يمكن أن يكون « اللاشيء » ذا وزن ما . علينا أن نتفهم جيدا أن الفضاء هو أبعد ما يكون عن «لاشيء» . فحتى حين يفرغ مكان ما من كل صور المادة ، فسيظل مرتعا للجسيمات التقديرية التي تخلقها تأثيرات الكم ، تهب للفراغ من حولها طاقة وضغطا . والطاقة لها كتلة تحسب من معادلة أينشتين ط = ك × جـ٢ ، حيث جـ هي سرعة الضوء ، هذه الكتلة يتوقع لها أن تكون ذات جاذبية .

لكن للأسف لا تكون عملية الوزن في صورة وضع صندوق فارغ ووزنه . فالفضاء يحيط بنا ، واذا كانت له جاذبية فستكون متساوية من كل الاتجاهات . والشيء الوحيد الذي يبدو فيه أثر تلك الجاذبية هو حركة الكون ككل . وقد بينا في الفصل الخامس كيف أن طاقة الفراغ التقديرية تخلق جاذبية مضادة ، وليست عادية ، حيث ان الضغط المصاحب لها ضغط سالب . وطبقا للتصور التضخمي ، فان « الوزن السالب »

للفضاء هو ما تسبب في الفترة القصيرة ، لكن العنيفة ، من تمدد الكون في مرحلة نشوئه المبكرة .

وفي نهاية المرحلة التضخمية ، كان وزن الفضاء بصفة أساسية صفرا . ومع ذلك فقد أجريت محاولات للكشف عن أي تأثير ضئيل قد يكون متخلفا عن تلك المرحلة للآن . فلو أن وزن الفضاء ظل أكثر من الصفر بمقدار مهما كانت ضآلته ، لكان ذلك مبينا في الطريقة التي بها يتمدد الكون ، في مواجهة الجاذبية للمادة العادية التي تحاول ابطاء ذلك التمدد .

وحتى الآن لم يكتشف تأثير من هذا القبيل . ويمكن وضع حد لما يمكن أن يكون عليه وزن الفضاء . والرقم ضئيل بقدر لا يتصوره عقل ، 10^{-120} من الوزن الذي كان سائدا وقت التضخم ، وهو ما يغرى باعتبار وزن الفضاء الآن صفرا حقا . ولكن هذه النتيجة تؤدي بنا الى موقف متناقض . فنحن نتوقع أن تكون طاقة الفضاء الكمي عالية جدا . وعلى ذلك فنحن أمام وضع يوحي بأن تكون المرحلة التضخمية هي المجرى الطبيعي للأمور ، بينما حالة الوزن القريب من الصفر للفضاء اليوم هي الشاذة ، بل قد تكون « من وحي الخيال » .

لماذا من وحي الخيال ؟ تبدو دقة التعبير من محاولة فهم كيفية أن تكون القيمة الحالية بهذا الصغر . ان طاقة فضاء الكم قد تكون في الواقع موجبة أو سالبة ، طبقا لطبيعة المجال . ولو أن الطبيعة نظمت الطاقات الموجبة والسالبة بحيث تتلاشى ، فان النتيجة تكون صفرا . ولكن ذلك يتطلب عملية امساك دقائر دقيقة للغاية على المستوى الكوني . ولما كان من غير المحتمل أن يحدث ذلك اعتباطا ، فان الأدعى للمنطق أن نتصور ميكانيزم معينا يجبر وزن الفضاء على أن يكون صفرا .

من هذا المدخل تظهر فكرة ثقوب الديدان في الصورة . فاحد المجالات التي تساهم فيها طاقة فراغ الكم هو المجال التجاذبي . والذي تسبب الاضطرابات الكمية فيه ليس فقط في خلق ثقوب ديدان وليدة ولكن تشوهات أخرى في هندسة الزمكان . بعض من تلك التشوهات تكون على شكل « كون وليد » متكامل ، مرتبط بزمكاننا بواسطة ثقب دودي ، كما لو كان حبلا سريا . كل ذلك يحدث على مستوى ميكروسكوبي بالغ الصغر ، وعلى المرء أن يتخيل تلك التشوهات في اضطراب دائم . أحيانا تنفصل عن كوننا حين ينقطع الحبل السري ، وأحيانا أخرى تمتص ثانية في زمكاننا حيث تخبو تأثيرات الكم .

والتأثير التراكمي لذلك هو تخليف كوننا بشيء أشبه بفقاقيع عارية من فضاءات دقيقة في حركة دائبة . كل فقاعة هي في الواقع كون متكامل من فضاء وزمن ، أشبه بصورة الأكوان المتوازية التي عرضنا لها سابقا . وترتبط هذه الفقاقيع بكوننا بالثقوب الديدانية . وكيا قدمنا يبلغ قطرها جزءا ضئيلا من قطر نواة الذرة ، ومن ثم لا يمكن رؤيتها مباشرة .

كيف يؤثر ذلك في طبيعة الفراغ ؟ لقد قام ستيفن هوكنج من كامبردج وسيدني كولمان من هارفارد بمهمة حساب تأثير تلك الفقاعة الضئيلة من الزبد على وزن الفضاء المتشبثة به . وقد اعتمدت حساباتهم على مبدأ عام من مبادئ الفيزياء يطلق عليه مبدأ الفعل الأقل the least action ومفهومه أنه ما من تغير يحدث الا ويكون بحيث يستهلك أقل مجهود . فكرة البلياردو مثلا تسلك الخط المستقيم ، ولا تجهد نفسها في السير في طريق متعرج ما لم تؤثر عليها قوة تجبرها على ذلك . هذا المبدأ المتعلق بالكسل من الطبيعة حين يطبق على تذبذبات الثقوب الدودية يعني أن الأكوان الوليدة ذات الطاقة الأقل هي المحبذة عن ذات الطاقات الأعلى ، وأكثرها تحبذا هي ذات الطاقة الصفرية ، وعلى ذلك فالمتوسط المتوقع لطاقة الفراغ الكمي تكون قريبة من الصفر ، وهذه القيمة تتخلل كوننا من آلاف الأكوان الوليدة التي تترابط معه .

ولو صحت هذه الحسابات ، فستكون قد وصلنا الى نتيجة غريبة ، فتوقعنا السابق بأن وزن الفضاء صفر قد اتضح صحته ، لكن ليس للسبب الذي دار بخلدنا . فالسبب ليس له علاقة بالخواء ، ذلك لأنه حتى الفراغ الخاوي متأصل بالنشاط الكمي . انما انعدام الوزن فبسبب الزمكانات الطفيلية التي تتعلق بكوننا عن طريق الثقوب الديدانية ، والتي لولاها لتداعى كوننا .

ان الموضوع ، ذا الوزن ، الذي أثرناه في القسم السابق ليبين بجلاء مرة أخرى كيف تم تجاوز النمط الفكري النيوترني ، ذلك أنه في اظهار الأنشطة الكونية اتضح أن دور المادة هامشي ، وأن النشاط الإساسي يأتي من قبل أقل كينونات لامادية متصورة ، نشأه من ثقوب الكم الدودية اللحظية ، ليست سوى زبد من الفضاء الخاوي تتشكل على هيئة أنفاق ، وعقد ، وجسور نصف حقيقية . وانه فقط بسماح من الخواص المتميزة لهذا الزبد تمكن للمادة أن تمارس تأثيرها في الكون ، ذلك لأنه لو كان وزن الفضاء ليس قريبا من الصفر بدرجة لا تصدق ، لكانت طاقة الكم للفراغ هي المسيطرة على ديناميكية الكون ، وليست الجاذبية .

في الفصول السابقة بينا كيف أن ثورة الكم والنسبية غيرتا من صورة الطبيعة من ساعة مضبوطة الى شيء أكثر غنى وخفاء . ولكن هذا التغيير لا يذكر بجوار تأثير ثورة المعلوماتية الجديدة . لقد سبق وذكرنا في الفصل الثاني أن نظرة العلماء للكون الفيزيائي ، تبدلت لتكون بدرجة من تأثل كمجموعة من التروس الميكانيكية ، وبدرجة أكثر كنظام لمعالجة المعلومات . لقد ولى عهد جسيمات المادة الصماء ، ليحل محلها ، بتات bits ، (٤) المعلومات . هذه هي الصورة النموذجية التي تبزغ للكون ، نظام معقد يحتل فيه العقل والذكاء المعلومات مكانا أسمى من المكونات المادية . لقد آن الأوان لنلقي نظرة على الحياة ، والعقل ، والذكاء ، ليس بالمعنى البشري الضيق ، بل في مضمار كوني .

هوامش الفصل التاسع

(١) تسمى النسبة المذكورة « حد شاندرا سيخار » وهي تبلغ بالتحديد ١,٤ مرة قدر كتلة الشمس . وقد حاز شاندرا سيخار على جائزة نوبل عام ١٩٨٣ ـ (المترجم) .

(٢) حرف س او X يعني انه مصدر لأشعة اكس ـ (المترجم) .

(٣) ولو انثنت سمك الورقة في الاعتبار ، فسيكون عليك تصور شيء ما يشبه علاقة لتقصير مسافة العبور من أحد الأوجه للوجه الآخر .

(٤) البت (او البتة) هي وحدة المعلومات في علم الحاسوب ، وهي مشتقة من binary digit ، معناه « رقم ثنائي » ـ (المترجم) .

الفصل العاشر

الكون الحي

اعتقدت لفترات عديدة أن الكون كائن حي . فارسطو المعروف بشغفه العميق بالبيولوجيا ، كان متأثرا بحقيقة أن الكائنات الحية تحفز بأهداف محددة ، بحيث تشكل أفعالها جزءا من خطة موجهة نحو هدف سابق التحديد . فعل سبيل المثال ، حين نرى طائرا يبني عشا ، يكون من الواضح أن لهذا الفعل علاقة بوضع البيض والعناية بالصغار ، وكونه واعيا لما يفعله امر خلافي ، ولكن بالتأكيد ليست أفعاله عشوائية ، فهي لا تفسر الا على ضوء الهدف النهائي .

ومن المغري أن نعزي ما يحدث في دنيا الكائنات الحية الى الطبيعة ككل . وكثيرا ما يستخدم الناس لغة توحي بالهدف مجازا ، فنقول « يبحث الماء عن الوصول لمستواه » أو « يحاول الجو التحسن » . وفكرة كون المادة عنصرا به حياة ، بدلا من كونها شيئا أصم تتدافعه القوى العمياء ، يرجع الى شيء كامن في تكويننا .

لاحظ كيف ان الأطفال يتقبلون قصصا تشخص فيها الجوامد مثل القطارات والسيارات وحتى الجبال والسحب ، ككائنات حية ذات شخصيات ومشاعر . وطبقا لما ذهب اليه ارسطو ، فالكون بأسره يماثل كائنا حيا هائلا ، يتجه نحو هدف كوني معين . هذا المذهب يعرف بالغائية teleology (١) ، وهو يرى أن كل عملية من عمليات الطبيعة موجهة نحو غاية معينة .

ومع بزوغ شمس العلم الحديث ، وخصوصا الاطار الفكري لنيوتن، هجر المذهب الغائي (على الأقل في غير البيولوجي) واستبدل به مفهوم الساعة الكونية . ومع ذلك ، ففي أكثر الأزمنة اغراقا في الآلية والمنطق المجرد ، ما فتئت بعض الأفكار القليلة تطل برأسها لتمس وترا لدى قطاع عريض من الناس في العصور الحديثة ، تنبع من مفهوم Gaia (٢) . المفهوم الذي يفترض أن الأرض ذاتها ، من منظور معين ، يمكن أن ينظر اليها ككائن حي ذي وحدة واحدة .

وليس من موضوع يتعارض مع هذا النمط من التفكير أكثر من لغز الحياة . فمن الوجهة الآلية الصرفة ، فان الكائنات الحية ليست الا آلات، وان كانت آلات مذهلة التعقيد . كما نظر لتطور الحياة بنفس المنطق كصورة من صور الآلية ، ولكن اضيف لها عنصر خلاق خلال التغيرات العشوائية . ويقبل أغلب البيولوجيين أنه ما أن دبت الحياة ، حتى أصبح التغير الجيني العشوائي والانتخاب الطبيعي كفيلين وحدهما بالوصول بها الى كافة الصور التي صارت اليها . أما فيما يختص بأصل الحياة ، فالمشكلة أعقد . ومن المفترض على نطاق واسع أن احتمال العمليات الفيزيائية الدقيقة التي أدت الى ظهور أول كائن حي ضئيل للغاية ، انها على أي الأحوال محاطة بالأسرار . ومن هذا المنظور يمكن أن تعتبر مقصورة على الأرض ، حيث انه من غير المحتمل أن تكون قد تكررت في أماكن أخرى .

وعلى النقيض من هذه الفلسفة ، تذهب الآراء الحديثة الى الاعتراف بالقدرة الخلاقة والتطورية لأغلب العمليات الفيزيائية . فالحدود الفاصلة بين ما هو حي وما هو غير حي لا يمكن أن تكون قاطعة . وأصل الحياة ليس الا خطوة (وان كانت ذات خطر) في طريق تطور المادة نحو التعقيد والاغراق في التنظيم . ولو كان للطاقة والمادة خصيصة نزوع كامنة للتنظيم الذاتي ، فان الاحتمال يكون قائما على الدوام لتكرار ظاهرة الحياة مرات ومرات ، طالما توافرت الظروف الملائمة . وفي هذه الحالة فيمكننا تصور حياة في كواكب أخرى ، بل وصور عاقلة منها . وسوف يعتبر اكتشاف الحياة في مكان ما من الكون دعامة قوية لمنطق ما بعد الآلية ، على أن يثبت طبعا أن هذه الحياة « الغريبة » قد نشأت حقا على استقلال .

وقد مكنت التطورات الحديثة في علوم الفضاء من وضع أول خطة منهجية بدائية للبحث عن الحياة خارج الأرض . وتمثل المراصيح المثارة

أهمية بالغة لتشكيل نظرتنا لانفسنا وللحياة الطبيعية من حولنا . كما انها ذات مؤشرات مباشرة لحاجتنا لاطر جديدة للتفكير . ولكن قبل أن نبدأ البحث ، علينا أولا أن نعرف جيدا ما الذى نبحث عنه . فما الحياة حقا ؟

ما الحياة ؟

لا تمثل الحياة صعوبة فى التعرف عليها حين نلتقى بها على الأرض. فالناس ، والقطران ، والفطريات ، والميكروبات ، هى كائنات حية بلا جدال. ولكن ، ما الخصائص المشتركة لها جميعا ؟ ان الخصائص المتعارف عليها للحياة هى القدرة على التكاثر ، والاستجابة للمؤثرات ، والنمو . والمشكلة أن كثيرا من النظم غير الحية تشترك مع الحية فى بعض من هذه الخصائص (٣) . فالبلوران تتكاثر ، والبلورات تنمو وتتكاثر . والفقاقيع تتراقص حين تقترب منها ، مستجيبة للمؤثرات الخارجية .

