القسم الثالث

النسبية العامة

علمت فيما تقدم ان كل حركة في الوجود نسبية عن فعل الجو الجاذبي في الجسم المتحرك. ولما كان هذا الجو كرويّ الحيز، وحدّته تقل كلما كان أبعد عن المركز، فكل حركة فيه لا بدّ ان تكون في خط منحنٍ يقل انحناؤه كلما كان أبعد عن المركز. ولأنهُ لا وجود لجسم متحرك في حيز خال من الجو الجاذبي فلا وجود للحركة في خط مستقيم البتة. وانما في المسافات القصيرة التي لا يظهر فيها الانحناء يعتبر الخط مستقيماً، عمليًّا لا نظريًّا، ولذلك خصت بهِ النسبية الخاصة التي بسطناها في القسم الثاني الذي مررت بهِ. وفي هذا القسم نعمم النسبية على سائر أنواع خطوط الحركة على الاطلاق. فترى ان نواة موضوع النسبية الخاصة هي الجاذبية التي هي علة كل حركة في الوجود. ولذلك لا بدّ من تفسير بعض اعتبارات الحركة التي اعتبرت قوانين الميكانيكيات منذ عهد غاليليو ونيوتن حتى اليوم، لكي تفهم قضايا النسبية الجديدة الطارئة عليها

الفصل العاشر

تمهيد

١ — الاستمرارية والمسارعة

Inertia & Acceleration

يستمر الجسم على حالته، ساكناً كان او متحركاً، الى ان تطرأ عليه قوة اخرى فتحركه في اتجاه هذه القوة اذا كان ساكناً، او تزيد سرعته في اتجاه نتيجة القوتين (قوته الاصلية والقوة الطارئة) اذا كان متحركاً

(ترجو القارىء ان لا ينسى ما رددناه كثيراً فيما سبق وهو ان السكون والحركة نسبيان. فما هو ساكن بالنسبة الى جسم متحرك هو متحرك بالنسبة الى جسم آخر ثالث. وما هو متحرك بالنسبة الى جسم ساكن هو ساكن بالنسبة الى جسم آخر. فلا سكون مطلق في الوجود)

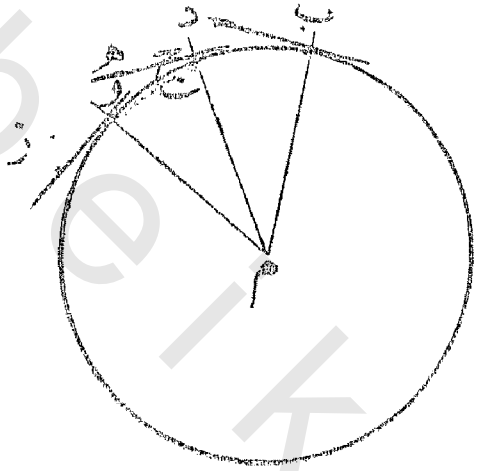
فحالته الاولى تسمى «الاستمرارية» Inertia. والقوة التي كانت له تسمى «قوة الاستمرار» والجسم نفسه يسمى المادة الاستمرارية Inertial Mass وحالته الثانية بعد طروء القوة الاخرى عليه تسمى «المسارعة» Acceleration والقوة الطارئة عليه تسمى «قوة المسارعة»

للمسارعة حالتان :—

الحالة الاولى ان تكون قوة المسارعة متجهة في خط اتجاه الاستمرارية نفسه فيتسارع الجسم في خط اتجاهه نفسه. مثال ذلك في يدك حجر فما زال هذا الحجر في يدك، فهو في حالته الاستمرارية وثقله الذي تشعر به في توتر عضل يدك ينبئك بقوته الاستمرارية. فاذا كنت واقفاً في مصعد Lift والمصعد ثابت فالحجر ساكن بالنسبة الى المصعد والى الارض، فهو في سكون استمراري. واذا كان المصعد ينزل بك بسرعة واحدة غير متغيرة فالحجر متحرك «حركة استمرارية» الى اسفل على وتيرة واحدة. ولكن اذا تركت الحجر يقع من يدك اضيفت الى قوته الاستمرارية قوة المسارعة (قوة الجذب نحو المركز) فيتسارع، اي ان سرعته كل هنيهة تزداد بحسب قانون الاجسام الساقطة $\frac{1}{2}$ ج ث^2 باعتبار ان (ث) عدد الثواني التي يتساقط فيها الحجر وس السرعة. ومعنى ذلك ان قوة المسارعة الطارئة تصبح في كل هنيهة «قوة استمرارية» مضافة الى قوته

الاستمرارية . وفي الهنيهة التي بعدها تكون قوة طارئة تزيد سرعته ولا تلبث ان تنضم الى قوته الاستمرارية . وهكذا على التوالي . لهذا يتسارع حسب ذلك القانون

الحالة الثانية ان تكون « قوة المسارعة » الطارئة معامدة لخط اتجاه القوة الاستمرارية وحينئذٍ يكون خط اتجاه القوتين المتعامدتين منحنياً حول مركز قوة المسارعة (مركز الجاذبية)



مثال ذلك: القمر السائر حول الارض، فهو بقوته الاستمرارية يسير في الخط (ب د) ولكن قوة الجذب نحو المركز تستميله كل هنيهة نحوها فيسير في القوس (ب ج) ويصبح الخط (ج ه) خط اتجاه قوته الاستمرارية الجديد، بحيث لو انقطعت عنه قوة الجاذبية لشرد في ذلك الخط المستقيم في الفضاء . ولكن قوة الجاذبية لا تنكف عنه، فتستميله نحو المركز ويصبح (ج و) خط اتجاه استمراريته الجديد الآخر . ثم تستميله قوة الجاذبية وهكذا دواليك بلا انقطاع . فيكون خط اتجاه مسارعته محيط دائرة حول الارض بحسب قانون المسارعة : مس $= \frac{س^2}{ش}$ باعتبار ان (مس) رمز المسارعة و (س) سرعة القمر و (ش) بعده عن مركز الارض

فاذا اعتبرت الخط (ب د) يمثل قوة القمر الاستمرارية والخط (د ج) يمثل قوة المسارعة فالقوس (ب ج) هي اتجاه نتيجة القوتين . وبعملية رياضية لا محل لها هنا ينتج لك ان (د ج) خط المسارعة يساوي مربع السرعة (ب د) على (د م) او (ش) البعد عن مركز الارض كما تقدّم

وهنا نقطة عظيمة الشأن جدًّا يجب ان يفهمها القارىء ولا ينساها : وهي ان الجسم السائر في دائرة حول المركز بتأثير القوة الصادرة من المركز يسير بسرعة واحدة غير متغيرة (الاّ اذا كان الفلك اهليليجيًّا . ولا محل هنا ولا موجب لشرح السرعة في الفلك الاهليليجي) فالارض مثلاً تسير بسرعة ٣٠ كيلومتراً كل ثانية حول الشمس على الدوام . ومع ذلك تعتبر سرعة الجسم في خط مستدير حول المركز تسارعاً وان كانت على وتيرة واحدة . لماذا تعتبر هكذا ؟

لانه لو كانت القوة المركزية غير ثابتة في المركز بل تلاحق ذلك الجسم لسار في خط مستقيم متسارعاً — تتزايد سرعته كل هنيهة . فالاجسام الساقطة نحو المركز هي من هذا القبيل ولو كانت سرعتها الاصلية الاستمرارية عظيمة ومعادلة للقوة المركزية لسارت في خط دائري

فالجسم السائر في خط مستدير حول قوة مركزية يعد متسارعاً لانه تحت تأثير قوتين

متعامدتين : قوته الاستمرارية والقوة المركزية . ولان القوة المركزية ملازمة للمركز فهو مضطر ان يسير حولها . والمعادلة الرياضية التي اشرنا اليها آنفاً وهي ان المسارعة تساوي مربع السرعة الاستمرارية مقسومة على البعد (الراديوس) تثبت لك ان الجسم يدور بسرعة متزايدة كمربع سرعته الاستمرارية . ينتج مما تقدّم ان السيارة في خط منحنٍ مستدير حول قوة مركزية لا تكون الاّ في جو جاذبي ، او ان الجو الذي تسير فيه هكذا يعد جوّاً جاذبيّاً ، كالحجر الذي في طرف خيط مربوط بأصبعك يدور حول اصبعك طالما انت تلوّح يدك . فهذا الجو الذي يسلك فيه الحجر حول اصبعك يعد جوّاً جاذبيّاً

متى خرجنا عن سطح الارض لا نعود نرى حالة المسارعة الاولى أي في خط مستقيم الاّ نادراً كسقوط النيازك الى الارض بعد ان كانت ككسائر السيارات دائرة حول الشمس — بل نرى حالة المسارعة الثانية اي في خط منحنٍ كما هو معلوم من دوران السيارات حول الشمس ودوران النجوم والكواكب حول مركز المجرة الخ

موضوع النسبية العامة هو التناسب بين المسارعة والاستمرارية بمعنى ان أيهما تصلح ان تكون نفس الاخرى . اي ان الجسم الفلاني يعد في حالة استمرارية بالنسبة الى جسم آخر متسارع ، وفي حالة مسارعة بالنسبة الى جسم آخر في حالة استمرارية . كما سيتضح لك في الفصول التالية

يرى القارىء ان الشرح السابق يسوغ لنا ان نعبر عن « المادة التسارعية » و « القوة التسارعية » « بالمادة الانجذابية » و « القوة الانجذابية » باعتبار ان التسارعية والانجذابية لفظان مترادفان . فتذكر هذا الترادف ولا تنسهُ

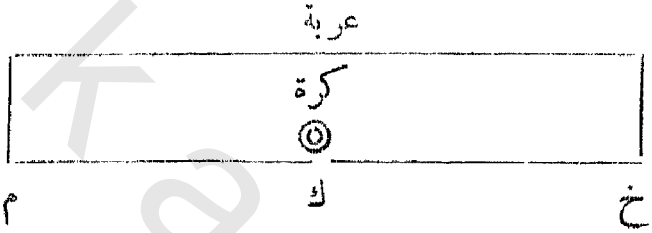
ب — هل يمكننا اكتشاف الاستمرارية او المسارعة

فهمنا في « النسبية الخاصة » انهُ ليس في الوجود حركة تنسب الى حركة اخرى مطلقة غير منسوبة الى حركة ثالثة . بل كل جسم يعتبر متحركاً بالنسبة الى جسم آخر وساكناً بالنسبة الى جسم ثالث . ويعتبر ساكناً بالنسبة الى جسم آخر متحرك ومتحركاً بالنسبة الى ثالث . لذلك لم نستطع ونحن في السفينة ان نعلم هل كانت راسية او ماخرة ما لم نلاحظها بالنسبة الى الماء او الى الهواء . هذا هو شأن كل حركة في خط مستقيم على وتيرة واحدة

ولكن اذا جئنا للحركة على العموم اي من غير تقييدها بسرعة معينة غير متغيرة ، وفي خط مستقيم ، نرى غير ما كنا نراه في النسبية الخاصة — نرى اننا نستطيع ان نكتشف ونحن في قلب جسم مقفل علينا بحيث لا نرى ما حوله — نستطيع ان نكتشف ، هل هذا الجسم انتقل من الحالة الاستمرارية الى حالة المسارعة او بالعكس من غير ملاحظة ما حوله . لان

التباين الذي بين الاستمرارية والمسارعة كافٍ لهذا الاكتشاف [1] . والتناسب (التباين) يكون بينهما . ولايضاح هذا القول نضرب المثل التالي : —

تصور انك في عربة سكة حديدية تشبه صندوقاً مستطيلاً فارغاً لاحواجب فيها ولا مقاعد وهي مقفلة بحيث لا ترى شيئاً خارجها وفيها مصباح تستضيء به . ولا تقان التمثيل تصور أن عجلاتها مطوقة بالكوتشوك بحيث لا يكون لها رجة او اهتزاز البتة . وافرض ان في وسطها كرة من الكوتشوك او أية مادة اخرى . فما دمت ترى الكرة ثابتة في وسط العربة تعلم ان العربة في حالة استمرارية . اما انها ساكنة او انها سائرة بسرعة واحدة غير متغيرة (مستمرة) فلا تدري — لا تدري في أية هاتين الحالتين هي . ولكن متى رأيت الكرة (ك) تتحرك مندفعة الى أحد طرفي العربة (م) مثلاً في الرسم علمت ان العربة تغيرت حالتها الاستمرارية اي شرعت تتسارع



في اتجاه الخط (كخ) او تتباطأ في عكس الاتجاه . فاما انها كانت ساكنة فشرعت تتحرك ، او انها كانت متحركة بسرعة مستمرة فشرعت تتسارع او تتباطأ . أعد الكرة الى موضعها عند (ك) فاذا ثبتت هناك علمت ان العربة سائرة بسرعة واحدة مستمرة ، او انها ساكنة باستمرار . ولكن اذا كانت الكرة تندفع الى (م) كلما وضعتها عند (ك) وتركتها هناك علمت ان سرعة العربة تتزايد كل هنيهة اي ان حركة العربة تسارعية لا استمرارية . يمكنك ان تستغني عن فرض الكرة وتكتفي بما تشعر به انت في العربة من الارتماء من ناحية الى اخرى حالما يحدث هذا الانتقال

هذا ابسط واجلى تمثيل لقولنا ان الانتقال من الحالة الاستمرارية الى الحالة التسارعية او بالعكس — او بعبارة اصح ان الحركة التسارعية التي هي انتقال من حال الى حال — تظهر لنا نفسها من غير ان نلاحظ حالة اخرى في نظام آخر خارج عن نظامها (اي في جسم آخر غير الجسم المتسارع)

ج — نسبية الاستمرارية والمسارعة

يستفاد مما تقدم ايضاً قانون عام : وهو : انهُ ليس في الوجود ٣ حالات : سكون ، وحركة ،

(١) ولكننا لا نستطيع ان نحكم اي الحالتين هي الاستمرارية او التسارعية كما سيتضح فيما بعد

ومسارعة ، بل فيه حالتان فقط : حركة استمرارية وتغير حركة (تسارع او تباطؤ [١]) . واما السكون المطلق فلا وجود له في الكون البتة . فاذا قلت انك ساكن (قاعد) في القطار او في السفينة فانما أنت ساكن بالنسبة الى القطار أو السفينة ، ولكنك متحرك بالنسبة الى الخط الحديدي الذي يدرج عليه القطار ، او بالنسبة الى البحر الذي تمخر فيه السفينة

قلنا انهُ لا سكون مطلق في الكون لان جميع الاجسام متحركة بحركات متفاوتة السرعة لتفاعلها الجاذبي بعضها مع بعض على ابعاد متفاوتة عن مركز قوة الجذب . فليس لجسم قوة ذاتية ناشئة منه ، بل هناك قوة التجاذب المتراوحة حدتها بين الاجسام بسبب تفاوتها في الابعاد

اذا اكتفينا بما تقدم من الشرح لبيان ان المسارعة تكشف لنا نفسها من غير ان ننظر الى خارج الجسم المتسارع كان هذا الاكتفاء مضللاً كل التضليل ، لان هناك اعتباراً آخر خطير الشأن اذا أغفل أغفلت معهُ نظرية النسبية بتاتاً وهو : —

نعم اننا نكتشف المسارعة بغير نظر الى جسم آخر متحرك بسرعة اخرى او ساكن بالنسبة الى الجسم المتسارع . ولكننا لا نستطيع القول ان هذا الجسم متسارع وذاك مستمر على حالة واحدة . وانما نقول ان هذا متسارع بالنسبة الى ذاك او ان ذاك متباطىء بالنسبة الى هذا . بعبارة اخرى يمكنك ان تنسب الاستمرارية او المسارعة الى اي الجسمين المتناسبين . وسيتضح لك هذا الاعتبار في فصل آخر تالٍ بتمثيل يجلوه لك جيداً . وانما قبل الدخول في هذا الموضوع لا بدّ من شرح نظرية الجاذبية التي هي علة المسارعة كما تقدمت الاشارة في الفقرة السابقة والتي هي مصدر كل قوة ايضاً

(١) لفظة المسارعة تطلق على التباطؤ ايضاً لان تباطؤ جسم يدل على مسارعة جسم آخر منسوب اليه (اي هو تباطؤ بالنسبة الى تسارع الآخر) فالمريخ متباطىء بالنسبة الى الارض والزهرة متسارعة بالنسبة الى الارض . والارض متسارعة بالنسبة الى المريخ ومتباطئة بالنسبة الى الزهرة

الفصل الحادي عشر

الجاذبية والبرد الجاذبي

اشرنا فيما تقدم الى ان الجاذبية مصدر كل قوة تتحرك بها الاجسام : حركة استمرارية او حركة تسارعية . فثقل الحجر ما دام في يدك قوة استمرارية سببها الجاذبية . وسقوطه متسارع بقوة تسارعية هي قوة الجاذبية ايضاً . ولهذا يجب علينا ان نبحث في طبيعة الجاذبية بقدر ما يقتضيه موضوعنا ، وبعد استيفاء هذا البحث يسهل عليك ان تفهم في الفصل التالي ان كل حركة في الوجود هي حركة تسارعية . واما الحالة الاستمرارية فما هي الا بالنسبة الى الحركة التسارعية . يعني في حين تناسب جسمين مختلفي الحركة يكون كلٌّ منهما متسارعاً بالنسبة الى الآخر . ولا خطاء في القول ان كلاً منهما في حالة استمرارية بالنسبة الى الآخر بالتخالف ، اي اذا قلنا ان هذا متسارع عينيا انه كذلك بالنسبة الى آخر مستمر . وفي الوقت نفسه يصح قولنا ان هذا متسارع وذاك مستمر . مهلاً الى الفصل التالي واقرأ الآن عن الجاذبية