والأكثر من ذلك ، فاننا ما ان نهبط الى مستويات أدنى من مستوى الحياة العادية ، بما يتجاوز حواسنا ، خاصة البصر والحس ، يزداد الفرق بين ما هو حى وما هو غير حى غموضا . والمثل التقليدى لذلك هو الفيروس . فعلى الرغم من حقيقة أن الأمراض الفيروسية تتضمن نشاطا بيولوجيا واضحا ، فان الفيروس نفسه لا يحقق شيئا من الخواص المذكورة . فهى لا تتكاثر بنفسها ، ولا بمعونة غيرها من الفيروسات . فالفيروس لا يتكاثر الا على حساب الأنشطة البيولوجية لما يغزوه من خلايا. وبمعنى آخر ، فهو يحول تلك الخلايا الى خط انتاج لحسابه . ومن هذا المنطلق يمكن اعتبار الخلية التى غزيت لم تعد حية ، حيث انها فقدت القدرة على التكاثر . ولكن الفيروس المنعزل لا يزيد عن ذرة رماد ، لا تختلف كثيرا فى خواصها عن غيرها من المواد العادية عن مقدرة حيوية .

هذه الصعاب تضطرنا الى اللجوء لتعريف أكثر خلافية . بالتأكيد لابد من وجود درجة عالية من التنظيم . وربما يجدر بنا أن نتحول بالفكرة عن التفكير فى الكائنات الحية منفردة ، ونوجه اهتمامنا للتأثيرات المتبادلة للاشكال المختلفة للكائنات الحية فى مجموعها . وعلى الأرض ، يسمى ذلك المجال ، المجال الحيوى biosphere » . فمن المشكوك فيه أن يتمكن كائن حى من المعيشة فى انعزال على سطح الأرض ، انها الشبكة فى مجموعها هى التى لها الصيغة الحيوية .

وبعيدا عن ذلك ، من طريق آخر ، لمفهوم الخلايا لتعدد صور الحياة على الأرض كعناصر لكائن حى واحد ، وهو جوهر فرضية Gaia . وتنسب الفكرة الى جيم لوفلوك Jim Lovelock ، واثارت على الفور جدلا حادا بين البيولوجيين والبيئيين ، ولكنها اخذت فى بعض القطاعات شكل الموضة ، أحيانا فى تعريف لم يقل به لوفلوك نفسه . وليس المقام يكاف لعرض تفصيلى لهذا الجدل ، ولكننا نريد بالفعل أن نبين أن مفهوم Gaia يقع موقعا طبيعيا من مفهوم التعقد ذاتى التنظيم . ليس هذا فقط . لو أن اشكال الحياة على الأرض قد نظر لها كعناصر لنظام واحد أكثر تعقيدا ، سواء اطلق عليه « المجال الحيوى » أو Gaia ، فانه من المتصور انه خلال التطور المستقبل لتكون قد يزداد التعقد ليشمل ليس فقط الكواكب المنفردة ، ولكن نظما متكاملة من النجوم ، وفى النهاية ، لو سمح الوقت ، مجرات كاملة ، فى شبكة حية من التبادل الكونى . ولكن ذلك يقع فى المستقبل القصى ، واهتمامنا منصب على الطرف الآخر من السلسلة ، كيف نشأت الحياة على الأرض ؟

منذ عصر داروين ، والبيولوجيون تحت سيطرة مفهوم التطور التدريجى . فمن التسجيلات الأحفورية يمكن أن يستنتج أن الظروف الراهنة للمجال الحيوى هو حاصل خطوات لا حصر لها نحو درجات أكبر من التعقد ، والتكيف ، والرقى . فعلى سبيل المثال ، منذ خمسمائة مليون عام لم يكن هناك أى شكل من اشكال الحياة على وجه الأرض . ومنذ مائتى مليون عام لم يكن هناك كائنات ذات عمود فقرى . وأقدم حفرية تضم أبسط صور الحياة الجهرية ترجع لثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام . وبالنظر لهذا التطور من البساطة والتعقيد ، مع وجود الفيروسات التى تمثل الجسر بين ما هو حى وما هو غير حى ، فمن المغرى أن نتصور أن أصل الحياة على الأرض لم يكن بدوره الا خطوة من تطور أشمل ، جزء من التطور الذاتى للكون . وعلى ذلك ، فهل كان من الممكن أن تخلق الحياة من الكيماليات غير الحية ؟

أصل الحياة

ان قصة الخلق الذاتى للحياة لها تاريخ طويل . ومن الأمثلة المحببة لذلك ظهور يرقات على قطعة لحم متعفنة ظهورا « ذاتيا » . ولكن ليس ذلك ما تعنيه الآن بنشأة الحياة من مواد غير حية . فقد أزالت أعمال لويس باستير مثل هذه التصورات الساذجة . أما دراسة الخلق الذاتى فتقع الآن تماما فى مضمار علم البيولوجيا .

وقد اتخذت خطوة عملية لدراسة نشاة الحياة على الأرض بواسطة ستانلى ميلر Stanley Miller وهارولد يوراى Harold Urey من جامعة شيكاغو عام ١٩٥٣ ، فى تجربة تعتبر الآن كلاسيكية - وقد ارتكزا على فكرة انه لو تمكنا من خلق نفس الظروف التى يعتقد انها كانت سائدة وقت نشاة الحياة عمليا ، فقد نتكرر نفس مخترات العمليات الكيميائية التى ادت لتخليق المواد الحيوية - وطبقا للافكار التى كانت سائدة وقتها ، فقد ملأ قارورة بغاز الميثان والهيدروجين والأمونيا والماء ، اعتقادا انها تمثل جو الأرض فى تلك الحقبة السحيقة - أما الجو الحالى للأرض ، والمكون اغلبه من النيتروجين والاكسوجين ، فهو نتاج تطور طويل ، متأثر بدوره بالعمليات البيولوجية ، وهو اشارة مميزة لأن مجتمع مستكشف خارج الأرض لقابليتها لوجود الحياة على متنها -

وغمست التجربة التى استمرت لعدة أيام اطلاق شرارة كهربية فى القارورة ، تمثل الطاقة التى كانت تستمد من الصواعق آنذاك ، وأخذ لون المحلول فى الاحمرار ، وحين حلل وجد انه يحتوى على مقادير لا بأس بها من جزيئات عضوية (٤) تسمى الأحماض الأمينية - والأحماض الأمينية ليست جسيمات حية ، ولكنها اللبنات الأساسية للبروتينات ، والتى هى عنصر أساسى للأجسام الحية - فبداخل خلاياك تترجم أكواد من حمض D.N.A. بواسطة حمض R.N.A. الى جزيئات بروتينية عاملة ، تقوم بوظائف الحياة - وبدا الأمر للبعض ، وكان ذلك فى مطلع الخمسينيات ، أن ميلر ويوراى فى طريقهما لانتاج الحياة عمليا - ولا تنكر أن البون شاسع بين انتاج عدة أحماض امينية وأول كائن حى مكاثر ، الا أن اعتبار ملايين السنين التى مرت على الأرض تجعلنا نتصور أن هذا الحساء من الأحماض الأمينية قد تطور بالتدريج الى جزيئات أكثر تعقيدا ، بينما الجزيئات العضوية تتدافع وتتجمع بطرق شتى -

ولكن للأسف ليس الأمر بهذه السهولة ، لسبب ذكرناه لتونا ، الا وهو حمض DNA - ففى نفس عام تلك التجربة الشهيرة ، قام فرانسيس كريك Francis Krick وجيمس واطسن James Watson (٥) من جامعة كامبردج بوضع اول هيكل للحمض المذكور ، وهو الحلزون المزدوج الشهير ، ممهدين الطريق نحو دراسات أعمق لوضع آلية الذى تسير عليه الحياة على الأرض - وحتى ذلك الحين ، كانت هناك مدرسة محترمة تعتقد ان البروتينات هى سر الحياة ، ومن ثم فان انتاج الأحماض الأمينية خليق بان يكشف لنا عن ذلك السر - وبعد اكتشاف اهمية حمض DNA ، كان طبيعيا أن تحجم أهمية تلك الخطوة -

وتعتمد كافة صور الحياة على الأرض على هاتين المجموعتين من الكيميائيات ، الأحماض النووية والبروتينات ، وكلتاهما مكونة من الكربون والهيدروجين والاكسوجين ، مع مقادير قليلة من مواد أخرى كالفسفور والكبريت - وتخلق البروتينات من عشرين نوعا من الأحماض الأمينية بتراكيب مختلفة (ليس كل بروتين يحتوى على العشرين حمضا) - وهى ذات دورين ، كعناصر بنائية ، وكمحفزات (يطلق عليها اسم « انزيمات ») للعمليات الكيميائية الجوهرية - ولولا وجود المحفزات لنشاطات العمليات الحية الى أن تتوقف - والأحماض النووية هى المسئولة عن تخزين الكود الجينى ونقله ، وهو كافة المعلومات عن بناء الكائن وتشغيله - ويتضمن الكود كل التعليمات لتخليق بروتين معين أو لنزيم معين - وأحد الأحماض النووية ، وهو D.N.A. يأخذ شكلا أصبح مألوفا ، وهو سلسلة طويلة من جاروف مزدوج ملتف - وهو موجود حيث يراد فك شفرة نسخ الكائن أو تشغيله -

وتتكون المواد غير العضوية ، كالماء والهواء من ذرات عنصرين او ثلاثة مترابطة بقوة التجاذب الكهربية - أما جزىء الـ D.N.A فقد يتكون من عدة ملايين من الذرات - وفى الواقع ، فكل خلية فى جسمك تحتوى على ما طوله ، حين يمد الى نهاية اطرافه ، مائة وثمانين سنتيمترا من الـ D.N.A وتنظيم كل هذه الذرات ليس عشوائيا ، بل بترتيب غاية فى التعقيد - فتغيير قليل فيه يؤدى للفرق بين الفيل والبعوضة ، أو بصورة أكثر غموضا ، بينك وبين الشمبانزى - والتنوع المذهل لصور الحياة على الأرض يعكس التنوع فى ترتيب تلك الوحدات البنائية -

وفى الواقع ، فان عدد طرق ترتيب ذرات الكربون والأكسوجين والهيدروجين فى سلسلة D.N.A كبير بشكل لا يتصور - واحتمال تكوين عشوائى لحمض بذلك التعقيد يحمل شفرة الجنس البشرى هو غاية فى الضآلة - ولو أن هذا ما حدث بالفعل ، فان الحياة تكون معجزة بمعنى الكلمة -

ولكن ماذا عن الانتخاب الطبيعى لداروين ؟ ألا يمكن لهذه العملية وضعها أن تكون مسئولة عن هذا التعقيد ؟ للأسف ، ان الدائرات التطورية التقليدية تعجز عن دفع الحساء قبل الحيرى تجاه مادة حية حقيقية -

مفهوم الفرد الأقوى ، والأكثر تكيفا ، والذى يملك مزايا على اقرانه ، ويمكنه بالتالى البقاء وشغل البيئة بنسل أكثر منهم ، من الصعب تصوره لجزيئات غير حية لا تملك التكاثر بنفسها على أية حال .

والنقلة من الأحماض الأمينية الى البروتينات لا يعرف عنها الا القليل اليسير ، وأقل منه عن أصل الأحماض النووية . ويتصور أن نوعية ما من حساء ميلر يوراى البدائى يمكنه ، لو ترك على حاله ، ان يجد نفسه منجها آليا الى النوع الصحيح للتركيب الجزيئى . فعلى سبيل المثال ، بسبب فعل الانزيم المكون عشوائيا فى تركيز نوع ما من الجزيئات بدرجة أكبر على حساب أنواع اخرى . ولو أن هذه الجزيئات بدأت فى تكوين ذات الانزيم الذى ساعد على تفضيلها ، فان الدورة تصبح متوالية فى اتجاه البقاء الذاتى . وعن طريق دورات مشابهة يمكن الصعود الى درجات أعلى وأعلى من التعقد الى أن يتمخض الأمر فى النهاية عن اول جزىء هائل الحجم مستطيع التكاثر . وتسهل السيرة بعد ذلك ، حيث يبدأ ذلك الجزىء فى تحويل الحساء من حوله الى نسخة من ذاته . بعد ذلك يفتح المجال للتطور كما ارتاه داروين ليقوم بنشاطه .

هل هكذا بدأت الحياة ؟ هذا ما يدعيه كثير من العلماء . ولو صح زعمهم ، فان الخلق المباشر من الكيميائيات الميتة يكون أيسر من أن يثير البليون من الأعوام . وظلت لمدة ملايين من الأعوام عرضة لضربات عنيفة من الصواعق والشهب ، بينما تسجل أقدم حفرية لحياة أولية ثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام ، الأمر الذى يبين أنه ما ان تكونت الأرض حتى بدأت رحلة الحياة . هذا التأهب دفع بالكثير من العلماء الى الاعتقاد بأن الحياة تطور تلقائى حتمى لعمليات فيزيائية مناسبة ، صورة بديلة من المادة تنزع طبيعيا حين تجد المادة الخام المناسبة . واذا كان الأمر كذلك ، فانه يكون من الواضح أن الحياة أبعد عن أن تكون معجزة ، بل هى بالأحرى احدى الظواهر الطبيعية الشائعة للكون . واذن ، فأين هى ؟

عوالم من ورائنا

منذ عصر كوبرنيكس ، لحقت قرون خلت تقريبا ، والبشرية لا تفتأ تتلقى دوسا بعد الآخر يلقنها أنه ما من شىء متميز حول الأرض . فهى مجرد كوكب عادى بالقرب من نجم عادى فى منطقة ما من مجرة عادية . هل لنا أن نتصور أن نشأة الحياة هى استثناء من هذه « الوسطية » ؟

ثم تراها يجب أن تستطرد فيما بينه كوبرنيكس ، وتقول ان الحياة بدورها نتاج عادى لتطور كوكب كالأرض ؟

لو كانت الحياة تنشأ تلقائيا بالفعل حين توجد الظروف المواتية ، فان بحثنا عن مخلوقات كونية يتحول الى البحث عن مواضع تتحقق فيها تلك الظروف . فما أن يوجد كوكب شبيه بالأرض فى مكان ما من المجرة ، حتى يبدأ دبيب صورة ما من الحياة . طبقا لوجهة النظر هذه . ولكن بحثنا فى المنطقة المجاورة لنا غير مشجع . فشقيقات أمنا الأرض الثمانى فى المجموعة الشمسية يختلفن جميعهن عنها فى مسألة استضافة الحياة . ولكن مع ذلك ، فلم يتم استبعادهن تماما .

فلوقت طويل كان المريخ أقوى مرشح لوجود حياة شبيهة بما على الأرض فى عائلة النظام الشمسى . فجوه وان كان لا يقارن فى قسوته بجو الأرض ، فهو أشد برودة وأخف بكثير من جو الأرض ، الا أن صورا من الحياة توجد على الأرض فى مثل تلك الظروف . ويمكنها بلا جدال العيش على سطحه لو نقلت الى هناك . والأكثر من ذلك ، فقد وجدت شواهد على ان الماء ، وهو مكون أساسى للحياة ، قد وجد هناك منذ وقت مضى .

ومن المهم أن نتذكر أن الحياة تطورت على الأرض فى أشكال متعددة ، كل منها تكيفت ببراعة مع الظروف الفيزيائية الخاصة ببيئتها الخاصة ، رغم أن تلك الظروف قد تختلف اختلافا بينا على سطح الكرة الأرضية . فالبكتيريا مثلا يمكنها أن تعيش وسط حمأة من الماء المغلى ، بينما تعيش كائنات ميكروبية فى وسط جليد القارة القطبية ، حيث لا تختلف الظروف كثيرا عنها على المريخ . وحتى لو كانت الظروف الحالية غير قادرة على الاحتفاظ بشكل من الحياة على سطح المريخ ، فانه من المتصور أن تكون الحياة قد ظهرت فى مرحلة رطبة سابقة من تطور الكوكب ، ثم تكيفت الى الظروف الحالية التى نراها غير ملائمة للحياة .

وقد كان المريخ عرضة لعمليات استكشاف طويلة للبحث عن الحياة فيه . كجزء من مهام المركبتين اللتين هبطتا على سطحه فى أوائل السبعينيات من سفينتى الفضاء فايكنج . وقد اجريت اربع تجارب للكشف عن تأثير كائنات حية على تربته ، كتلك التى تعيش على سطح الأرض . وقد أدت احدى هذه التجارب لنتائج ايجابية ، والأخرى لنتائج سلبية . وأدت اثنتان لنتائج محيرة وغير مترقعة . ولا تنفى نتيجة سلبية وجود الحياة .

بل فقط تعني عدم اكتشافها (٦) . والنتيجة الايجابية يجب ان تؤخذ كتأكيد لوجود الحياة . ولكن مع الغموض في التجربتين الأخريين فان ذلك يثير احتمال وجود عيب في اجراءات التجربة . ومن ثم فلا يجب الأخذ بها على علاتها . ومن هذا المنطلق كان حذر اقلب العلماء . فهم يذهبون الى القول بوجود نشاط كيميائي على سطح المريخ ، ولكنهم لا يجازفون بالقول بوجود نشاط لكيمياء حيوية . وعلى ذلك ، فعلى ضوء نتائج سفينة الفضاء فايكنج ، مازال موضـــوع الحياة على المريخ مفتوحا . ورغم أن الصور المرسلة تبين انه ، على الأقل بالقرب من المركبتين ، لا توجد اشجار او حيوانات .

ولعل الامل يكون اكبر على سطح المشترى ، وفي القمر الهائل تيتان لكوكب زحل . وكلاهما موضوع لبحث سلسلة الرحلات الفضائية فوياجير في الثمانينيات . ويعتقد الكثيرون ان الظروف على سطح المشترى ، رغم برودته الفائقة ، تتشـــابه مع الظروف البدائية للأرض : فكميـــات غازى الأمونيا والميثان ، مع العواصف والاعاصير العنيفة تشـــابه ، من منظور معين ، تجربة ميلر ـ يوراى على نطاق هائل . كما ان تركيبته متعددة الطبقات تعطى ظروفا كيميائية وفيزيقية مختلفة واسعة المدى . قد تواتم بعض منها ظروف الحياة ، بل ان اللون السائد في بعض أحزمة المشترى ، وهو اللون الأحمر الضارب للصفرة ، هو نفس اللون الذى تمخضت عنه تجربة ميلر ـ يوراى .

وبالنسبة لتيتان ، والذى وجد باردا لدرجة تدعو للاحباط ، له جو كثيف من النيتروجين . ومن المحتمل ان تكون له بحـــار من النيتروجين السائل . وهو يشبه صورة من الحســـاء الحيوى في حالة برودة شديدة ، رغم في حالة تخزين بالتبريد حين تكون النظام الشمسي منذ أربعة بلايين من الأعوام . ولكن الشـــمس ، طبقا لأكثر التوقعات الفلكية اعتمادية ، سوف تزايد حجما لتصبح عملاقا أحمر ، وتشع بالتالى قدرا أكبر من الطاقة . فهل سيكون ذلك بمثابة اخراج تيتان من ذلك التبريد الفائق وتدفئته الى الحالة التى تعتبر مثالية لنشوء الحياة ؟ ربما يكون الفرق بيننا وبين بقية أعضـــاء النظام الشمسى من حيث وجود الحياة ، فرقا زمنيا وليس مكانيـــا .

وتعتبر بقية أعضاء المجموعة الشمسية ، عدا بوجود حياة فيها . ويكمن الأمل الحقيقى الآن في نجوم أخرى . وتحتوى مجرتنا وحدها على بليون

شمس . العديد منها يمكن أن تكون مصحوبة بتوابع تشبه أرضنا ، وتجعل منها مكانا ملائما لنشـــأة الحياة . وحيث ان أقوى تلسكوباتنا (عدا التلسكوب الفضائى هابل حين يتم اصلاح ما به من عطب) غير قادرة على الكشف عن مثل هذه التوابع ، فان الأمر يظل في طى الافتراضات فقط . وعلى الرغم من اختلاف الآراء حول العدد الممكن للكواكب التى لها ظروف تشبه الأرض ، وحول مدى القرب اللازم بالضبط من ظروف الأرض يجب ان يكون عليه كوكب مأهول . فالعدد هائل بدرجة تدعو المدهشة لو ان قدرا منها ليس مأهولا بالفعل ، حتى لو كان ذلك القدر لا يزيد عن نسبة مئوية ضئيلة . فهذا القدر يمثل بالنسبة لمجرتنـــا فقط عدة ملايين من الكواكب مؤهلة للحياة كما نعرفها . ناهيك عن بقية المجـــرات .

مثل هذه الافتراضات ، مع ذلك ، تنبع من نظرة تعصبية للذات . فلماذا يجب أن تتفق البيولوجيا الغريبة مع معطياتها عن الأرض ؟ الا يمكن للحياة ان تتخذ صورا شتى ، ليست بالضرورة مكونة من البروتينات والأحماض النووية ؟

ان حمض د-ن-١، ما هو الا واحد من صور لا تحصى من السلاسل الجزيئية الطويلة المؤسسة على كيمياء الكربون . فمن الذى يمكنه توقع التكوينات الأخرى ؟ هل من حتما ان نجزم بأن هذه التركيبة بالذات هى الوحيدة التى تمثل اســـاس البيولوجيا ؟ وماذا عن العناصر البديلة للكربون ، كالسيليكون ؟ فعنصر السيليكون مثلا ، رغم كونه ليس في تعدد مزايا الكربون ، يمكنه ان يقوم بنفس الدور كيميائيا . ان الصور المتاحة من مصادر الطاقة والتفاعلات الكيميائية ، لتؤدى بنا الى أن نعتبر بدائل لا حصر لها . ولكن لكونها جميعا افتراضية ، فهى لا يمكن ان تؤخذ بجدية . والسبب الرئيسى في اخذنا لنموذج البيولوجى المبنى على د-ن-١، هو اننا نعرف كيف يعمل على الأرض .

ولو أن الحياة تأسست بالفعل على كيمياء بديلة ، لأمكنها ان تزدهر في اشد البيئات شذوذا . وقد اطلق خيال الخيال لصور شيقة عن كائنات تسبح في بحار النيتروجين على سطح تيتان ، وتزحف في صحراوات المريخ الحمراء . وفيما وراء النظام الشمسى ، يمكن لبلايين من الكواكب ان تضم شتى الصور الغريبة من أشكال الحياة . وفي الواقع ، فان تقبل فكرة الكيمياء البديلة يدفعنا الى استبعاد ألا توجد احدى صور الحياة على كل كوكب من الكواكب . فان التنظيم الذاتى والتعقيد اللذين يشملان

حتى النظم البيولوجية لا يتطلبان اولا واخيرا سوى نظام مفتوح تسرى فيه الطاقة والانتروبيا ، ومصدر مناسب للطاقة (وهو ما يعنى عادة قرنا فى درجات الحرارة) ٠

حياة بدون عوالم

وقد تجاوز بعض العلماء حتى مفهوم الكيمياء الغريبة ، واقترحوا فكرة وجود حياة فى مكان ما مؤسسة ليس على الكيمياء باسرها ، بل حتى عملية ما من عمليات الفيزياء المعقدة ٠ والمثال الواضح هو ما قدمه فريد هويل Fred Hoyle فى قصته الخيالية « السحابة السوداء The black cloud » ٠ فقد تصور هويل فى هذه القصة سحابة ضخمة رقيقة من غاز بين ـ نجمى تمثل كائنا مفكرا هادفا ، يتحرك بين النجوم ليتغذى على الطاقات المتاحة ٠

وفى السنوات الأخيرة اسس هويل نظرية مفصلة مبنية على هذه الفكرة ٠ وبالتعاون مع تشاندرا ويكراماسنغ ChandraWickramasinghe يذهب الآن الى ان الحبيبات الجهرية التى تكون مادة مثل تلك السحب بين ـ النجمية (والتى يتفحصها العلماء مستخدمين الأشعة تحت الحمراء) هى فى الحقيقة بكتيريا متحوصلة داخل أغلفة واقية ٠ ويتحدى الاثنان الفكرة التقليدية بان الحياة قد نشأت على الأرض ، واعادا الحياة لنظرية قديمة وضعها منذ مائة عام العالم السويدي سفانت ارنيوس Svante Arthenius ٠ وهو الذى قام ، بالاضافة للعديد من الأعمال الأخرى ، بعمل حسابات مفصلة عن ظاهرة الصوبة الخضراء ٠ وقد ذهب ارنيوس الى ان الحياة قد تكون منتشرة خلال المجرة على شكل كائنات مجهرية محمولة على ذرات غبارية وتتحرك بدفع أشعة الضوء ٠ وفى صياغة هويل ـ ويكراماسنغ ، فان أعدادا هائلة من كائنات مجهرية مختلفة الأنواع تغزو الفضاء بين النجمى ، مستعدة لاكتساح أى جسم مناسب ، ككوكب أو مذنب ٠ وقد يفسر هذا بشكل جميل كيف بدأت الحياة على وجه الأرض بهذه السرعة بعد بدء تكوينها ، وما يتضمنه ذلك من أن كواكب اخرى قد تكون قد غزيت بالحياة بمثل هذه السرعة ٠ وباعطاء الكيمياء قبل الحيوية بلايين من السنين تمارس خلالها نشاطها على مادة السحب بين النجمية قبل أن يؤذن حتى للأرض ان تتكون ، تجعل النظرية من موضوع الحياة تبزغ من اللاحياة بمجرد الصدفة أمرا اقرب للتصديق (٧) ٠ ولكن من الصعب اعطاء وزن كبير على المفهوم الافتراضى لهويل وويكراماسنغ بان ارضنا تغزوها باستمرار كائنات مجهرية من

الفضاء ، مسئولة عن الموجات الوبائية لأمراض كالانفلوانزا ٠ والاختبار الجوهرى لمثل هذه الافكار هو وجود (أو عدم وجود) حياة على كوكب المريخ ٠ فحيث ان هذا الكوكب هو المرشح الأول للغزو من هذا القبيل ـ رانه من الصعب تخيل كائنات مجهرية يمكنها ان تقاوم الظروف القاسية للفضاء بين ـ النجمى تفشل فى تثبيت اقدامها هناك ـ فان كل نتيجة سلبية لاختبار وجود الحياة على المريخ يحسب على النظرية ٠

كيف اذن يمكن استكشاف الحياة خارج الأرض ، اذا كانت بقية كواكب النظام الشمسى عارية منها ؟ فسابرنا الفضائية لن تجتازها فى مستقبل قريب ٠ فاذا ما انضح عقم شقيقاتنا من كواكب النظام الشمسى، هل معنى ذلك أن يظل الموضوع فى طى الخيال العلمى ؟ وربما لا ، حيث انه يوجد طريق آخر لاختبار التصور باننا لسنا وحيدنا فى الكون ٠

الغرباء فى الكون

ورغم ان اكتشاف اصغر ميكروب فضائى سوف يغير تماما من نظرة البشر للكون ، فان العجب الحقيقى يحيط بامكانية وجود اشكال اخرى للحياة العاقلة ، ومجتمعات غريبة متقدمة تكنولوجيا ٠ وقد سار كتاب الخيال العلمى طويلا وراء هذه التخطيات ، وربما سايرهم بعض العلماء ، ولكن ، ما الحقائق ؟

على الأرض ، يبدو أن الذكاء مقرون بقيمة عالية للبقاء ، وانه نتيجة تلقائية لضغوط التطورية ٠ والذكاء ليس مقصورا على الانسان ، فهو موجود فى غيره ايضا كالدلافين ٠ ومن السهل ان نندفع للاعتقاد بانه ما ان تنشب الحياة حتى تتطور تدريجيا وتلقائيا الى صور اكثر تعقيدا ، بحيث انه حين يشتد الصراع من أجل البقاء يكتسب السلوك الأكثر ذكاء افضلية اكبر فى عملية الانتخاب ٠ وفى الواقع ، فالقفزة من وحيدة الخلايا الى الانسان تبدو أكثر قربا للفهم من القفزة من الحساء قبل الحيوى الى خلية د٠ن٠ا٠ وطبقا لفلسفة كهذه ، اذا ما كانت الحياة منتشرة فى ارجاء الكون ، لكذا يكون الذكاء ، وربما ايضا التقدم التكنولوجى ٠ هى نتيجة تفتح باب الأمل فى امكانية حدوث تماما للكشف عن الحياة خارج الأرض ٠ فبدلا من البحث عن صور الحياة ذاتها ، يمكن البحث عن آثارها التكنولوجية ٠