١ — ما هي الجاذبية

يطمح كل قارىء أن يفهم ما هي الجاذبية في الصميم . وهو مطمح عزيز المنال . لقد فهمنا اكثر مما فهم أسلافنا عن النور والكهرباء وسائر أنواع الاشعة . واما عن الجاذبية فلا نفهم اكثر مما فهم نيوتن . ولعل الجاذبية أقل غموضاً او اكثر وضوحاً من الكهربائية والنور ، فلم يتسنّ لنا مزيد علم عنها كما تسنى لنا مزيد العلم عن هذين . أو لعلها اكثر بساطة منهما فلا تحتاج الى مزيد ايضاح ، لاننا مهما تعمقنا في اكتشاف سرها فلا نعلم اكثر من أن جرمين يتجاذبان بقدر حاصل مادتيهما وبنسبة مقلوب مربع المسافة بينهما هكذا مثلاً :

$$\text{التجاذب} = \frac{\text{مادة الارض} \times \text{مادة الشمس}}{(\text{المسافة بينهما})^2}$$

فلذلك لا ننتظر من البحث في نظرية الجاذبية أن نفهم فهماً أكيداً ما هي أو كيف هي ، وانما يمكننا أن نفهم ونتحقق جيداً ظواهرها وخواصها وكفى . أما ما هي فهي جاذبية والسلام . هي خاصة من خواص الكون . كذا وجد الكون وفيه قوة التجاذب بين الاجسام . ولا يمكن تفسيرها بأكثر من هذه القوة ، ولا حاجة لتفسير غير تفسير ظواهر هذه القوة ونواميسها

ولقد توفق نيوتن النابغة العظيم الى اكتشاف ناموسها الشامل . وكان اكتشافه عظيم الفائدة لميكانيكيات الارضية والفلكية لانهُ مكن العلم من استخراج النتائج المجهولة من الحقائق المعلومة بالاستقراء والملاحظة . فالتنبؤ عن مواقع الاجرام وحدوث الكسوفات والخسوفات ونحو ذلك انما هي نتائج حسابات رياضية مبنية على ناموس الجاذبية . ومن مفاخر هذا الناموس اكتشاف وجود السيار نبتون بواسطته قبل رصده ، ثم اكتشاف وجود السيار بلوتو ايضاً قبل العثور عليه . فناموس الجاذبية كما وضعهُ نيوتن خدم العلم خدمة عظمى وسيبقى خادماً له الى الابد

على ان نسبية اينشتين اكتشفت نقصاً زهيداً ، لا عيباً ، في ناموس نيوتن هذا ، واكملتهُ ولانهُ نقص زهيد جداً فلا يظهر اثره في الحسابات الفلكية القريبة المسافات ، ولذلك يكتفى بناموس نيوتن كما هو في العمليات الفلكية المحدودة بالنظام الشمسي . وقبل التبسط في هذه النقطة من الموضوع نشرح عقيدة اينشتين في الجاذبية — عقيدتهُ التي نص عليها في كتابه « نظرية النسبية »

رأى فراداي ، كما رأى غيره ، ان جذب المغنطيس للحديد عن بعد من غير واسطة تصل بينهما وتنقل القوة من الواحد الى الآخر أمر غير معقول . ولذلك فرض وجود شيء ينشره المغنطيس حوله الى جميع الجهات سماه « الجو المغنطيسي » Magnetic Field

وهذا الجو يفعل في الحديد فيدفعهُ الى جهة المغنطيس . فليس المغنطيس نفسه فاعلاً مباشراً في الحديد ، بل جوه الذي هو بحدثهُ يفعل في الحديد . ولكن ما هو هذا الجو ؟ لم يستطع أحد تحقيقه . وانما استعين بالاثير في تفسيره باعتبار انهُ موجات أثيرية تصدر من المغنطيس . وسواء كان هذا التفسير سديداً او خطأ فنظرية فراداي تعني ان الحيز الذي بين المغنطيس والحديد ، او بالاحرى الحيز المحيط بالمغنطيس ، ليس فراغاً مطلقاً كما ترى ونظن ، بل هو جو صالح لانتقال القوة (او بالاحرى حركتها) فيه

ولم يقتصر فراداي على النظريات الفلسفية بل اعتمد على الامتحانات العملية ، فاكتشف الامواج الكهرطيسية Electro-Magnetic فسمّى الحيز الذي تنتشر فيه « الجو الكهرطيسي »

وجاء بعده مكسول وآخرون واشتغلوا عمليًّا في تحقيق خواص هذا الجو . ثم جاء نجاح اختراع اللاسلكي برهاناً دامغاً على صحة نظرية فاراداي وفوزاً باهراً لها جعل مجد فراداي لامعاً

ولما ثبتت هذه النظرية أطلقها علماء هذا العصر ، وفي مقدمتهم اينشتين ، على كل ظاهرة من ظواهر الجذب ، ولا سيما على « الجاذبية العامة » بين اجرام السماء . فقالوا ان الاجرام تنشر حولها جوًّا جاذبيًّا الى جميع الجهات تساوي حدته حاصل ضرب كتلها المتجاذبة بعضها ببعض وتنقص كمربع البعد بينها . وهذا الجو هو الذي تنتقل به قوة الجذب من جرم الى آخر بالتبادل . فالشمس مثلاً لا تجذب بنفسها السيارات اليها ، وانما الجو الجاذبي الذي تنشره حولها

هو الذي يجذب سياراتها اليها ، كما ان اجواء السيارات تجذب الشمس الى سياراتها . فاذا سمع ان كل جو جاذبي مغنطيسي او كهرطيسي انما هو أمواج أثيرية يصدرها الجسم فلا بدع ان تكون الجاذبية العامة أمواجاً أثيرية أيضاً يصدرها الجرم او الجسم الجاذبي ، وان ذلك الجو الجاذبي بحر أثيري متموج . فينتج مما تقدم ان الرحاب التي بين الاجرام ليست فراغاً مطلقاً بل هي بحار أمواج (أثيرية عند من يعتقد بنظرية الاثير او مجهولة الحقيقة عند من ينكر النظرية)

على ان الجو الجاذبي يختلف عن جو المغنطيسية الكهربائية Electro-Magnetic Field بخاصة ممتازة ذات أهمية عظيمة في بحثنا . وهي ان الاجسام المتحركة بتأثير الجو الجاذبي تسير مسارعة نحو الجسم المحدث الجو (كما شرحناه في فصل المسارعة Acceleration التي هي نتيجة الفعل الجاذبي) ، وكذلك ليس لحالة الجسم المادية او الطبيعية شأن بهذه المسارعة . مثال ذلك ان قطعة الرصاص والخشبة ، مهما كان حجم كل منهما ، تقعان على الارض (في فراغ حيث لا هواء) معاً اذا اسقطتا معاً . اللهم اذا كانتا في حالة استمرارية واحدة Inertia وفيما سوى ذلك فالجو الجاذبي يشترك مع الجو المغنطيسي الكهربائي بسائر الخواص والمزايا . وأهم هذه الخواص ان الجسم المحدث الجو لا تبقى له سلطة على الجو الذي احدثهُ ، بل يصبح هذا الجو مستقلاً تمام الاستقلال عنهُ ، فلا يتحرك بحركته ولا يسكن بسكونه . يعني لو محيت الشمس من الوجود أو نقلت بغتة الى مكان سحيق لبقي الجو الجاذبي الذي كان منتشراً حولها (شاملاً للنظام الشمسي) يفعل فعله الى اجل قصير (والارجح ان هذا الاجل يساوي مدة انتشار هذا الجو بسرعة تضاهي سرعة النور)

بقي امر ذو شأن خطير في تفسير الفعل الجاذبي ، وهو ان قوة الجذب تعتبر رياضيًّا كأنها صادرة من أقاصي الجو الجاذبي ومتجهة نحو المركز . فالحجر الذي يسقط الى الارض إنما يسقط بفعل قوة واردة من أقاصي الجو ودافعة له نحو مركز الارض . وإذا قلنا أقاصي الجو الجاذبي عنينا الاقصى اللانهائي أو الذي ينتهي بانتهاء الحيز الذي تشغله الاجرام . على ان طبيعة هذه القوة الدافعة الى المركز هي التسارع أو التعجل كلما قربت الى المركز بنسبة مربع البعد عنهُ (حسب ناموس نيوتن)