والاقتناع بوجود صور مختلفة (وربما ذكية) من الحياة على سطح الأرض مجرد رؤية تل للنمل - دون رؤية نملة واحدة هو نوع من قصر النظر • وبضعة عالة عماء ، كان الفلكي برسيفال لويل Percival Lowell مقتنعا ان مجتمعا متقدما قد انشأ شبكة قنوات على سطح المريخ - وللأسف ! فان الأشكال المبهمة التي تخيلها من خلال تلسكوبه اتضح أنها تنتمي للانفعالات النفسية أكثر من انتمائها لحقيقة فيزيقية ، ولكن عندما استخدام التلسكوب للبحث عن آثار حضارات أخرى لاتزال قائمة •

كيف يمكن لمجتمع بعيد أن يكشف عن وجوده لنا ؟ أن أقرب نجم (بعد الشمس) يقع على بعد أكثر من أربع سنوات ضوئية (حوالي ٢٤ مليون مليون ميل) • وأكثر الآراء تفاؤلا لا تتوقع مجتمعا ذكيا أقرب من عشرة ، أو حتى مائة سنة ضوئية • ورصد مثل هذه الحضارات يصبح أمر خارج عن المناقشة •

والأسلوب الأكثر مدعاة للتفاؤل هو الرصد اللاسلكي • فالتلسكوب الراديوي له قدرات وكفاءة تفوق زميله البصري ، جزئيا بسبب طريقة تجميعها بحيث تتضاعف القوة الرصدية - فبعض مثل تلك النظم تكون مكافئة لهوائي بحجم الكرة الأرضية بأكملها • وللأسف ، فما من جهاز على سطح الأرض له حساسية تمكن من التنصت على اشارة في مستوى ما تلتقطه أجهزة التلفاز والمذياع المنزلية ، حيث ان الالتقاط يتم من كافة المصادر المحيطة بالكرة الأرضية • وبختلف الأمر كثيرا لو تركز الالتقاط من مصدر بعينه ، وللتلسكوب اللاسلكي المركب في المرصد الراديوي بالقرب من أريكيبو Arecibo بدولة بورتوريكو مقدرة على الاتصال بجهاز مماثل في أي مكان بالمجرة ، لو فقط علم في أي اتجاه نتوجه بالارسال أو التنصت • فالتكنولوجيا الأرضية اذن قادرة على اقامة اتصال مع أية حضارة توازيها تقدما في المجرة • وقد سيطرت فكرة التخاطب عبر اللاسلكي على خيال كثير من العلماء وغير العلماء على السواء ، ولهم كونها مدعاة للكثير من الاعتراضات • فما الذي يدفع ، هؤلاء القوم ، لتحشم الارسال لنا ؟ وكيف يعلمون بوجودنا أصلا ، وأن لدينا من التكنولوجيا ما يمكننا من استقبال اشاراتهم ؟ وعلى أية حال ، فما الجدوى من مثل هذا الاتصال طالما ان سرعته محدودة بسرعة الضوء ، فتستغرق الرسالة بذلك عقودا ، أو أكثر ، من السنين ؟ وأيضا ، لماذا يستخدم ، هؤلاء القوم ، اللاسلكي ، وليس تكنولوجيا أكثر تقدما لم نوفق

لاكتشافها بعد ؟ ربما تكون حالة شبكة اتصالات كونية تعمل بالفعل عبر مضارات أكثر تقدما منا ، ونحن غير واعين لها •

البحث عن مخلوقات الفضاء

لم تثبط هذه الاعتراضات من عزيمة أنصار الاتصالات المضادة للأسباب الآتية ، ان عمر الأرض الآن ٤٫٥ بليون عام ، حوالي ثلث عمر المجرة لا أكثر ، وقد تطلب الأمر ٤ بلايين عام لتطور الحياة على الأرض من الكائنات المجهرية الى عصر التكنولوجيا الحديثة • فلو أن الحياة قد تطورت بهذه السرعة في الكواكب التي سبقت الأرض في الكون في المجرة ، فان تقدمهم التكنولوجي سيكون قد ازدهر قبل تكوين الأرض بمدة طويلة • والامكانات المحتملة لحضارة سبقت الأرض بآلاف ، أو ملايين ، أو حتى آلاف الملايين من السنين لا يمكن تخيلها • ولعل مسألة مثل مخاطبة كل نظام نجمي في المجرة تعتبر تافهة بالنسبة لهم • أما عن معرفتهم بنا ، فلا ننسى اننا تسببنا في بث اشارات لاسلكية عبر الفضاء تعمل في انتشارها الى خمسين سنة ضوئية حتى الآن ، وما من شك في أن حضارة بالتقدم الذي نتصوره قادرة على أن تحس بهذه الضوضاء التي بثت في الفضاء ، حتى لو كانت امكاناتنا لحن لا تسمح لنا بذلك ، وبتاويخ يبلغ آلاف وآلاف السنين ، فاعل عدة عقود في مدة التراسل مقبولة لهم ، حتى ولو كانت فترة حياة الفرد منهم في مثل عمرنا المتوسط ، وهو أمر خليق بألا يعتقد به • وبالاضافة لذلك ، فان مجتمعا مثل ذلك التطور ، حين يحاول اقامة اتصال بمجتمع ما يزال يحبو في تطوره التكنولوجي (نحن) ، فبالتأكيد انهم سيلجئون الى أكثر الوسائل احتمالا ، وهو اللاسلكي •

ولو افترضنا ان شخصا ما هناك يحاول الاتصال بنا ، فان العقبة الكبرى في استخدام اللاسلكي هي اختيار ذبذبة التراسل • فمع المدى اللاسلكي بأكمله ، كيف لنا أن نعرف الموجة التي سوف يخاطبوننا عليها ؟ في هذا الخصوص قدم جيوسبي كوكوني Giuseppe Cocconi وفيليب موريسون Philip Morrison من معهد Massachusette Institute of Technology معهد التكنولوجيا بماساتشوتس اقتراحا وجيها • ان أي مجتمع له خبرة في مبادىء الفلك الراديوي يجب أن يكون على دراية بالخلفية الراديوية التي تصدرها سحب الهيدروجين حول الأذرع اللولبية لمجرة درب التبانة • ان هذا ، الهمس ، هو أول ما يسمعه راصد لاسلكي • فأي تردد أكثر منه تلقائية في الاستخدام في الاتصال عبر الفضاء

« او ربما نصفه او ضعفه لتلافي تداخل ذلك « الهمس » يمكن اختياره ؟ هذه اذا كان رفاقنا في الفضاء يفكرون في نفس خط كوكوني ومورينسون ....

وقد بلغ الحاس للاتصال بالحاوقات الفضائية بعض الفلكيين درجة اتخاذ بعض الخطوات الفعلية . وقد بينت نتائج تحليل القدر الضئيل من الاشارات المستقبلية من النظم النجمية القريبة عن عدم وجود ما يمكن اعتباره اشارة لحضارة عاقلة . ويتطلب تحقيق قدر معقول من النجاح مجهودات اكثر طموحا وشمولية . وقد قام فلكيو الراديو بجسارة بارسال دفعة اشعاع راديوى من مرصد اريكيبو تجاه كوكبة هائلة من النجوم ، في عمق درب التبانة . ينتظر ، بسبب نشتتها في وحلتها البالغة عشرة ملايين سنة ضوئية . ان تستقبل من اى كوكب يصادف أن يكون دوارا حول نجم من الآلاف المكونة للكوكبة . وعلى العموم ، فان موضوع الاتصال بالكائنات الفضائية العاقلة يعتبر امرا خلافيا بحيث لا يسمح الا بقدر ضئيل من وقت المراصد الراديويه يخصص له . ناهيك عن اقامة شبكات ضخمة من المراصد الراديوية كما يتطلب لأبحاث جادة في الموضوع .

اين هـــم ؟

احد اكثر النتائج المستخلصة من تحليل بسيط لاحتمال وجود مجتمعات خارج الأرض اثارة للشعن ، يتعلق بعدد الحضـــارات المتقدمة تكنولوجيا والمحتملة وجودها في المجرة . ان النجوم والكواكب لا تلفتنا تنكون ، ولما كانت نشأة حياة وتطورها امرا محتملا لكل كوكب مناسب ، فان ذلك يعني ظهور عـدد اكثر واكثر من الحضـــارات باستمرار . وبنظرة متفائلة نرى في ذلك امرا محتوما لكل كوكب يدور حول نجم كالشمس . فان معدل وصول مجتمع جديد لمستوى الاتصال الراديوى عبر الفضاء يكون حالة لكل عقد من السنين ، عقد على مدى عشرة بلايين عام سابقة على تكوين الارض . على اعتبار أن المجرة عمرها اربعة عشر بليون عام ، والارض اربعة بلايين من الاعوام .

وهذه نتيجة مذهلة . تعني أننا ، ولما يمض على اكتشافنا للاتصال اللاسلكي سوى عدة عقود من السنين ، حديثون للغاية في النادى اللاسلكى الكوني في حالة تواجده . اما بقية الأعضاء فعلى قدر أكبر من التقدم في هذا المجال .

على أن عددا من مثل هذه المجتمعات يعتمد اعتمادا شديدا على العمر المفترض للحضارات المتقدمة . وعلى معدل المواليد . فلو أن الأرض دمرت

غدا ، وان حالتنا تمثل نموذجا قياسيا ، فيعني ذلك أن حضارة واحدة فقط في المتوسط هي القادرة على الاتصـــال اللاسلكي عبر الفضاء على مستوى المجرة في كل فترة زمنية محددة . ومعنى ذلك أننا الحائزون لهذا الوضع حاليا ، وفي عزلة تامة ، فنحن أكثر الحضارات تقدما في المجرة باكملها في وقتنا هذا . اما اذا كان العمر الافتراضي للحضارة المتقدمة هو عشرة بلايين عام ، فان ذلك يعني حوالى مليون حضارة منها تعطن درب التبانة في نفس الوقت . لقد قطعت اشواطا أكبر في التقدم منا .

وهذا يثير التساؤل الصعب والمثير الذى صاغه صراحة لأول مرة الفيزيائي الريكو فيرمي Enrico Fermi ، والذى ، من بين اعمال اخرى ، أعطى النيوترينو اسمه . اذا كانت الحياة يمثل هذا الانتشار عبر المجرة على اتساعها ، فمن الصعب علينا ان نتصور لماذا لم تنشأ الحضـــارات المتقدمة من مليون من الأعوام . ألم يكن حريا بها ان تكون قد استعمرت المجرة باسرها في الوقت الحاضر ؟

ولنتصور كيف يتحقق ذلك . تخيل ان حضارتنا قد شيدت مركبة فضاء هائلة ، وزودتها بالطاقة اللازمة لبقاء الحياة على متنها عدة آلاف من السنين ، وليس ذلك عصيا على حضارتنا اليوم ، لو كانت هناك ارادة لذلك ، سيبدأ عدد من المغامرين في الانطلاق بسرعة متواضعة ، بحثا عن موضع جديد لهم . وبالسرعة المتاحة حاليا ، يتطلب الوصول الى أقرب نجم عشرة آلاف عام . المهم أنه بعد عدة آلاف من السنين سيكون كوكب جديد قد استعمر ، وبعد مدة معادلة يكون قد ازدحم ، فنبدأ مرحلة جديدة من الهجرة ، وهكذا .

وباتباع سياسة كهذه ، فانه بعد عشرة ملايين عام لا غير ، وهي فترة وجيزة بالمقاييس الفلكية ، تكون المجرة البالغ اتساعها مائة الف سنة ضوئية قد استعمرت بالكامل . وفي تصور آخر ، يمكن لمن سيوكل اليهم استعمار المجرة أن يرسلوا بدلا منها مسابر من الماسي آلية (روبوتات) ، وهو ما يتجاوز امكانات حضارتنا الحاليه بقليل ، تحمل مواد جينية (بعض من بويضات وحيوانات منوية مجمدة ، أو بيض مخصب متجمد ، أو حتى جزيئات حمضية مصحوبة بالمعلومات الجينية مكودة في ذاكرة الروبوت لتنشط في تخليق الـ د٥ ن٥ أ٥ بمجرد الوصول) بحيث تبذر الحياة ـ بالمفهوم الحرفي ـ في تربة الكوكب المناسب عند وصولها .

ورغم أن الكثيرين قد يشكون في ان تجد حضارة ما الدافع للقيام بهذا العمل ، حتى ولو تمكنت من القيام به تكنولوجيا ، فلنتذكر انه يكفي ان تقدم على ذلك حضارة واحدة على هذه المغامرة ، خلال عمر المجرة البالغ اربعة عشر بليونا من الأعوام (أي حضارة من بين بليون حضارة محتملة ، طبقا للأرقام التي اوردناها) ونحن المجرة قد امتلأت بنسلها الآن . اذن ، فاين هم ؟

والمشكلة تبدو مستعصية بالنسبة لمن يؤمنون بوجود الذكاء في مكان ما من الكون . ربما هم هنا بالفعل ، ولكننا أقل من أن نشعر بهم ، كالنمل يمضي في حياته غير واع لوجود جنس من البشر يلحظهم . ربما ، كما يحلو للمهووسين بالكائنات الفضائية الغامضة ان يدفعونا للاعتقاد به ، تكون الأرض تحت ملاحظة دقيقة من البعد ، يحول بيننا وبين الاحساس بها سبب تجهله . او ربما يوجد ميكانزم ذاتي يؤدي لتدمير اية حضارة تتجاوز قدرا معينا من التقدم ، قبل ان تدخل عصر الغزو الفضائي . ربما تكون نفس القوى التطورية المؤدية لزيادة الذكاء مؤدية أيضا للعدوانية ، بحيث تنتهي الحضارة بالفناء النووي أو ما شبه ، او بتدمير البيئة وافساد مقدرة الكوكب على الحفاظ على بقائه . وبقدر اقل من الاحتمالات الكئيبة قد يكون السفر عبر الفضاء محاطا بمشاكل لم نعرفها بعد . واقل من ذلك احتمالا أن تكون الحياة على الأرض حالة خاصة بحيث لا تكون الأرض مضيافة لصور اخرى من الحياة . وبالتاكيد لا يمكن أن تكون الوحيدين من ذوي الحضارة التكنولوجية على مستوى المجرة ، أو الكون !

من المادة الى العقل

في مقال ظهر في أواخر الثمانينيات ، بعنوان « المعلومات ، الفيزياء ، الكم ، البحث عن الروابط » Information, Physics, Quantum : The search for Links ذهب الفيزيائي جون هويلر الى انه لا مفر من استخلاص ان « العالم لا يمكن أن يكون آلة هائلة ، يحكمها قانون فيزيائي مفروض سلفا » . بل الأكثر دقة في رأيه أن نفكر في الكون الفيزيائي كنظام مهول من نظم معالجة المعلومات . لم تحدد مخرجاته بعد .

وتجسيدا لهذا التغير الجذري في منهج التفكير ، أطلق هويلر الشعار : « it from bit » (٨) ، بمعنى أن كل ... ويقصد بها اي جسم ، أو مجال لقوى ، أو حتى زمكان ، يئول في النهاية الى (بتات) ، اي وحدات معلومات .

وعمليات العلم هي عمليات استجواب للطبيعة ، فكل تجربة قياس، وكل ملاحظة ، يستخلص منها رد من الطبيعة على هيئة وحدات من المعلومات . ولكن طبيعة الكم في اساسها قد جعلت كافة القياسات والملاحظات تؤول الى اجابة من اثنتين : نعم ، و لا . هل الالكترون في طاقته الدنيا ؟ نعم . هل لف الالكترون متجه لأعلى ؟ لا . وهكذا . وبسبب عدم اليقين المبني في أعماق فيزياء الكم ، فانه ليس من الممكن التنبؤ بالاجابة سلفا . والأكثر من ذلك ، وكما قدمنا في الفصل السابع ، فان للمشاهد دورا جوهريا في مخرجات قياسات عمليات الكم . الاجابات ، وتعتمد طبيعة الحقيقة المستخلصة في جزء منها ، على الأسئلة المطروحة .

وهويلر من أشد أنصار مبدأ « الكون المشارك participetory universe » ، والذي يعني أن المشاهدين يمثلون المركز في تحديد طبيعة الحقيقة الفيزيائية ، وان المادة محال أمرها للعقل . ويعتبر فرانك تيبلر Frank Tipler من جامعة تولين Tulane بنيو اورليانز ، من أنصار نفس الأفكار ايضا ، الا ان موقفه مختلف . فهو يرى أن دور المشاهد لما يزل غامضا ، ويعتقد ان الذكاء سوف ينتشر في النهاية عبر الكون ، مساهما بدرجة أكثر وأكثر في أنشطة الطبيعة ، حتى يصل الى تلك الدرجة التي يصبح بها هو نفسه الطبيعة .

وطبقا لأرائه ، فالحياة الذكية ، او ربما اقرب للصحة شبكة من الحاسبات ، سوف تنتشر من كوكب ما (ربما الأرض) وتتسع في سيطرتها ببطء ولكن بثقة ، ليس فقط على النظام الشمسي ، أو المجرة ، بل على الكون بأسره ، وهو تصور يحاكي ما ذهب اليه اليسوعي بيير تايهارد دي شاردين Pierre Teihard de Chardin ولكن مع جعل التكنولوجيا هي العامل الحاسم . وعلى الرغم من الاحتمال أن تستغرق العملية تريليونا من الأعوام . فان أوج هذا التحول التكنولوجي لماهية الطبيعة يتمثل في دمج الكون بأسره في نظام معلوماتي واحد ! وعمليا ، يكون الذكاء قد اختطف النظام المعلوماتي الطبيعي الذي تطلق عليه الكون، واستغله لصالحه .

ونحن نذكر هذه الافكار التي تقر بطنينها لتبين التغيير العميق في المنظور الذي صاحب عصر ما بعد الآلية كنمط للتفكير . فبدلا من مادة شبه منحجرة في آلة نيوتن الضرامية الأطراف ، لدينا شبكة مترابطة من تبادل المعلومات ، نظام مفتوح شمول غير قطعي ، مزدحم بالامكانات

وصنع بيراه لا يضيف ، وان العقل البشرى لناتج ثانوى من هذه العملية الفاوضائية التسعة ، ولكنه نتاج ثانوى قادر على فهم ابعاد العملية ، على الاقل جزئيا .

وقد اسس ديكارت صورة العقل البشرى كنوع من مادة هلامية توجد على استقلال عن الجسد ، وفى مرحلة متأخرة بكثير ، سخر جيلبرت رايل Gilbert Ryle من هذا الازدواج باشارة للجزء العقل بـ « الشبح فى الاله » ، وقد عبر رايل عن نقده اللاذع خلال مرحلة من اوج انتصار المادية والآلية .

و « الآلة » التى اشار اليها كانت الجسد البشرى والعقل البشرى ، باعتبارهما مجرد اجزاء فى آلة كونية اكبر ، ولكى حتى نطلق هذا التعبير البليغ ، كانت الفيزياء الحديثة تسن طريقها ، عابطة بالنظرة للعالم التى كانت الاساس لفلسفته ، واليوم وعلى مائة القرن الواحد والعشرين ، يمكننا ان نرى أن رايل كان على حق فى رفض ذلك الشبح فى الآلة ، ليس لعدم وجود الشبح ، بل لعدم وجود الآلة .

حواشى الفصل العاشر

(١) مشتقة من الكلمة الاغريقية بمعنى « نهاية » ـ (المترجم) .

(٢) الهة الارض عند الاغريق ـ (المترجم) .

(٣) وهو فى الواقع تعبير اخر عن مبدأ التنظيم الذاتى للنظم المعقدة ، حية كانت او غير حية .

(٤) الجزيئات « العضوية » فى جزيئات تحتوى على الكربون ، وهو عنصر له خاصية مشيرة للكربون جزيئات اكثر تعقيدا بالترابط بذرات عناصر اخرى اهمها الهيدروجين ، هذه الجزيئات المعقدة مرتبطة بالانظمة الحية ، ومن ثم كانت شديدة التفاعل ولكنها يمكن ان تنتج ايضا بطرق اخرى ، ولذا فهى رغم كانت ضرورية لوجود الحياة ، فانها ليست دليلا قاطعا على وجود الحياة .

(٥) حاز على جائزة نوبل عام ١٩٦٢ (المترجم) .

(٦) فمصيدة للفئران نظام فى تكوينه بالفعل لا تقصد اية فئران ، ولكن ذلك لا ينفى وجود الفئران على سطح الارض .

(٧) اقرب للتصديق نظريا ، حيث انه يوجد وفرة من الزمن ، وتكتسب اصعب تصديقا من الناحية النظرية ، حيث ان الذى الواسع للظروف الفيزيائية والكيميائية على مستوى المجرة ككل يجعل من الصعب معرفة من اين يمكن البدء لوضع نظرية تفصيلية لنشأة الحياة .

(٨) كلمة bit تعنى وحدة المعلومات ، وتترجم « بت » ، أو « بتة » ، اما التعبير نفسه فنرى عدم ترجمته ، حيث سيفقد معناه كتمثل المعلومات المشتركة المعتمدة على التلاعب اللغوى ـ (المترجم) .

كشـــاف

اونسفورد ، جامعة : ١١٦
ايونلو : ٤٤
اتصال : ٢٢٢
اتصالات ، الشبكة العالمية : ٢٠
الذي : ٢٧ ، ٢٨ ، ٣٠ ، ٩٧
اجرام سماوية ، حركة : ٢٢ ، ٢٣
اجسام ساقطة سقوطا حر : ٤٣ ، ٨٠
اجسام فضائية غامضة : ١٨٨
اجسام مادية : ٩٨
اجسام مرئية : ١٥ ، ١٨ ، ١٧٤
اجسام مضادة : ١٣٠
احصائية ، نظم : ٣٣
احماض امينية : ٢٢٤ ، ٢٣٥ ، ٢٣٦
احماض نووية : ٢٢٩
اختيار مؤجل : ١٧٨
ادلجتون ، السير ارثر : ٢٨ ، ٨٧ ، ٢١٥
اذني ، طاقة : ٥٤
اذاعة ، موجات : ٢٧
ارتميوس ، سفانت : ٢٤٠
ارسطو : ٢٢٠
ارسطي ، مفهوم : ٩٣
ارض ، المعاج : ٦٤
ارض ، سرعة : ٦٦ ، ٦٧
ارض : ٦٩ ، ٩٠١
ارض ، الغلاف الهوائي لـ : ١٢٥
ارض ، جواف : ١٠٤
ارض ، نظام مفتوح : ١١٢
ارضية ، اهتزازات : ١٦١
اوربا : ٢٠
اريكيبو ، مرصد : ٢٤٢ ، ٢٤٤
اسبكت ، الان : ١٨٥
اسبكت ، تجربة : ١٨٦
استراليا : ٢٠ ، ٢١
استواء ، خط : ٦٤
اسلامي ، علم : ٢٩
اسية ، ٣٦
اشعاع ، حرارة ، ١٢٧
اشعاع : ٦٧ ، ١١٢
اشعاعي ، نشاط : ١٦٧
اشعة كونية : ١٣٣
اصطناعي ، ذكاء : ١٩٠
اطار اسناد : ٢٧ ، ٦٤ ، ٧٦ ، ٨٠
اعادة استنظام : ٢٠٠
اغريق : ٥٩
افق احداث : ٢١٩
الغام بيضاء : ٢١٥
افلاطون : ٥٩
اكس ، اشعة : ٦٧ ، ٢١٨
اكسجين ، ذرة : ١٣٠ ، ١٣١
اكسجين : ١٥٢
اكوان متعددة : ١٨٢ ، ١٨٧
اكوان وليدة : ٢٢٨
اكوان اخرى : ٩٩
الان ، طبيعة : ١٠٩
الات حيوية : ١٧
الات ، عصر : ١٦
الان ، طبيعة : ١٠٩
الان : ٢٤
الان ، مفهوم : ٥٩
الماء : ٤٣
امبير : ٢٠
انفا ، اشعاع : ١٧٢
انفا ، اقمار : ١٦٧
ذرة جسيم : ١٦٨ ، ١٧٢ ، ١٨١
الفين ، هانز ، ١٣٥
الكترون ، مجال كهربي : ١٩٨
الكترون ، موجة : ١٧٥ ، ١٨٠
الكترون : ٢٤ ، ٢٨ ، ٧٦ ، ١١٢ ، ١٢٢ ، ١٢٤ ، ١٢٧ ، ١٥٢ ، ١٦٨ ، ١٦٩ ، ٢١٠
الكترون ، جسيم : ١٣٠
الكترون ، طاقة حركية : ١٣٢
الكترون ، كتلة : ١٣٣
الكترون ، سرعة : ٧٢
الكترون ، طاقة : ١٧٠
الكترونات ، مستويات الطاقة : ١٩٦
الكترونيات : ٥١
الكترونية ، اجهزة : ٥٢
الكترونية ، موجات : ١٧٢
الامريكية ، الولايات المتحدة : ٢٠ ، ٦٧
اليابان : ٢٠

ادراض فيروسية : ٢٢٢
الوبيا : ٢٢٤
انبوبة عظمى : ٢٠٥
انتاركتيكا : ٢٢٧
انتصاب طبيعي : ٢٣١
انتروبيا منخفضة : ١٢٤ ، ١٢٤
انتروبيا : ١٢٠ ، ١١١ ، ١٢٦ ، ٢٤٠
انتروبيا سالبة : ١١٦
انثروبولوجي ، مبدأ : ١٩٢
انثوى ، علم ، ٢٩
انجلترا ، ٢٢٣
انزياح تجاه اللون الاحمر ، ١٥٨
انزياح احمر : ٩٣ ، ٩٠٠ ، ٩٠٣
انزيمات ، ٢٢٥
انسان ، الحرية الشخصية ، ٤٢
انسحاق عظيم ، ١٥٦
انفجار عظيم ، عهد ، ٦٩٠
انفجار عظيم : ٨٦ ، ٩٤ ، ٩٥ ، ١٠٠ ، ١٠٧ ، ١٠٨ ، ١٠٩ ، ١١٣ ، ١١٦ ، ١٢٣ ، ١٢٤ ، ١٣٤ ، ١٣٩ ، ١٤٢ ، ١٤٤ ، ١٤٣ ، ١٥١ ، ١٥٢ ، ١٥٣ ، ١٥٤ ، ٢٠١ ، ٢٠٨
انفجار عظيم ، مفهوم : ١٠٦
انفجار عظيم ، نموذج تضخمي ١٤٤
انفلوانزا ، مرض ، ٢٤١
انمليجي ، مسمار شبه : ٣٧
اوتار فلكية : ١٦٣ ، ١٦٩ ، ١٧٨
اوليفر ، جيرمان : ٢١٣
اير : ١١٨
ايرشت : جورج : ٢٦
ايشتاين ، مسلمة : ٦٨
ايشتين ، مغالطة : ٨٥
ايشتين ، نظرية : ٨٣
ايشتين : ٢٨ ، ٣٠ ، ٥٩ ، ٦٦ ، ٦٨ ، ٧٤ ، ٧٨ ، ٨٠ ، ٨٤ ، ٨٧ ، ٩٤ ، ٩٧ ، ١٢٠ ، ١٣١ ، ١٦٠ ، ١٦٣ ، ١٨٣
ايشتين ، الصورة الكمية لمغالطة : ١٢٣
ايشتين ، نظرية الجاذبية : ٢٠٤

(ب)

باب اخضر ، قصة : ٩٦
باركلي ، جورج : ٦٥
بارمينيدس : ٦٥
باريس : ١٨٥
باستير ، لويس : ٢٢٣
بانولي ، مبدأ استبعاد : ١٣٢
بنوني ، ولفيانج : ١٣٢
بدات : ٢٢٩ ، ٢٤٦
بحث عن رواية معلومات ، فيزياء الكم : ٢٤٦
بديهي ، منطق : ٢٣ ، ٩٧
برجماني ، منهج : ٨٩
برغسون : ٨٥
برغسيا ، كتاب : ٢٦
برواية ، حركة : ٣٤ ، ٤١
برون : ٢٤ ، ٩١٣ ، ١٢٨ ، ١٣١ ، ١٣٣ ، ١٣٨ ، ١٥٢ ، ١٩٧ ، ٢٣٤ ، ٢٣٩
برون ، انحلال : ٢١٩
برون ، تحلل ، ١٣٧
برون ، مضمار ، ١٣٣
بروتونات ذات شحنة موجبة ، ٢٢٩
بروتونات عالية السرعة : ٢٢٨
بريجوجين ، ايليا ، ٣٢ ، ٤٣
بشر مضادون : ١٢٤
بشرى ، عقل : ٧١ ، ٧٢ ، ٩٦
بعد زمني : ٨١ ، ٩٠
بعد مكاني : ٩٠
بعيدة ، مجرات : ٦٤ ، ٨٤ ، ١٠٠
بعيدة ، نجوم : ٨٥ ، ٨٦
بكتيريا : ٢٣٧
بل ، جون : ١٨٥
بل ، متباينة : ١٨٥
بلازما : ٥١
بلانك ، ثابت : ١٧١ ، ١٧٥
بلانك ، زمن : ١٢٣ ، ١٤٤
بلانك ، مسافة : ٢٢ ، ١٤١
بلورة : ١٧ ، ٥٧ ، ٥٢ ، ٩١٠
بنزول حر الحرة : ٣٦
بندول ، حركة : ٣٥ ، ٣٧ ، ٤١
بندول : ٤٠
بنزور ، روجر : ٩٤ ، ٩١٦
بنكروبه ، هنري : ٣٥
بودونوسكي ، بوريس : ١٨٤
بوزون : ٢٠٣
بورنيرون : ١٢٤ ، ٩٣٥ ، ٩٣٧
بوسطة ايرة : ٩١٧ ، ١٩٨
بولتزمان ، لودفيج : ١١٠ ، ١١٢
بوليكوف ، الكسندر : ٥٦
بوم ، دافيد : ٣٠
بوندي ، سير هيرمان : ٨٧
بوهر ، نيلز : ٢٩ ، ١٧٠ ، ١٧٥
بيولوجيا ، علم : ٢٣٣
بيولوجيا مائية : ١٧
بيولوجيا : ١٧ ، ٢٥ ، ٤٧ ، ٥٧ ، ٢٣٠
بيولوجيا ، النشطة : ٢٣٦
بيولوجيا ، عمليات : ٢٣٤
بيولوجية ، نظم : ٢٤٠
بيون : ١٢٨ ، ٢٥٠