فترى في هذا التفسير ان القوة التي يتقارب بها جرمان ليست قوة جذب بالمعنى المفهوم من لفظة جذب أو جاذبية ، بل هي قوة دفع للجرمين لكي يتقاربا . وسواء أكان هذا الفعل دفعاً نحو المركز أم جذباً اليه فالظاهرة الطبيعية واحدة وهي تقارب الجرمين بفعل قوة لا نعرف عنها أكثر مما نرى من نتائجها المبسوطة آنفاً . والجو الجاذبي الذي تفسر به ليس الاّ فرضاً افترضهُ فاراداي للجو الكهربائي المغنطيسي فاقتبسهُ اينشتين للجاذبية . وبه يعللون بعض الظواهر الطبيعية

ب — بين جاذبية نيوتن وجاذبية اينشتين

بعد هذا البيان اصبحنا في موقف يتسهل لنا بيان الفرق بين نظرية اينشتين ونظرية نيوتن بشأن ناموس الجاذبية . لما وضع نيوتن ناموس الجاذبية غض النظر عن الوقت (او الزمن أو المدة) فما حسب له حساباً في ناموسه البتة . فكأن التجاذب بين جرم وجرم في نظره يحدث في الحال مهما ابتعدت المسافة بينهما . فاذا حسب قوة الجذب بين جرم وآخر حسبها كما هما في وضعهما حين حسب لها هذه القوة ، فكأن قوة الجذب انتقلت من الواحد الى الآخر كانتقال الفكر . ولو اعتقد انهُ يستحيل الانتقال في الحال لأدخل الزمن في حساب التجاذب وحسب المسافة التي كانت بين الجرمين قبل ذلك الوضع الذي تراد معرفة قوة الجذب فيه . فهو لم يراع في ناموسه مسألة الزمن ، مع انهُ ملمح في بعض اقواله أنهُ لا يستطيع ان يعتقد ان هذا التفاعل عن بعد المسافة يحدث في الحال

اما اينشتين فرأى بوحي النسبية أنهُ لا يمكن ان يحدث هذا التفاعل من غير ان يستغرق زمناً أي يجب ان تكون له سرعة تقاس بزمن . ذلك لان النسبية افضت الى نتيجة محتومة لا غبار عليها ، وهي ان اعظم سرعة في الوجود هي سرعة النور ويستحيل ان توجد في الوجود سرعة أعظم منها ، فاذا قلنا إن التجاذب يحدث في الحال من غير ان يستغرق وقتاً فكأننا نقول ان فعل الجاذبية اسرع من النور وهو امر مستحيل :— اولاً — لانهُ ثابت بحساب رياضي ان النور منتهى السرعة في الوجود . وثانياً — لان الانتقال في اي مسافة يستغرق وقتاً مهما فرضنا السرعة عظيمة

فنيوتن غض النظر عن الزمن في فعل الجاذبية ، واينشتين لم يغض النظر عنه لأن الزمن وليد الحركة ، وانتشار الجو التجاذبي ضربٌ من الحركة ، فلا بد ان يستغرق زمناً . ولو انتفت الحركة من الكون وساد السكون المطلق لاضمحل الزمن بتاتاً ولم يبق له معنى . فاذا كان فعل التجاذب ، أو بالاحرى انتشار الجو التجاذبي ، حركة أو مصدراً لحركة فلا بد ان تكون له سرعة يعبر عنها بزمن . فيقال ان النور ينتقل من أول كيلو متر الى الكيلو متر الـ ٣٠٠ الف في ثانية واحدة . وكذلك يجب ان يقال في فعل التجاذب . ولعل سرعة انتشار الجو التجاذبي أو سرعة فعل التجاذب تضاهي سرعة النور . واذا صح ان طبيعة الجاذبية تشابه طبيعة الامواج الكهربائية المغنطيسية كما يريد اينشتين أن يثبت فلا يبقى شك في ان سرعة التجاذب تشابه سرعة النور . وإذا صح هذا التشابه فيترجح أيضاً ان الجو التجاذبي هو سلسلة أمواج كامواج الكهرباء المغنطيسية

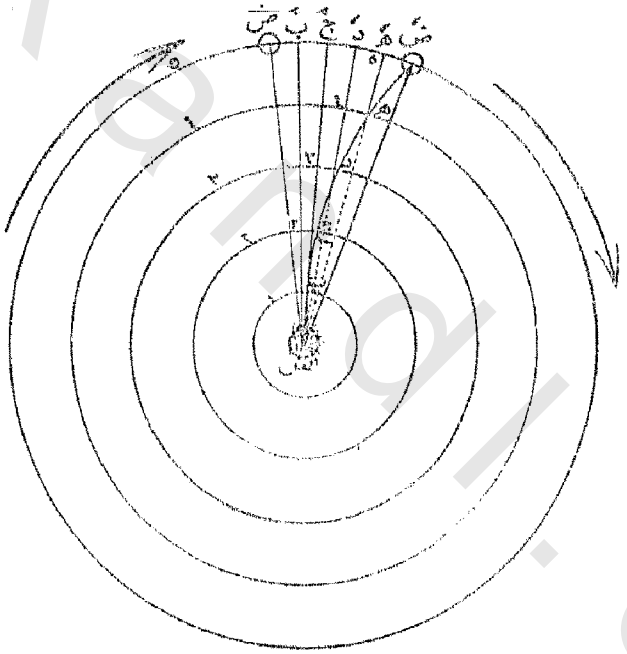
(وفي رأي هذا الضعيف ان الجاذبية ليست الا تموجاً اثيرياً كهرطيسياً والنور من جملة الامواج الكهرطيسية) ولتموج الاثير سرعة واحدة في كل مكان وزمان لان سرعة التموج تتوقف

على الكثافة كما شرحتهُ في مقال المقتطف بموضوع حجم الذرة . ولان الاثير اكثف مادة في الوجود . فموجه اسرع موج او هو منتهى السرعة او هو السرعة المطلقة Absolute Velocity ولذلك يصح القول ان سرعة قوة الجاذبية وسرعة النور واحدة

وبناءً عليهِ يجب ان تحسب القوة المتبادلة بين الارض والقمر مثلاً ليس بحسب المسافة بينهما في موقعهما المراد حسابه بل بحسب المسافة التي كانت بينهما قبل ذلك بثانية وخمس الثانية تقريباً وهي مدة انتقال القوة الجاذبية على اعتبار ان سرعتها تضاهي سرعة النور

ج — تحرب الجو الجاذبي

ولان التموج الاثيري هذا هو الوسيلة لنقل القوة Energy او القوة محمولة على متنه ، فلنتبع موجة جاذبية واحدة فقط صادرة من الشمس (ش) ومنتشرة في الفضاء (او بالاحرى في الحيز الجاذبي الذي نسميه الجو الجاذبي) الى جميع الجهات بسرعة واحدة . ولنفرض ان الدوائر التي في الرسم تمثل المواقع المتوالية لتلك الموجة الواحدة في خمس هنيهات متساوية . ولنفرض ان



ش ب ج د هـ ض = خط القوة

الارض (ض) انتقلت في اثناء هذه الهنيهات من ض الى ضَ مُنتقلة على النقط الخمس بَ جَ دَ هَ ضَ في نفس الهنيهات التي تنقلت فيها القوة (الموجية) على الترتيب نفسهِ من ١ الى ٢ — ٥

لو كانت الارض خلوًّا من حركة استمرارية البتة Inertia اي لو كانت ساكنة . لكان حكمها كحكم الحجر الساقط من علوٍّ الى الارض ، اي انها تسقط في الخط المستقيم من (ض) الى

(ش) . ولكن لان لها قوة استمرارية تعادل قوة الجاذبية وتساعدها تسير في فلك مستدير (تقريباً) بفعل القوتين المتعاكستين كما هو معلوم