ت

تاثير نجاذبي : ١٤٢ ، ١٥٦ ، ١٥٩
تايلور ، جون : ٢٦٢
تجاذبي ، انهيار : ٢١٨
تجاذبي ، مجال الثقوب : ٨٤
تجاذبي ، مجال : ٨٤ ، ٢٦٢
تجارب ذهنية : ١٨٤
تذبذبات عشوائية : ١٢٥
تذبذبات كمية : ١٤١
تركيب نري : ١٧٠
تسارع : ٦٥
تشتت : ٤٨
تشاوبه طوبولوجي : ١٥٥
تضخم فلكي : ٨٧
تضخمي ، تعدد مفاجيء : ١٤٣
تضخمي ، سيناريو : ١٤١
تضخمي ، نموذج : ١٤٤
تضخمية ، مرحلة عنيفة : ١٤٣
تضخمية ، مرحلة : ٢٢٧
تضخمية ، نظرية : ٨٧ ، ١٤٨ ، ١٥٤
تطور ، نظرية : ٢٥
تعدد اكوان ، فكرة : ٩٥
تغير جيني : ٢٣٩
تقليدي ، نموذج : ١٤٤
تكاملية ، مبدأ : ١٧٤
تكساس ، جامعة : ١٧٧
تكيسلوب ، اختراع : ٢١٧
تلسكوب فضائي : ٢٣٩
تمدد فجائي عنيف : ١٤٤
تمدد ، مركز : ١٠٢
تناظر : ٢٠٠
تنجستا : ١٣٩
توبوت ، جيرارد : ٥٦
توازيخ بديلة : ١٨٢
توافقيات : ١٢٦
توائم : ٥٩ ، ١١٧
توزيع منتظم للخلفية الاشعاعية، ١١٦
توزيع منتظم لكون جذاني : ١١٦
توصيل فائق ، حالة : ٥٤
توصيل فائق ، ظاهرة : ٥٢
تولين ، جامعة : ٢٤٧
تيلار ، فرانك : ٢٤٧
تيقان ، سطح : ٢٣٩

ث

ثابتة ، نجوم : ٩٦
ثرمو ديناميكي ، حالة توازن ، ثرمو ديناميكي ، عدم توازن : ١٩٥
ثقب ابيض : ٢٢١
ثقب اسود : ٧٧ ، ٨٠ ، ٩٥ ، ٩٩ ، ١١٥ ، ١١٦ ، ١٢٩ ، ١٦٤ ، ٢١٥ ، ٢١٨ ، ٢٢٠ ، ٢٢٣ ، ثقب دودي : ٢٢٣ ، ٢٢٤ ، ٢٢٥ ، ٢٢٨

ج

جاذبية ارضية : ٤٣
جاذبية ، قانون : ٧٨ ، ١٤٥
جاذبية ، حاجز : ١٤١
جاذبية ، قوة : ٧٨ ، ٩٠ ، ١٠٤ ، ٢١٤
جاذبية مضادة : ١٠٨ ، ١٤٢، ٢٢٢ ، ٢٢٥
جاذبية ، معادلات : ٩٢٠
جاذبية ، موجات : ٨٣ ، ٩٦٠ ، ٩٦١ ، ٩٦٢ ، ٩٦٣ ، ٩٦٤ ، ١٩٧ ، ١٩٨
جاذبية ، نظرية عن : ٧٧ ، ٩٥١
جاذبية : ١٧ ، ١١٤ ، ١٤٠ ، ١٤٥ ، ١٤٨ ، ١٩٣ ، ١٩٧، ٢٢٤
جاليليو : ٢٢ ، ٦٠
جادوف ، جورج : ١٩٨
جانوس ، كلرق : ٨٢
جراميتون : ١٩٨ ، ٢٠١
جرافيتيو : ١٥٢ ، ٢٠٤
جزيئي ، تركيب : ٢٣٦
جزيئي ، مستوى : ٢٤
جسم كروي منفرد : ٦٥

جسم مرئي : ١٥٨ ، ٢١٨
جسم نقدري : ١٢٥ ، ١٢٨ ، ١٤١ ، ١٩٥ ، ١٩٦ ، ٢١٠
جسيم مضاد : ١٣٧
جسيمات ، ازدواج : ١٣٦
جسيمات افتراضية : ١٩٧
جسيمات ظلية : ٢٠٧
جسيمات العالم دون الذري : ٢٠٦
جسيمات المادة السمراء : ٢٢٩
جسيمات النيوترينو : ٢١٨
جسيمات اولية : ١٨ ، ٢٤ ، ٢٩ ، ٣١ ، ٤٧ ، ٥٩
جسيمات بيولوجية : ٢٥
جسيمات ثانوية دون ذرية : ١٣٣
جسيمات حقيقية : ١٣٠
جسيمات دائمة : ١٤٢
جسيمات دون ذرية : ٢٤ ، ٥٤ ، ٥٦ ، ٧٦ ، ١٢٩ ، ١٧١ ، ١٨٤
جسيمات ذرية : ١١٣
جسيمات عالية الطاقة : ١٣٨
جسيمات غريبة غير مرئية : ١٤١
جسيمات مادية حقيقية : ٢٠٤
جسيمات منكتلة : ١٩
جسيمات مضادة : ١٣٣ ، ١٣٤ ، ١٣٥ ، ١٣٦ ، ١٣٧ ، ١٣٨
جسيمات : ١٢٤
جسيمات مفردة : ١٣٠
جسيمات : ١٢٤
جلونات ١٩٧ ، ٢٠٢
جمعية ملكية بادنبرة : ٤٧
جنيفة ، شفرة : ٢٥
جوث ، آلان : ١٤٦
جوتل ، كورت : ٨٥
جيرديل ، كون الدوار : ٩٩
جوزيفسون ، وصلة : ٥٢
جيروسكوب : ٨٦
جيلمر ، جورج : ١٩ ، ٢٠
جيني ، كود : ٢٣٥
جينية ، معلومات : ٢٤٥
جينية ، مواد : ٢٤٥

ح

حاسب آلي : ٣٥ ، ٥٠ ، ٥٧
حديث بزوغ علم : ٩٠
حديث ، علم : ٧٧ ، ١٩٢
حديثة ، تكنولوجيا : ٢٤٣
حديثة ، فيزياء : ٨٩ ، ٩٦ ، ١٢٩ ، ١٩٣ ، ٢٤٨
حديد : ١٩٢
حرارى ، اشعاع : ١٧٠
حرارى ، موت : ١٠٩ ، ١١٥
حرارية ، اشعاعات : ٢٢
حرارية ، ديناميكا : ٢٢
حركة حقيقية وظاهرية : ٦٢
حركة دائرية : ٦٢
حركة غير منتظمة : ٨٢
حركة قوانين : ١١٠
حركة متغيرة : ٦٢
حركة منتظمة : ٦٢
حركة : ١٢٤
حزوز التداخل : ١٧٥ ، ١٧٦
حفريات : ٢٦
حقيقية ، اعداد : ٤٠
حمة ، كائنات : ٩٧
حيوى ، حساء : ٢٣٨
حيوى ، مجال : ٢٣٢ ، ٢٣٣
حيوى ، مذهب : ٣٥
حيوى ، نظرية المذاهب : ٢٥
حيوية ، مواد : ٢٣٤

خ

خامدة ، مادة سمراء : ٥٧
خروج سلس ، ١٤٧
خطية ، علاقة : ٤٤
خطية ، نظم معقدة : ٤٥
خطية ، نظم : ٤٤ ، ٤٥ ، ٤٦
خلية اشعاعية كونية : ٨٦ ، ١٣٧ ، ١٤٣ ، ١٥٣ ، ١٥٨
خلية اشعاعية : ١١٤
خوارزم ، ٢٩
خيال علمي : ٩١ ، ٢٤١

د

د.ن.ا : ٢٥ ، ٢٣٤ ، ٢٣٩ ، ٢٤١
داروين : ٢٦ ، ٢٣٣
داروين ، انتخاب طبيعي : ٢٣٥
ايسنون ، فريمان : ١٩٠
دراينن ، هانز : ٢٥
درب التبانة ، مجرة : ١٠١ ، ١٦٠ ، ٢٤٣
دساتق ثلاث اولى : ١٢٣ ، ١٢٤
دن ، جي : ١١٩
دنيا ، طاقة : ٥٦
دوائر متداخلة ، نموذج : ٢٣
دوائر متداخلة : ٢٣
دوار : ١٢٠
دوالكتز ، رينشارد : ١٧
دوبلر ، ظاهرة : ٨٣
دوران ، الحماء : ٨٥
دوران ، مطلق : ٦٥
دوران : ٦٥ ، ٦٦ ، ٢٠٢
دورانية ، حركة : ٦٥
دولة ماهرة : ٢٠
دولة محفوظة : ٢٠
دون ذرات : ١٢٥
دون ذرى ، عالم : ٥٦
دون ذرية ، فيزياء : ٢٢٩
دويفن ، تجربة : ١٨٩ ، ١٧١
دى بيروغلى لويس : ١٧٠ ، ١٧١
دى سيتر وليام ، نموذج : ٩٣
دى شاردين ، تايهارد : ٢٤٧
دى شامبو ، فيليب : ١١٢ ، ١١٣
دى فريز هندريك : ٤٧
ديراك واندرسون : ١٣٤
ديراك : ١٣١ ، ١٣٣
ديكارت : ٢١٢ ، ٢٤٨
دمقريطس ، ١٥ ، ١٦
ديناميكا حرارية ، قوانين : ١٩٥
ديناميكا حرارية : ١١٥
ديناميكية ، نظم : ٩٩

ذ

ذاتي ، خلق : ٢٢٣
ذاتي ، قصور : ٦٢ ، ٦٦ ، ٧٧
ذرات عبارية : ٢٤٠
ذرات كربون واكسجين : ٢٣٥
ذرة : ١٢ ، ١٥ ، ١٧ ، ٢٩ ، ٣٠ ، ١٢٥ ، ١٣٤
ذرات ، مكونات اولية : ١١٣
ذرة ، نواة : ١٤٠
ذرى ، عالم : ٢٦٨
ذرى ، مسلوى : ٢٤
ذ.ن.ا : ٢٣٤
رابيو ، موجات : ٤٥ ، ١٦١
راديوى ، اشعاع : ٢٤٤
راديوى ، تليسكوب : ٢٤٢
راديوية ، اشعة : ٦٧
راديوية ، مرآصد : ٢٤٤
راديوية ، نبضات : ١٦٣
رادسل ، سكوت جون ٤٧ ، ٥٠
رايل ، جلبرت : ٢٤٨
رذرفورد ، ١٦٩
رذرفورد ، نموذج : ١٦٨
روزن ، ناثان : ١٨٤
رياضى ، تحليل : ٢٢ ، ٤٥ ، ١٥٩
رياضى ، مفهوم : ٣٩
رياضيات : ٤٥ ، ٩٨
رياضية ، حسابات : ٢٠٣
رياضية ، صيغ : ٩٠
رياضية ، معادلات : ٢١
رياضية ، قوانين : ١٧
رياضية ، نظرية : ١٤٠
ريخنباخ ، هانز : ١١٨
ريمان ، جورج : ٨٢
زمكان ، التواء : ٨٠ ، ١٦٠
زمكان ، الصيغة الرياضية : ٩٠
زمكان ، انحناء : ٢٢٣
زمكان مفوس : ٨٢ ، ٩١
زمكان ذى ابعاد اربعة : ٢٠٩
زمكان ، قوانين ميكانيكية : ٨٣
زمكان مفرود : ٢٢٤
زمكان ، مفهوم : ١٨٧
زمكان متحلى : ٩٧
زمكان ، وجهة نظر : ٩٣
زمكان : ٥٩ ، ٧٠ ، ٨٩ ، ١٢٣
زمكان ، هندسة : ١٩٤
زمكانى ، بعد : ٧٣
زمكانية ، اتفاق : ٢٢٩
زمكانية ، مسافة : ٧٦ ، ٩١
زمن ، تلوه : ٩٦
زمن ، نمدد : ٨٨ ، ٨٩
زمن ، سريان : ١٢١
زمن سهم : ١١٠ ، ١١٢ ، ١١٤ ، ١١٦
زمن : ٣٥ ، ٧٥ ، ٩٩ ، ١٠٠ ، ١٠٦ ، ١٢٣ ، ١٢٤ ، ١٩٢
زمن ، تقسيم الى ماضى وحاضر ومستقبل : ٧٤
زمن ، طبيعة : ١٠٩ ، ١١٦
زيارة لسبة : ١٤٣ ، ١٤٩

س

سببية مفهوم : ١٢٤
سببية : ٢١
سديم السرطان : ٢١٧
سقوط حر : ١٢٧
سمارت ، جي : ١١٨
سومر نوفا : ١٦٢
سونجلون : ٥٠ ، ٥١
سيبريا : ١٣٩
سيبكلوجى ، الطباع : ١١٧
سيكولوجى ، اختراع : ١١٨
سيليكون : ٢٣٩

ض

ضاغط ، سكون الفضاء : ٨٦
ضاغط اسبجنلر ، مسوير اضاليين : ٢١٥
ضروديفجر ، قطة : ١٨١ ، ١٨٢
ضروديفجر ، معادلة : ١٣١ ، ١٧٩
ضغوى بدائية ، رفيق : ٢١٥
ضمال ، قطب : ٦٤
ضمس ، جاذبية : ٨٠
ضمس : ٩٥ ، ٩٩ ، ٩٩ ، ١٠٢ ، ١١٤ ، ١٢١ ، ١٤٣
ضمير ، نظام : ٢٢ ، ٩٢ ، ١٦٧ ، ٢٠٩ ، ٢٣٧