قلنا ان القوة الصادرة من المركز تنتشر الى جميع الجهات ، فلا يصيب الجسم الواقع تحت تأثيرها كالارض الا جزءٌ منها كما هو ظاهر ومفهوم بالبداهة . ويسمى الخط الذي يسير في هذا الجزء «خط القوة» . لانهُ يجتاز خطًّا من الشمس الى الارض (فلا يشمل مسطحاً ولا مجسماً) . فلما كانت الارض عند (ض) كان « جزء القوة » يتجه اليها في الخط (ش ض) . ولكن الارض لم تبق في مكانها تنتظر جزء القوة هذا فما بلغ جزء القوة الى (ب) في البرهة الثانية (حيث صارت الموجة في الدائرة الثانية) حتى كانت الارض قد برحت الى (بَ) واصبحت مقابل خط قوة آخر . اي صار جزءٌ آخر من القوة يتجه اليها في خط (ش ب َ) . ولكن القوة لم تدركها هناك . فما بلغت الى (ج) في البرهة الثالثة حيث صارت الموجة في الموقع الثالث حتى كانت الارض قد رحلت الى (جَ) واصبحت تجاه جزء آخر من القوة قادم اليها في الخط (ش جَ) . ولكنها لم تدركها ايضاً هناك لانها (اي الارض) سبقت الى (دَ) واصبحت تجاه جزء آخر من القوة في خط (ش دَ) . وهكذا لم تبلغها القوة عند (ه) لان الموجة لا تزال في الدائرة الرابعة . والارض تجاوزت اتجاه خط القوة (ش هَ) . فما ادركها من القوة الا الجزء المتجه في خط (ش ض َ) فالتقيا عند (ض)

فترى مما تقدم ان جزء القوة الذي أدركها في الموجة التي صدرت من الشمس حين صارت هي عند (ضَ) هو غير الجزء الذي كان متجهاً اليها حين كانت عند (ض) . فاذا وصلت بين نقط خطوط القوة التي تعاقبت في الاتجاه اليها في البرهات الخمس المتوالية (ب ج د ه ض) رأيت الخط الذي يمر في هذه النقط منحنياً . اذن القوة التي رحلت عن الشمس الى الارض لم تسر بها في خط مستقيم — لا في الخط (ش ض َ) ولا في الخط (ش ض) بل رحلت اليها في الخط المنحني (ش ب ج د ه ضَ)

ولك ان تقول بعبارة اخرى : منذ صدرت من (ش) القوة او الجزء منها المقابل للارض (ض) جعل هذا الجزء يميل في سيره متبعاً لها وهي تنتقل في خط سيرها حتى التقى بها عند (ضَ) فجاء خط سيره منحنياً كما تراه

ناموس نيوتن يعتبر القوة رحلت الى الارض في خط مستقيم في الحال (بلا وقت) قبل ان تنتقل الارض من موقعها (ض) . ولكن اينشطين رأى ان القوة استغرقت وقتاً في الرحيل الى الارض فاضطرت ان تسير في ذلك الخط المنحني الذي ذكرناه . فالخط المستقيم (ش ض) الذي اعتبره نيوتن خط القوة يمثل مسافة البعد بين الشمس والارض مجرداً من الزمن . ولذلك

صاغ ناموسه باعتبار ان الراديوس (ش ض) هو مسافة البعد بين المتجاذبين الشمس والارض وان نسبة قوة الجذب بينهما كنسبة مقلوب مربع البعد بينهما اي $\frac{١}{(ش ض)^٢}$

وأما الخط المنحني الذي اعتبره اينشطين طريقاً للقوة في رحيلها من الشمس الى الارض فلا يمثل المسافة فقط بل يمثل المسافة والزمن جميعاً ، لان الراديوس يمثل الزمن الذي استغرقتهُ القوة في مسافته والخط (ض ض) يمثل الزمن الذي استغرقتهُ الارض في سيرها من (ض الى ض) . ومجموع مربعي الراديوس وهذا الخط يساوي مربع الخط المنحني (ش ض) كما هو معلوم . فاذاً هذا الخط المنحني يمثل الزمن الذي استغرقتهُ القوة في سيرها من (ش الى ض) واستغرقتهُ الارض في سيرها من (ض الى ض) حيث التقت بالقوة

لذلك صحّح اينشطين ناموس الجاذبية بأن حسب البعد بين المتجاذبين ذلك الخط المنحني لا الراديوس الذي حسبهُ نيوتن

فاذاً ناموس نيوتن الجاذبية $= \frac{ش \times ض \text{ اي كتلة الشمس} \times \text{كتلة الارض}}{(\text{الخط ش ض})^٢}$

وناموس اينشطين الجاذبية $= \frac{ش \times ض}{(\text{الخط ش ض المنحني})^٢}$

فمعنى تحدّب الجو الجاذبي اذن هو ان الجسم الذي يقع في أي جو جاذبي يكون تحت تأثير قوة واردة اليه في خط قوة منحنٍ كما علمت

٢ — قانون التحرك

واذا سكتنا عند هذا القول بقي البحث ناقصاً . فلنتقدم فيه خطوة أخرى لكي نعلم كيف يختلف هذا التحدب باختلاف مواقع الاجسام في الجو الجاذبي

من فروع ناموس الجاذبية التي هي من مقتضياته ان الجسم الاقرب الى مركز الجذب يكون أسرع في فلكه من الجسم الأبعد عنهُ بنسبة $\frac{س^٢}{ش}$ باعتبار ان (س) رمز السرعة و (ش) رمز البعد (الذي يعبر عنهُ بالشعاع او الراديوس تساوي نصف القطر) وقد شرحت هذا القانون الفرعي في مقال في المقتطف منذ بضع سنين

بناء على هذا القانون يكون انحناء خط القوة تجاه الجسم الاقرب أشد منهُ تجاه الجسم الأبعد لان ذاك أسرع من هذا فيواجه من خطوط القوة عدداً أكثر مما يواجه هذا فلا تدركهُ القوة الاّ وقد رحل مسافة أبعد مما يرحل هذا . ولذلك يكون خط القوة اكثر انحناء

لا أظن القارىء يتعذر عليه فهم هذه النقطة من الموضوع اذا فكّر قليلاً . ولذلك لا أرى داعياً للتمثيل برسم شكل ثانٍ . وايضاً بناء على هذا القانون الفرعي ان الجرم الذي لهُ من السرعة ما يحميه من السقوط الى مركز الجذب يسير بخط منحنٍ متمم دائرة حول المركز . فكلما كان أقرب الى المركز كان خط سيره اكثر انحناء (كما هو معلوم ان قوس الدائرة الصغرى اكثر تقوساً من قوس الدائرة الكبرى)

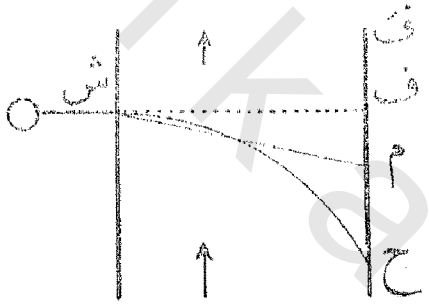
اذن يتضح مما تقدم ان تجذّب الجو الجاذبي يكون أشده على مقربة من المركز وأقله كلما كان أبعد عنهُ

وبناء على ذلك اذا مرّ خيط من النور (وأشعة النور خاضعة لتأثير الجو الجاذبي كما رأى اينشطين وحققتهُ الارصاد الفلكية) الوارد من نجم سحيق والمار على مقربة من الشمس يظهر انحناؤه حين مروره في جوها الجاذبي أكثر من خيط آخر يمر فيه بعيداً عنها كما سنشرحهُ فيما يلي

الفصل الثاني عشر

فعل تحدب الحيز الجاذبي في النور

ا — انحناء شعاع النور في الحيز الجاذبي



ان شعاعة النور العابرة في حيز جاذبي تنحني خضوعاً لقانون التحدب الذي بسطناه آنفاً . ولكي يسهل ايضاح هذه الظاهرة الفريدة للقارىء نضرب المثل التالي وهو وان كان لا يطبق عملياً يمكن تطبيقهُ نظرياً . وقد استنبط هذا المثل تيرينغ فأجاد في تقريب ذلك الناموس للافهام

افرض ان الرسم يمثل مصعداً عريضاً جداً يحتله شخص وليس فيهِ الاّ نافذة صغيرة جداً عند(ش) تدخل منها شعاعة نور وارد عن اي جسم منير بعيد لا صلة له بالمصعد — وارد باتجاه معامد للمصعد بحيث ان الشعاعة تدخل الى المصعد في خط افقي . فاذا كان المصعد ثابتاً ساكناً بالنسبة الى مصدر النور فالشعاعة تسلك في المصعد في خط افقي من ش الى ف

ولنفرض ان قوة دفعت المصعد في اتجاه السهمين (قل الى فوق اذا شئت) فجعل يرتفع بسرعة ثابتة على وتيرة واحدة ، اي لا يتسارع ولا يتباطأ ، فبالطبع ، في الفترة بين دخول شعاعة النور من عند(ش) ووصولها الى الجانب المقابل يكون المصعد قد ارتفع قليلاً واصبحت(ف) عند (فَ) وحلت محلها النقطة (م) . ولذلك لا تقع الشعاعة عند (ف) بل عند (م) . ويظهر للشخص المقيم في المصعد ان الشعاعة داخلة في خط مائل (ش م)

ولنفرض ان جدار المصعد المعامد لخط شعاعة النور شفاف بحيث ان من كان خارج المصعد يرى ما في داخله . ولنفرض ان شخصاً مقيماً خارج المصعد تجاه هذا الجدار الشفاف (قل انهُ واقف عند عين القارىء الذي ينظر الى هذه الصفحة نظرة معامدة لها) . وبالطبع هذا الشخص الخارجي ساكن بالنسبة الى المصعد اي انهُ لا علاقة له بهِ ولا هو يصعد معهُ . فماذا يرى ؟ .

لا يرى الشعاعة مائلة كما يراها الشخص الذي في المصعد . بل يراها واردة الى المصعد في خط مستقيم افقي . وقد اخترقتهُ في نفس الخط المستقيم من غير ميْل البتة لان سرعة المصعد لا تأثير لها على الشعاعة بتاتاً. فهي تسير في الخلاء خارج المصعد وداخله مستقلة في طريقها المستقيم . دخلت وخرجت في خط مستقيم ولكن المصعد كان يرتفع . فما وصلت الى الجانب الآخر من المصعد حتى كانت (م) قد حلت محل (ف) ، وف ارتفعت الى (ف ّ) . فالشخص الذي هو خارج المصعد يرى ان المصعد ارتفع لا ان الشعاعة انكسرت ومالت . والشخص الذي ضمن المصعد وهو يرى نفسه ساكناً بالنسبة الى المصعد يراها مائلة . اظن ان القارىء يرى بعين بصيرته هاتين النتيجتين جليّا[1]

قلنا انهُ يراها بعين بصيرته لا ببصره الفعلي لان بين سرعة المصعد وسرعة النور فرقاً عظيماً جداً ، فلا تستطيع عين بشرية ان تلاحظ ميل الشعاعة . ومع ذلك نفرض إن المصعد عريض جداً (اميالاً) وان سرعته عظيمة أو ان سرعة النور أبطأ مما هي . لنفرض أن سرعة النور بضعة أضعاف سرعة المصعد . فحينئذٍ يسهل تصور ذلك الميْل على القارىء . وإذا فرضنا سرعة النور ضعفي سرعة المصعد كان ذلك الميل — خط الانكسار — الذي يراهُ الشخص داخل المصعد يساوي ٤٥ درجة

في التمثيل الآنف فرضنا سرعة المصعد على وتيرة واحدة غير متغيرة تسارعاً أو تباطؤاً . فلنتصور الآن ان المصعد يرتفع متسارعاً ، أي أن سرعته تتضاعف كل هنيهة أو كل ثانية فكيف تسلك الشعاعة في طريقها داخل المصعد ؟ لا يضطر القارىء أن يمنت فكره كثيراً لكي يتصورها سالكة في الخط المنحني (ش ح) . واما الشخص الواقف خارج المصعد فلا يزال يراها سالكة خطًّا مستقيماً للسبب الذي شرحناه آنفاً

بقي ان نشرح للقارىء كيف يصدق هذا المثل على سلوك شعاعة النور بخط منحن في الجو الجاذبي

لقد علمت من شرحنا لمعنى المسارعة (راجعهُ في محله ان كنت قد نسيتهُ) ان المسارعة لا تكون الاّ في جو جاذبي أو ان الجو الذي تسير فيه يعد جاذبيًّا . ونحن قد فرضنا المصعد يرتفع متسارعاً . فهل يمكن ان توجد قوة تلازم المصعد في ارتفاعه لكي تجعل سرعته تزايد كل هنيهة ؟ (يمكن ذلك عمليًّا لامد قصير وفي حجم صغير ، وهو امر لا يفي بفرضنا) لا نستطيع ان نفرض ان المصعد يرتفع او يسير بسرعة متزايدة كل هنيهة الاّ اذا فرضنا او تصورنا القوة التي تلازمهُ متركزة وهو يدور حولها عن بعد . وحينئذٍ يعتبر متسارعاً وان اصبح يدور بسرعة على وتيرة واحدة كما سبق شرحه

---

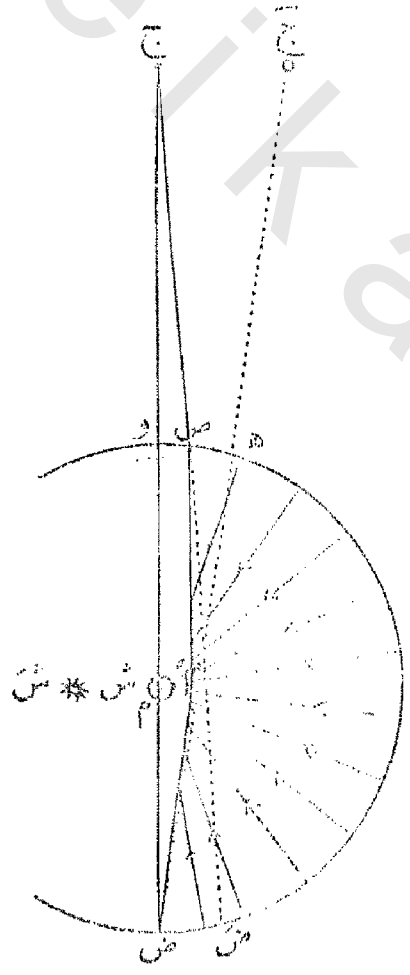
(١) هذه الظاهرة معروفة عند الفلكيين وتسمى « زيغاناً » Aberration

فاذاً في مثلنا قد جعلنا المصعد يقوم مقام الجو الجاذبي الذي يحدث المسارعة وهي تحدث فيه . وكل جرم او جسم موجود في هذا الجو يعد ساكناً فيه. واشعة النور العابرة فيه تعد متحركة بالنسبة اليه وهو ساكن بالنسبة اليها . والشخص الذي في هذا الجرم هو ساكن في الجو الجاذبي كالشخص المقيم في المصعد تماماً، هو ساكن بالنسبة الى اشعة النور. لذلك لا بد أن يرى شعاعة النور الواردة من مصدر خارج عن هذا الجو الجاذبي تنحني حين مرورها فيه كما يراها الشخص الذي في المصعد

فاذا كان القارىء قد فهم هذه القضية جيداً سهل عليه ان يفهم ان اشعة النور المارة قرب الشمس تظهر لنا منحنية . فلنشرح الآن هذه القضية التطبيقية وهي نواة موضوع هذا الفصل

٢ — تعليل اكتشاف انحناء النور

افرض أن الشعاعة واردة من النجم (ج) البعيد جداً عن النظام الشمسي ملايين اضعاف بعده في الرسم . فاذا كانت الشمس بعيدة عن الخط المستقيم بين النجم والارض التي نحن نراه فيها اي خط (ج ض) قل انها عند (ش) مثلاً فلا نشعر بانحناء الشعاعة الواردة منهُ الينا لان الجو الجاذبي يكون ضعيفاً (كمربع البعد عن الشمس) كما لايخفى عليك. فلا يظهر لنا ، اي نظل نرى النجم في مكانه الحقيقي عند (ج) ولكن كلما اقتربت الشمس الى الخط الذي نحن بصدده (أي ج ض) (والحقيقة ان الارض هي التي تسير الى ان تصبح الشمس معترضة بينها وبين النجم) ، صار الراصد على الارض يرى النجم في غير مكانه حتى متى صارت الشمس عند (ش) أو بالاحرى (م) لا نعود نحن الذين على الارض نرى النجم المذكور (ج) بواسطة تلك الشعاعة (ج و م ض) لان الشمس حالت بيننا وبينهُ. وانما الشعاعة (ج ص) (التي لولا اقتراب الشمس لكنا نراها حين تكون ارضنا عند ض) تنحني حين تدخل في جو الشمس الجاذبي وتتخذ التحدب ص م ض وبواسطتها نرى النجم على الرغم من حيلولة الشمس بيننا وبينهُ. ولكننا لانراه عند (ج) حيث هو لا يزال موجوداً



الاشعة الواردة من المحيط منحنية الى مركز الشمس تمثل كيف ان قوات الجو الجاذبي تدفع الشعاعة الواردة من النجم نحو المركز فتسبب انحناءها كانها تجري على سطح محدب

بل نراه كأنهُ صار عند ج ، وكأن الشعاعة واردة منهُ الينا في الخط ج م ض

والزاوية الواقعة عند (ض) بين الخط الاصلي ج م ض والخط (ج م ض) هي زاوية الانحراف التي استخرجها اينشتين . وتقاس بالمسافة التي بين م ... م) مركز الشمس باعتبار ان نصف قطر الشمس وحدة هذا القياس