ص

صدفة ، قوانين : ٤١
صغرى ، حالة المجال : ٥٤
صناعية ، اقمار : ١٣٥
صوية خضراء ، ٢٤٠
صوتية ، موجات : ٢٧ ، ٤٥ ، ١٧٢ ، ١٧٤
صوف : ٢٠

ط

طوء ، سرعة : ٦٧ ، ٦٨ ، ٩٩ ، ٧٢ ، ٧٤ ، ٧٦ ، ٧٧ ، ٨١ ، ٨٨ ، ٩٣ ، ١٦٢ ، ١٨٥ ، ١٩٨ ، ٢٤٢
ضوء ، شعاع : ٦٨ ، ٧٨
ضوء حراري ، حرارة : ١٢٧
ضوء ، مصدر : ١٧٩
ضوء ، موجات : ٩٧ ، ٩٣ ، ١٠٠ ، ١٧١
ضوء : ٩٠ ، ١٠٠ ، ١٣٠
ضوء ، انعكاسات : ٨٨
ضوئية ، البقع : ٥١
ضوئية ، نبضة : ٧٣

ظ

ظاهرة ، قوة : ٦٢ ، ٦٤ ، ٦٦ ، ٨١ ، ٨٩ ، ٨٦ ، ١٤٢
ظلمات ، تهريبة : ١٢٩
ظلة : ٢٤٠
ظاهة نجاذبية : ٩٣٠
ظاهة سالبة ، بحر : ١٣٣
ظاهة سالبة ، مشكلة : ١٣٣
ظاهة سحرية : ٢٢٨
ظاهة عالية : ١٣٦
ظاهة مركزة ، موجات حاملة : ٥٣
ظاهة موجية : ١٣٣
ظاهة : ٢٣ ، ١٠٠ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١٢٤ ، ١٢٦ ، ١٢٧ ، ١٢٩ ، ١٣٠ ، ١٣٦ ، ١٤٠ ، ١٤٢
ظاهة ، صور ، ١٠٩
ظاهة ، مفهوم : ٢٣
ظبيعة النظام الرياضي : ٥٣
ظبيعة ، عدم اليقين : ٤٦
ظبيعة ، قوانين : ٤١ ، ٤٤
ظبيعة ، ظواهر : ٤٣
ظوبولوجيا : ٥٣
ظول وعرض ، خطوط : ١١٨
ظول : ٥٩

ع

عادية ، موجات : ٤٢
عالم دون ذري : ١٧٤ ، ١٨٢
عالم كمي : ١٨٢
عالم ذري : ١٧٤ ، ١٨٢
عالم حرئي : ١٦
عالمية ، شبكة : ٢١
عبد السلام : ٢٠٠
عجلة دولاب : ٣٤
عجينة : ٦١
عداد جيجر : ١٨٩ ، ١٨٩
عدم اليقين الكمي : ١٨٢ ، ١٨٦
عديم اليقين ، مجالا : ٣٤ ، ١٨٢ ، ١٩٤
عدم اليقين : ١٧٦
عدم يقين النم : ١٢٥ ، ٢٢٠
عدم يقين : ٤٢ ، ١٢٤ ، ١٢٧
عشوائية ، عمليات : ٣٣ ، ٣٤
عشوائية ، ٤ ٣٢ ، ١٠٩ ، ١١٠
عشوائية ، حركة دائمة ، ١١٤
علم حديث ، الفلك : ٢٨
علم حديث : ١٣
علم ، عصر : ٢٥
علم ، مجال : ١٩٦
علمية ، طريقة : ٢٢
علمية ، نظريات : ٢٢ ، ٢٣ ، ٢٨

غ

غازية : ٢٣٠
غاز مثالي : ١٢٧
غاز : ١١١ ، ١١٢
غاز ، جزيئيات : ١١٠ ، ١١٢ ، ١١٦
غازات نوادية : ١٢٩
غازات مؤينة بضوء النيزر ، ١٢٧
غبار كوني : ١٣٩
غير خطي ، مجال : ٥٤ ، ٥٥
غير خطية ، تأثيرات : ١٩ ، ٥٠
غير خطية ، موجات : ٤٦
غير خطية ، نظم : ١٩ ، ٤٤ ، ٤٦ ، ٥٧
غير منتظمة ، حركة : ٦٥ ، ٦٦ ، ٧٧
غير هيولية ، نظم : ٣٥ ، ٣٧ ، ٤٢

ف

فائق ، تأثير : ٢٠٢ ، ٢٠٣
فائق ، توصيل : ١٧٣
فائق ، مجال التوصيل : ٥١
فائقة ، اجرام ذات جاذبية : ٨١
فائقة التوصيل ، مواد : ٥٣
فائقة الحساسية ، اجهزة : ١٦٢
فائقة السرعة ، جاسيات : ٥٧
فائقة ، نظرية أوتاني : ٢٤ ، ٢٠٩
فائقة ، اوتار : ١٩ ، ٢٠٩
فائقة ، جاذبية : ٢٠٤ ، ٢٠٦
فائقة ، ظاهرة الأوتار : ٥٤
فائقة ، كونية : ١٥٢
فرادي وسلكسوويل ، اعمال ٦٧
فايتمج ، سفينة الفضاء : ٢٣٧ ، ٢٣٨
فاينمج ، ستيفان : ١٢٣ ، ٢٠٠
فرة زمنية : ٥٩ ، ٧٤
فحم : ٢٠
فراغ الفضاء : ١٣٠
فراغ خلو : ٦٧
فراغ ، فكرة : ٦٠
فراغ كمي : ١٢٨
فراغ لا نهائي : ٦٠
فراغ : ٢٧ ، ٦٠
فراغ ، طبيعة : ١٢٥
فربميونات : ٢٠٣
فضاء ، الثواء : ٩٦
فضاء بالمفهوم الفيزيقي : ٦٠
فضاء بين المجرات : ١٠٦
فضاء بين نجمي : ٢٤٠
فضاء بيلي : ١٠٣
فضاء ، تكوين : ٨٠
فضاء ، تعدد : ٩٣
فضاء ثنائي الأبعاد : ٨٥ ، ٢٠٥
فضاء علماء الهندسة الاغريق : ١٠٤
فضاء فارغ : ٦٥ ، ١٢٥
فضاء كمي : ١٤٥
فضاء متعدد ، فكرة : ٩٣
فضاء مسطح : ٨٣
فضاء مطلق : ٦٢ ، ٦٤ ، ٦٥
فضاء مقوس : ٨٢ ، ٩٠
فضاء منحنى : ٩٦
فضاء وزمن ، طبيعة : ٦٦
فضاء : ٦٥ ، ٦٧ ، ١٩٢ ، ١٩٥
فضاء ، اجواز : ١١٢
فضاء ، برودة : ١١٤
فضاء ، تكوس : ١٠٥
فضاء ، سحابة غازية في : ١١٥
فضاء فيزيقي : ٩٩
فضاء ، مفهوم : ٥٩
فضائي ، نافذ : ٢٢٢
فضائية ، مخلوقات : ٢٤٤
فعل اقل ، مبدأ : ٢٢٨
فقد حراري : ٩١٠
فك العلم الاثيري : ٦٠
فلك ، علم : ٨٤
فلكي : ٩٩
فوتون : ٧٤ ، ١٢٥ ، ١٢٦ ، ١٣٧ ، ١٧٠ ، ١٩٥ ، ١٩٨ ، ٢٠٢
فوتونات ، امتصاص : ١٢٤
فوتونات ، تقديرية : ١٢٥ ، ١٢٩ ، ١٩٨
فوتونات وقتية : ٢٢٦
فوتونات ، طاقة : ١٢٧
فوتيتو : ١٥٢
فوسفور : ٢٣٥
فوشي : ١٠٩
فيتش ، فال : ١٣٩
فيثاغورث ، نظرية : ٧١ ، ٧٣

فيرمالك ، وليام : ٨٦
فيرمي ، انريكو : ٢٤٥
فيروس : ٢٣٦

فيزياء جزيئية : ٤٢
فيزياء ذرية : ٤٢
فيزياء ، عمليات معقدة : ٢٤٠
فيزياء ، نوازين : ٣٢ ، ٤١ ، ٩٤ ، ٩٩ ، ١١٣ ، ١٣٦ ، ١٩٦ ، ٢٠٣ ، ٢١٩
فيزياء كلاسيكية : ١٢٥
فيزياء : ٦٨ ، ٥٧
فيزياء حديثة : ٢٤
فيزياء ، فروع : ٣٣
فيزيائي ، عالم ، ٣٢ ، ١٦١ ، ١٠٧ ، ١٨٣
فيزيائي ، كون : ١٥١ ، ٢١١ ، ٢٤٦
فيزيائية ، عمليات : ١٠٠ ، ١٠٨ ، ٢٢٥ ، ٢٣٦ ، ٢٣٩
فيزيائية ، كيمياء : ١٧١
فيزيائية ، طواهر : ٧٤
فيزيائية ، نظم : ١٦٠ ، ٢٤٤

ق

قصور ذاتي : ١٦
قطعا مطاطية : ٤٠٤
قطعي التحديد ، نظام : ٣٧
قطعة مطاطية ، مركز : ١٠٢
قدر : ٦٦
نبذة نووية : ١٣٩
قوة التنافر الكهربية : ١٦٨
قوة التجاذب : ١٢٩ ، ١٣٨
قوة ضعيفة : ٢٠١ ، ٢٠٣
قوة موحدة عظمى : ١٩٧
قوة نووية شديدة : ١٩٧
قوى جاذب : ٢٠٢
قوى نووية : ١٩٧

ك

كائنات حية : ٢٣٠ ، ٢٣٩
كائنات مجهرية : ٢٤٠ ، ٢٤٣
كائنات ميكروبية : ٢٣٧
كارتر ، جرانفون : ١٩١
كاسيمير ، تالير : ١٢٦ ، ٢٢٥
كاسيمير ، تجربة : ١٢٨
كاسيمير ، هندريك : ١٢٥
كالوزا ، تيودور : ٢٠٤
كالوزا ـ كلاين ، نظرية : ٢٠٥ ، ٢٠٨
كامبردج ، جامعة : ٢٣٤
كبريت : ٢٣٥
كتلة : ٥٩
كربون : ٢٣٥ ، ٢٣٩
كربون ، كيمياء : ٢٣٩
كرستال ، مارتين : ٥٠
كروز ، جيمس : ١٣٦
كريك ، فرانسيس : ٢٣٤
كلاسيكية ، فيزياء : ١٧٠
كلاين ، اوسكار : ٢٠٥
كلي ، كسوف : ٧٨
كم ، تالير : ٢١٥ ، ٢٢٢ ، ٢٢٧
كم ، جاذبية : ٢٠٤
كم ، عجائب : ١٩٠
كم فيزياء : ١٩ ، ٢٠٨
كم ، قواعد : ١٨٠
كم ، ميكانيكا : ٢٩ ، ٣٠ ، ٣٤ ، ٣٥ ، ١٢٠ ، ١٧٥ ، ١٨٢ ، ١٩٣ ، ١٩٨
كم ونسبية ثورة ، ٢٢٩
كمي ، نكام : ١٩٢
كمي ، عدم يقين : ١٩٨
كمي ، حقل : ١٨٩
كمي ، عالم مجهري : ٣٠
كمي ، عالم : ١٢٧
كمية ، تأثيرات : ٤٢ ، ١٢٣
كمية ، تأثيرات : ١٥٥
كمية جاذبية : ٢٠٠ ، ٢٠٢
كمية جاذبية ، نظرية : ٢٠٠
كمية ، عمليات تجاذبية : ١٤٠
كمية ، عمليات : ١٣٧ ، ١٤٨
كمية ، فيزياء : ٥٢
كمية كهروديناميكية : ١٩٦ ، ٢٠٠
كمية ، مجالات : ٢٠٢
كمية ، نظرية مجالات : ٨٨ ، ١٩٣ ، ١٩٤ ، ٢٠٢
كمية ، موجة : ١٨١ ، ١٨٦
كمية ، ميكانيكا : ١٧١ ، ١٩٣
كمية نظرية : ١٨ ، ١٨٤ ، ١٩٤
كهربي ، قوة تجاذب : ٢٣٥
كهربي ، تنافر ، ١٩٠
كهربية ، شحنة : ٥٢ ، ١٩١
كهربية ، طاقة : ٥٢
كهربية ، قوى : ١٩٨
كهروضعيفة ، قوة : ١٩٧
كهرومغناطيسي : ٢٧ ، ٢٨ ، ١٧٠ ، ١٩٤
كهرومغناطيسية ، اشعاعات : ٧٩ ، ١٣٤ ، ١٧٠
كهرومغناطيسية ، قوة : ١٩١ ، ١٩٦ ، ٢٠٩ ، ٢٠٥
كهرومغناطيسية ، موجات : ٦٢ ، ١٩٤ ، ١٩٧
كهرومغناطيسية : ٢٧
كواركات : ٧٧ ، ١٩٧ ، ٢١٠ ، ٢١٩

مون مسارك : ١٤٧
مون متصعد : ٩٢ ، ٢٠٠ ، ١٠٢ ، ١٢٣ ، ١٣٠
كون متناهي مغلق ، نموذج : ٩٤
كون مرن : ٩٠٣
مون محدوس : ٢٠٩
مون معقد : ٩٥
كون معقد ، نموذج بديل : ١٠٤
كون واقعي : ١٠٣
كون : ٩٩ ، ١٠٩ ، ١٠٨ ، ١٠٩ ، ١١٣ ، ١٤٠ ، ١٤١ ، ١٤٣
كون ، اصل : ١٣٩
كون ، انحناء : ١٠٥
كون بزوغ : ١١٤
كون ، توازن ترموديناميكي : ١٩٣
كون ، حالة : ١٠٣ ، ١٠٧
كون ، خلق : ١١٦
كون ، مادة : ١٠٧ ، ١٣٧
كون ، مراحل مبكرة : ١٣٥
كون ، مركز او حافة : ١٠٧
كون مفتوح : ١٠٥
كون نشأة : ٩٩ ، ١٣٨ ، ١٥٦
كون ، نموذج : ٢٣
كوني ، مستوى : ٦٩ ، ٧١
كوني ، مضمار : ٢٢٩
كوني ، نادي لاسلكي : ٢٤٤
كوني ، تمدد : ٩٠١
كونيات ، علم : ٩١ ، ٩٩ ، ١٠٠ ، ١٢٨
كونية ، ابعاد : ٢٠٦
كونية ، حرارة : ١٤٨
كونية ، ساعة : ٨٨ ، ٢٩ ، ١٥٠
كونية ، شبكة : ١٩٣ ، ٢٠٩ ، ٢١٧
كونية ، خلفية اشعاعية : ١١٣
كونية ، مادة : ١١٤
كونية ، مسألة : ١١٢
كونيون : ٩٩ ، ١٠٧ ، ١٠٨
كوبكيات : ١٣٩
كيمياء جيلة ، فكرة : ٢٢٩
كيمياء كهربية ، مفهوم : ١٤٠
كيمياني ، نشاط : ٢٢٨
كيميائية ، تفاعلات : ٢٣٩
كيميائية ، عمليات : ٢٣٤
كيميائية ، مخلوطات : ٤٦