وقد استخرج اينشتين قيمتها فاذا هي $\frac{١٧٠٠ \text{ ثانية}}{\text{الخط م م}}$ والخط م م يقاس بنصف قطر الشمس كوحدة او مقياس له . لذلك كلما كانت الشمس بعيدة عن خط شعاعة النجم (اي كلما كانت المسافة م م طويلة) كان مقدار الانحراف أقل وكانت زاويته أقل . وذلك لان الجو الجاذبي يكون أضعف وأقل تأثيراً في أشعة النور . فترى مما تقدم ان اشعة النور كسائر الاجسام خاضعة لحكم الجو الجاذبي (التسارعي)

هذا ما رآه ويراه الراصدون على الارض وهم ضمن جو الشمس الجاذبي . فحكمهم في هذا الجو كحكم المقيم في المصعد الذي ضربناه مثلاً . ولكن المقيم في جو آخر بعيد عن جو شمسنا كجو أي نجم آخر لا يرى النور منحنياً عند مروره قرب الشمس بل يراه سالكاً خطاً مستقيماً . فحكمه كحكم الشخص الواقف بعيداً عن المصعد وهو يرى النور مارًّا في بطن المصعد بخط مستقيم

(وبهذه النظرية يؤيد اينشتين نظرية ان النور ليس أمواجاً أثيرية بل هي أمواج شبه مادية تسير من تلقاء نفسها في الحيز بغير واسطة أو وسيط كالاثير)

يمكنك ان تتصور تفاوت هذا الانحناء اذا تصورت ان قوة الجو الجاذبي تكون أشد كلما كانت أقرب الى مركز الشمس . والعكس بالعكس — يمكنك تصور قوة الجو الجاذبي بانعام النظر في السهام المسددة من محيط الدائرة الى مركز الشمس ، فهي تمثل قوى الجو الجاذبي الواردة من أقصاه الى مركزه . فتراها كأنها تدفع الشعاعة أمامها نحو مركز الشمس . ولكن قوة الابتعاد عن المركز بسبب حدة الجو الجاذبي تقاوم قوة الجذب نحو المركز فيتقوّس خط الشعاعة . ومن هذه القوة على مقربة من (م) تفهم أنها هناك أقوى منها على طرفي خط الشعاعة على مقربة من (ص) و (ض)

ولو كانت سرعة النور أبطأ جدًّا مما هي لكانت قوة الجو الجاذبي تتمكن من دفعها كثيراً جدًّا بحيث تجعلها تدور حول الشمس كما تدور السيارات حولها . ولكن لان سرعة النور عظيمة جدًّا (٣٠٠٠٠٠ كيلو متر في الثانية) فهذه السرعة العظيمة تنقذ الشعاعة من هذا المصير

ج — اختبار النظرية

هذه هي نظرية اينشتين في تحدب الجو الجاذبي . وهذا هو برهانه عليها — انحناء أشعة النور الواردة من نجم سحيق حين تمر في الجو الجاذبي . وقد استنتج هذه النظرية استنتاجاً بعملية رياضية ، ولكنهُ لم يختبرها اختباراً محسوساً . فلما أذاع نظريته هذه مع ما أذاعهُ من قضايا النسبية لم يجد العلماء اعتراضاً على برهانها الرياضي الذي لا غبار عليهِ فرأوا ان يتحققوا صحة دعواه بالرصد الفلكي . وكيف ذلك ؟

يتعذر رصد النجم اذا كانت الشمس مقتربة الى خط شعاعه الوارد الى الارض ، لان نور الشمس الباهر يحول دون رؤيته . ولذلك لا بدّ من انتظار كسوف كلي يغطي فيهِ القمر قرص الشمس تغطية تامة وحينئذٍ يسهل الرصد . ففي سنة ١٩١٤ كان ينتظر هذا الكسوف . فهيأ المجمع الفلكي البريطاني بعثة برئاسة السير آرثر اديغتون العلامة الكبير لهذا الغرض . ولكن نشوب الحرب العظمى حال دون انجاز هذه المهمة . وبعد الحرب حدث كسوف كلي آخر فذهبت البعثة في فرقتين : احداهما الى برنسيب في غربي افريقيا ، والاخرى الى سوبرال في البرازيل . ورصدت الفرقتان كوكبة من النجوم كانت الشمس تدنو الى خط شعاعها في أثناء كسوفها . واخذوا صوراً فوتوغرافية لهذه الكوكبة كما ظهرت حينئذٍ . وبعد ستة اشهر ، إذ أصبحت الشمس في جانب آخر وشعاع الكوكبة يرد الى الارض مباشرة من غير ان يمر على مقربة من الشمس أخذوا صوراً فوتوغرافية أخرى لكوكبة النجوم نفسها . ولما قابلوا هذه الصور بالصور الاولى وجدوا مواضع النجوم متغيرة في الاولى ، وحسبوا مقدار هذا التغير فوجدوه كما تنبأ به اينشتين تماماً . وهكذا تأيدت صحة العملية الرياضية وصحة نظرية اينشتين بالبرهان الحسي . وكان هذا الاثبات انتصاراً بل فوزاً عظيماً للنسبية التي ضبط قواعدها اينشتين

د — سبب الانحراف

يعزو اينشتين انحراف الشعاع المار على مقربة من الشمس كما شرحناه الى سببين : نصفهُ مسبب عن فعل جاذبية نيوتن والنصف الآخر مسبب عن فعل التحدب الذي تحدثهُ الشمس في جوها الجاذبي . على ان هذا التحدب لا يزال مبهماً لمن لا يفهم عملية اينشتين الرياضية ، وهي عملية تستلزم الالمام التام بالرياضيات العليا . وقليلون الملمون بها . ولذلك قيل انهُ لم يفهم نسبية اينشتين إلاّ عدد معدود من العلماء

على ان هذا العاجز حاول ان يتفهمهُ . ولعلي مخطىء فيما فهمت . وانما أبسطهُ للقارىء الناقد بحذر

أما نصف الانحراف المسبب عن جاذبية نيوتن فقد شرحناه كفاية فيما سبق . واما النصف

الآخر ففي ظني انهُ ينجم عن سير الشمس بما حولها من سيارات (اى النظام الشمسي كلهُ) في الفضاء بسرعة (نحو ١٢ كيلو متراً في الثانية) نحو النجم السحيق Vega (النسر الواقع) القريب من مركز المجرة (التي تشمل نظامنا الشمسي وسائر الاجرام التي نراها بالعين وبالرصد) وبسرعة ٢٠٠ كيلو متر في قرص المجرة نفسه حول مركزها

وبيانهُ : في كل جو جاذبي او كهربائي مغنطيسي لاسلطة للجرم او الجسم على الجو الذي يحدثهُ . اي ان الجو متى صدر اصبح مستقلاً في كيانه . فاذا كان الجرم او الجسم سائراً بأية سرعة فلا يسير جوه معهُ بل يبقى مكانه . وانما في كل هنيهة يحدث الجرم او الجسم جوًّا جديداً حوله ، وهكذا على التوالي . وقد شرحنا ذلك في فصل برهان التقلص

فالشمس (وكل جرم وكل جسم) تحدث الجو الجاذبي كأنهُ أمواج تنتشر حولها ولكن لا سلطة لها عليها . وهي في سيرها تقتحم في هذا الجو فتجعله أمامها اكثف أو أحدّ منه وراءها . وهكذا يكون الجو أمامها أقوى جاذبية منهُ وراءها [1] . وبالتالي يكون تحدبه أمامها أشد منه وراءها . وهكذا يكون العامل لانحناء شعاع النجم القصي المار أمامها ناشئاً عن سببين . الاول تحدب الجو الجاذبي الاصلي (النيوتوني) والآخر ازدياد حدة هذا الجو بسبب اقتحام الشمس فيه

فترى مما تقدم ان الحيز الذي يشغله أي جرم وجوهُ الجاذبي معهُ يسمَّى محدباً بمعنى أن أي حركة تمر في هذا الجو لابد ان تكون منحنية بسبب تأثير هذا الجو فيها ، ويستحيل ان تحدث حركة في هذا الجو بخط مستقيم . هذا هو المراد بتحدب الحيز وهذا هو معنى « تحدب الفضاء» الذي لفظ به الكتاب الذين راموا أن يكتبوا شيئاً عن النسبية

بناء على صحة نظرية تحدب الجو الجاذبي زعم اينشتين وكل من جاراه في زعمه أن الفضاء (والأصح الحيز) الذي يكون فيه جو جاذبي يكون متحدباً . والحيز الخالي من جرم لا يكون متحدباً لأنه لا جو جاذبي فيه . فالحيز الكوني العظيم الذي تشغله الاجرام التي لا تحصى مختلف التحدب بسبب ما فيه من اجرام تنتشر حولها أجواء جاذبية وما فيه من فراغ خال من هذه الاجواء . وهي كالتموجات فيه . او هو كالارض التي تتعاقب فيها البطاح والهضاب والآكام والسهول