ل

لا بلاس بيير : ٣٢ ، ٣٤ ، ٢١٤
لاسلكي ، اتصال : ٢٤٤ ، ٢٤٥
لاسلكي ، تليسكوب : ٢٤٢
لامارك : ٢٥
لا متناهي ، ضواء ، ٩٣ ، ٢١٣
لاهوت ، نظرية : ٤٦
لايبنز ، جوتفريد : ٦٥
لغز كوني : ١٢٤
لف : ٢٠٢
لندن : ٨٧
لوفتوك ، جيم : ٢٢٣
لوكريتون ، فيلسوف : ١٤٨
لويل ، بريسفال : ٢٤٦
لمبي ، ويلارد : ١٣٩
ليزر ، اشعة : ١٧٨
ليزر : ١٢٧
ليوكريتس : ٦٠
ماخ ، ايرنست : ٦٦
ماخ ، مبدأ : ٨٤ ، ٨٥ ، ٨٦ ، ١٥١
مادة ، اصل : ١٣٠ ، ١٣٩
مادة اولية : ١٢٣
مادة ، بحري : ١٠٨
مادة ، محرر : ٢٢
مادة ، توزيع : ١١٥
مادة ، تولد : ١٢٤
مادة ، جسيمات : ١٤٣ ، ٢٠٢
مادة ، جوهر : ١٩
مادة كاملة : ١٩٢
مادة ، خواص : ٧٧
مادة ، سلبية مطلقة : ١٦
مادة سوداء : ١٥٢ ، ٢٠٤
مادة صماء : ١٩
مادة مركبة : ١٥٢
مادة مضادة : ١٢٢ ، ١٢٤ ، ١٢٥ ، ١٢٦ ، ١٢٨ ، ١٢٩
مادة منحفظة اولية : ١٠٦
مادة ، وجود : ١٠٥
مادة : ١٦ ، ٢٧ ، ٩٩ ، ١٠٩ ، ١١٥ ، ١٢٤ ، ١٣٤ ، ١٣٥ ، ١٣٩ ، ١٤٠ ، ١٤٢ ، ١٤٥ ، ١٤٨
مادية : ١٨ ، ٢٠
مادية ، ثروة : ١٩
مادية ، مذهب : ٩٦
ماريني ا ، مركبة فضائية : ٢٦
ماريلاند ، جامعة : ١٦١
ماكاي ، دونالد : ١٨
ماكسويل : ٢٧
ماكسويل ، معادلات : ٢٠٤
مانشستر ، جامعة : ١٧٠
مغناطة ، مجرات : ١٠٣
متوازية ، الكوان : ٢٢٧
متوازية ، خطوط : ٨٢
متوازية ، عوالم : ١٨٢

مجال تجاذبي : ١٢٠
مجال شمسي ، نظرية : ٢٤
مجال كهربي : ١٢٩
مجالية ، طاقة : ١٥٦
مجرات ، تباعد : ٢٠٦
مجرات حلزونية : ٢٠٦
مجرات ، عمر : ٢٠٥
مجرات ، فضاء : ٢٠٥
مجرات مرئية : ٢٠٢
مجرة : ٩٢ ، ٩٣ ، ٩٩ ، ١٠١ ، ١٠٢ ، ١٠٣ ، ١٠٤ ، ١٠٥ ، ١٠٦ ، ١٠٧ ، ١٤٥ ، ٢٣٧
مجرات تتحرك في الفضاء : ١٠٣ ، ١٠٥
مجرات ، كوكبة من : ٢٠٠
مجرة ، الذراع اللولبية : ٢٤٣
مجرة ، قلب : ١٣٦
مجرة ، مركز : ٦١ ، ٦٤
محطات الفضاء الأمريكية : ١٣٩
تحيطات : ٢٨
مخروطات : ٣٧
مخلوقات حية : ١٧
مد ، قوى : ٢٨
مدخلات : ٣٧
مذنب : ١٣٩ ، ٢٤٠
مدينة الأنسطة المتعددة : ٢٠
مركز أوربي للأبحاث النووية : ١٥
مريخ ، سطح : ٦٢ ، ٢٢٨ ، ٢٤٢
مزيج ، قنوات : ٢٦
مستعمرات عظمى : ٢١٧ ، ٢١٨
مسوى دون مرئي : ١٢٤
مسوى ثري : ١٢٤ ، ١٤٠ ، ١٨٩
مسوى كمي : ١٩٠
مساري ، سطح : ٢٣٨
معادلة موجية : ٩٨
معادن : ٧٧
معجلات : ١٢٨
معلومات نورة ، تكنولوجيا : ١٩
معلوماتية ، طاقة : ٢٠
معلوماتية : ١٩
معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا : ٢٤٦
مغناطيس ، قطب شمالي وجنوبي : ٢٠١
مغناطيسي ، مجال : ١٥٥
مقارنات القياسات الذهنية ، ١٨٩
مقارنة القياس : ١٧٩
مفردة أولية : ١١٣ ، ١١٤ ، ١٢٣
مفردة ، مفهوم : ٩٤
مفردة : ٩٥ ، ٩٦ ، ١٠٧ ، ٢١٩ ، ٢٢٣
مقياس فلكي : ٢٤٥
مقياس زمني : ٨٢
مقياس زمني : ١٤١
مقياس فلكي : ٨١
مكان للماضي والحاضر والمستقبل : ١١٦
ميكانيا ، مسافة : ٧٥
مكونة ، اسيلحلية : ٢٢٠
مماثلات حاسوبية : ١٦٥
منظمة ، حركة : ٦٦
منطقة الوسطية : ٢٩
منتظم ، كون : ٣٢
منغلق ، ولكن بلا حدود ، مفهوم ، ٩١
منفردة ، شحنة مغناطيسية : ٥٦
منفردة ، مجرات : ٦٤
منفردة ، موجات موبيونوجية : ٥٤
منفردة ، موجات لحظية : ٥٦
منفردة ، موجات : ٥٠ ، ٥٢ ، ٥٣ ، ٥٤ ، ٥٦
موت ، مفهوم : ١٠٩
موجات كهرومغنطيسية : ١٢٦
موجات هادية : ١٧٤
موجات : ١٨ ، ٤٧ ، ٤٨ ، ٥٠ ، ٥٩
موجة ، طول : ٤٢ ، ٤٨
مورلي ـ ميكلسون ، تجربة : ٢٢
مورلي ، ادوارد : ٦٧
موريسون ، فيليب : ٢٤٣
موريسون : ٢٤٤
موس ، ايان : ١٩٥
موند كهربي : ١٩٢
ميزون ك : ١٢٦
ميشيل ، جون : ٢١٤
ميكانيكا الكم ، قواعد : ١٣٢
ميكانيكا الكم ، نظرية : ١٨٢
ميكانيكا ، كتاب : ٦٦
ميكروسكوب الكتروني : ١٧٣
ميكلسون ، البرت : ٦٧
ميلر ، سطانلي : ٢٣٤

ن

نابضات : ٧٧
نوضات نقانية : ١٦٣
نتروجين ، بخار : ٢٣٩
نجم ، انهيار : ٩٥
نجم زائر : ٢١٧
نجم نابض : ١٦٤
نجم نيوتروني مقلبـدي : ١٦٢
نجم نيوتروني : ٢١٦
نجم : ١١٤
نجم عملاق ، نظام : ١٦٢
نجمي ، مثل : ١٤٦
نجمي ، فرسخ : ٢٠٢
نجوم ، اسماء : ٢١٩
نجوم سوداء : ٢١٦
نجوم مضيئة : ١٢٥ ، ١٣٨
نجوم ، مواضع : ٧٨
نجوم نعيضة : ١٢٦
نجوم : ١٠ ، ٦٤ ، ٩٩ ، ١٠٩ ، ١١٣ ، ٢١٥
نجوم ، مواد ما بين : ٩٩
نسبية ، حركة : ٦٥
نسبية خاصة ، نظرية : ٦٨
نسبية خاصة : ٨٨ ، ٩٣ ، ٢٢٤
نسبية عامة ، نظرية : ٨٠ ، ٨٣
نسبية عامة : ٦٦ ، ٨٤ ، ٨٧ ، ٩٠ ، ٩٣ ، ١٠٠ ، ١٠٣ ، ١٠٥ ، ١٦٠ ، ١٩٣ ، ٢٠٤ ، ٢١٦
نسبية ، مبدأ : ٦١
نسبية ، نظرية : ١٨ ، ٢٧ ، ٢٨ ، ٥٨ ، ٦٨ ، ١١٦ ، ١٤٥
نسبية والكم ، قوانين : ١٥٠
نسبية ، وجهة نظر : ٢٤
نسبية : ١١٦ ، ١٤٥
نشوء وارتقاء ، نظرية : ٢٥
نظام نقاني : ٢١٨
نظام : ١٠٩
نظرية ، تسمية : ١٢٤ ، ١٣١ ، ١٤١
نقلي ، تأثير : ١٩٨
نملة اوميجا : ١٥١
نمطة كوري : ١٥٥
نهايات مشكلة : ٢٠٤
نهضة ، عصر : ٦٢
نواة : ٧٧ ، ١٣٨ ، ١٦٨ ، ١٨١
نوبل ، جائزة : ١٣٤
نووي بعد : ٢١٤
نووي ، تفاعل : ٢١٧
نووي ، فناء : ٢٤٦
نووي ، وقود : ١١٣ ، ٢١٥
نووية ضعيفة ، قوة : ١٦٨
نووية ، عمليات : ٢٠١ ، ٢١٧
نووية ، قوة : ١٦٨
نووية قوية ، قوى : ١٦٨
نيازك : ١٢٩
نيتر بوهر : ١٨٣
نيراوليفاز : ٢٤٧
نيوترون : ٥١ ، ١٣٠ ، ١٩٠ ، ١٩٧
نيوترونات ، حرة : ٢١٣
نيوتروني ، نجم : ٢١٥ ، ٢١٦
نيوترونية ، موجات : ١٧٤
نيوترينو ، جسيم : ١٥٢
نيوتن ، الساعة الكونية : ١٨٤
نيوتن ، قوانين : ٦١ ، ٦٦ ، ١٥٠
نيوتن ، نظرية : ٨٣
نيوتن ، اسحق : ١٦ ، ٢٢ ، ٤٦ ، ٦٠ ، ٦٣ ، ٦٥ ، ٦٦
نيوتن ، الساعة المنضبطة ايكانيكا : ١٢٤
نيوتن ، النموذج الديناميكي : ٩٨
نيوتن ، فكرة الفراغ والزمن : ٥٧
نيوتن ، فكرة : ١٨
نيوتن قانون التربيع العكسي : ٨٤
نيوتن ، قوانين الحركة الشهيرة : ١٦ ، ١٧ ، ٣٣ ، ٣٥
نيوتن ، نظرية الية : ١٨
نيوتوني ، مفهوم : ٢١
نيوتونية ـ لا بلاسية ، صوره : ٤٣
نيوتونية ـ لا بلاسية ، نظرة : ٣٥
نيوتونية ، ساعة منضبطة : ٢١٩
نيوتونية ، صورة : ٢١
نيوتونية ، فيزياء ، ٦٤
نيوكاسل ، جامعة : ٢٦٥

هـ

هابل ، ثابت : ١٠٩
هابل ، قانون : ١٠٦ ، ١٠٧
هابل ، ادوين : ٩٩ ، ١٠٠
هاوكنج ، ستيفن : ١٦٥ ، ٢١٩ ، ٢٢٨
هايزنبرج : ٢٩ ، ٣٠
هايدروجين : ١٠٩
هليوم ، ذرة : ١٩٧
هليوم مشتد : ١٣٨ ، ١٣٩
هندسة اقليدية : ٨٢ ، ١٠٥
هندسة غير اقليدية : ٨٣
هندسة ، غير مستوية : ١٠٥
هويل ، فريد : ٢٤٠
هوبلر ، جون : ١٧٧ ، ١٧٨ ، ٢٤٠ ، ٢٤٦
هوبل ـ ويلز امانسخ ، صياغة ، ٢٤٠
هيدروجين ، سحب : ٢٤٣
هيدروجين : ١٣ ، ١١٤ ، ١٢٣ ، ١٧٠ ، ٢٢٤

هيدروجين ، ذرة : ١٠٥
هيدروجين ، نقيض : ١٣٨
هيدروجيني ، وقود : ١١٣
هيرقليطس : ١٥
هيكل شبكي للبلورة : ١٧٣
هيكل شبكي : ١٧٣
هيليوم : ١١٣ ، ١١٤
هيولى ، نظام ، ٣٦ ، ٤١
هيولى : ٣٢
هيولية تحديدية : ٤٢
هيولية ، حركة : ٢٧
هيولية ، دراسة : ٤٢
هيولية ، طبيعة : ١٧٧
هيولية ، عمليات : ٤٠
هيولية ، كمية : ١٨٣
هيولية ، نظم : ٣٧ ، ٣٨ ، ٤٠ ، ٤٢
هيولية ، نظرية : ١٩
هيولية : ٣٥ ، ٤٠

و

واطسن ، جيمس : ٢٢٤
واقعي ، عالم : ٩٦ ، ٩٩
وبائية ، موجات : ٢٤١
وتر كوني : ١٥٥
وزن الفضاء : ٢٢٦ ، ٢٢٧ ، ٢٢٨
وزن صالب : ٢٢٦
وسطية : ٢٣٦
وضع ابتدائي : ٤٠
ويبر ، جوزيف : ١٦١
ويل ، هيرمان : ١١٧
ويلز ، هـ ج : ٩٢

ى

يواري ، هارولد : ٢٣٤
يواري ـ ميلر ، تجربة : ٢٣٨
يورانيوم : ٢٠ ، ١٧٢
يونج ، توماس : ١٧٥