وهذه النظرية (نظرية تحدب الحيز) قادت اينشتين الى عقيدته في شكل الكون المادي . وسنشرحها في فصل آخر

---

(١) لم اطلع على تفاصيل اعمال العالمين الفلكيين المشار اليهما آنفا . فلا ادري ان كان الراصدون قد رصدوا كوكبة النجوم التي امام الشمس (اي التي كانت الشمس تقتحم اليها او الكوكبة التي وراء الشمس اي المطلقة ورائها ، فان كانوا قد رصدوا الاولى فقط فاعتقد انهم اذا (او لو) رصدوا الثاني لوجدوا انحناء النور اقل . ربما كان زاويته ٨٥ ، الثانية اي نصف زاوية الانحناء الاول

الفصل الثالث عشر

النسبية في الجاذبية — التناسب بين الاستمرارية والمسارعة

١ — المراقبة في جو جاذبي وفي جو استمراري

نأتي الآن الى بيان كيف ان النسبية تلعب دورها في الجاذبية فتريك القوة الاستمرارية قوة انجذابية (تسارعية) تارة، والقوة الانجذابية قوة استمرارية تارة اخرى. ولذلك نضرب لك المثل الذي ضربهُ اينشتين نفسه

تصور حيزاً كبيراً من الفضاء مستقلاً عن عوامل الأجرام تمام الاستقلال فلا تأثير لجاذبيتها فيه البتة. تصورهُ خلواً من جو جاذبي اجنبي ولا فعل للجاذبية فيه. حتى اذا كان فيه شيء يتحرك يبقى متحركاً بخط مستقيم على وتيرة واحدة، وان كان فيه شيء ساكن يبقى ساكناً. ثم تصور ان فيه صندوقاً كبيراً كانهُ غرفة كبيرة وفيه شخص معهُ عدده. ففي هذه الحالة التصورية لا حكم للجاذبية على هذا الشخص لانه بعيد عن اي جو جاذبي كما فرضنا. فلو صُدِم الصندوق بصدمة من تحت لارتفع الشخص رويداً الى سقفه (بفعل هذه الصدمة اذ لا قوة جاذبة ترده الى أسفل الصندوق). ثم تصور ايضاً ان هذا الصندوق معلق بحلقة في سطحه والحلقة معلقة بحبل، والحبل في يد تديره فوقه (لا يهمنا ما هي هذه اليد). ثم جعلت هذه اليد ترفع الصندوق «الى فوق» ارتفاعاً مسارعاً، حتى اذا كان في ذلك الفضاء (الذي فرضناه مستقلاً عن الاجرام) شخص آخر ثابت في حيزه يراقب الصندوق فيراه يرتفع بسرعة تتزايد الى ان تبلغ الى حد لم يعرف له مثيل

فما قولك بالشخص المقيم في الصندوق الكبير؟ كيف يرى هذا السير؟ لا يخفى عليك ان قوة المسارعة تتصل به بفعل قعر الصندوق في قدميه، اذ يشعر بالضغط من اسفل الى فوق. او بالاحرى يشعر ان لبدنه ثقلاً على ارض الصندوق. فشعوره كشعور اي شخص واقف على الارض يحس ان له ثقلاً يتعب ساقيه تحت ثقل بدنه. فلو القى هذا الشخص من يده اي شيء كحصاة مثلاً فقوة المسارعة التي يشترك بها مع الصندوق المسارع في الارتفاع والتي كانت الحصاة تشترك بها حين كانت في يده — قوة المسارعة هذه، تنقطع عن الحصاة في نفس اللحظة التي تنفصل فيها عن يده. اي ان الحصاة تخلو من الحركة — تبطل ان ترتفع معهُ بارتفاعه مع الصندوق. وحينئذٍ يرى الحصاة تنزل الى ارض الصندوق نزولاً متسارعاً

والحقيقة في نظرنا نحن الذين نتصور هذه العملية ونحن خارج الصندوق ان الحصاة لم تنزل ، ولكن ارض الصندوق هي التي ارتفعت . فاذا يعتقد الواقف في الصندوق اذاً ؟ فاذا كان يعلم معنى الجاذبية ويعتقد بالجو الجاذبي (ونحن نفرضهُ عالماً وفاهماً) فيعتقد انهُ هو والصندوق الذي يأويه كلاهما في جو جاذبي مستمر مع الزمن . ولا بد انهُ يتحير في عدم سقوط الصندوق به في هذا الجو الجاذبي الى ان يكتشف ان سقف الصندوق معلق بحبل وان الصندوق ثابت في ذلك الفضاء غير مرتفع فيه (ونحن فرضنا انهُ مرتفع) وان سقوط الحصاة كان بحكم الجو الجاذبي . ولكنهُ لا يظن ان تلك اليد ترفعهُ الى فوق . على ان المراقب خارج الصندوق العالم ان لا جو جاذبي يحيط بالصندوق يعلم ان الحصاة لم تسقط سقوطاً بل الصندوق ارتفع . يعلم ان هناك قوة استمرارية يرتفع الصندوق بها ، لا قوة جاذبية تجذب الحصاة الى اسفل . فانظر كيف يختلف نظر الاثنين

لنتوسع في الموضوع ايضاً . افرض ان الشخص الذي في الصندوق علق في السقف حبلاً وعلق في طرف الحبل حجراً (لا نزال نفرض ان ذلك الجو خال من الجاذبية وان اليد التي ترفع الصندوق لا تزال ترفعهُ) فبالطبع الحبل يتوتر (يشتد) الى اسفل ، ليس بثقل الحجر اذ لا ثقل له ما دام ذلك الفضاء خالياً من الجاذبية ، بل بفعل المسارعة الى فوق . فاذا تساءلنا عن سبب توتر الحبل كان رأي الشخص الذي في الصندوق غير رأي شخص آخر خارج الصندوق بعيد عن تأثير اليد التي ترفع الصندوق . فشخص الصندوق يقول بحسب عقيدته واختباره ان الاجسام تسقط بفعل الجاذبية (لانهُ يعتقد انهُ في جو جاذبي) ولذلك تفسر الجاذبية الحجر ان ينزل الى تحت ، ولكن الحبل يمنعهُ فيتوتر بمقدار فعل الجاذبية في الحجر . اما الشخص الآخر الذي في الفضاء خارجاً عن الصندوق ولا تأثير فيه من القوة التي ترفع الصندوق فرأيه ان الحبل مشترك بقوة المسارعة مع الصندوق المرتفع متسارعاً ، والحبل يوصل قوة المسارعة هذه الى الحجر المعلق بالحبل . فتوتر الحبل الى حد ان اضطر الحجر الى الارتفاع مسارعاً ايضاً بمقدار ما للحجر من قوة الاستمرار في حالته الاولى (اي السكون)

لنفرض اننا نحن ذلك الشخص الآخر البعيد عن الصندوق ونحن نرى الحادث خلاف ما يراه الشخص المقيم في الصندوق

هو عزا توتر الحبل الى فعل الجاذبية في الحجر لانهُ يعتقد ان الصندوق ثابت في الفضاء لا ان اليد المسكة به ترفعهُ . وحسب توتر الحبل معادلاً لمادة الحجر مضروبة بقوة التسارع الناجمة من فعل الجاذبية . واما نحن الذين نعلم ان فضاءه خال من الجاذبية وان الحصاة لم تسقط سقوطاً ، وانما الصندوق هو نفسه الذي يرتفع وارضهُ تقرب الى الحصاة ، فنهزأ به ونعده مغفلاً .

ولكن لو كنا مكانه لحكمنا حكمه حتماً ، لان نظره الى هذا الحادث او تفسيره له لا يخالف المعقول ولا يناقض النواميس الميكانيكية

هو يعتقد ان الحصاة سقطت الى ارض الصندوق ، ونحن نعتقد ان ارض الصندوق ارتفعت الى الحصاة . وكلا العقيدتين صادقة . هو يرى الحصاة مسارعة الى اسفل بحسب سنة الجاذبية لانهُ يعتقد انهُ في جو جاذبي ، ونحن نرى الحصاة ساكنة في جوف الصندوق بقوة الاستمرار والصندوق يصعد ، لانا نعتقد اننا في جو خال من الجاذبية . ففي كلا الاعتبارين الحصاة واحدة وحادث اقترابها الى ارض الصندوق واحد . وانما نحن نعتبر الحصاة في حالة استمرارية ، وهو يعتبرها في حالة تسارعية بقوة الجاذبية . هو في وضع ونحن في آخر بالنسبة الى هذا الحادث . فاذاً استمرارية الجسم معادلة لانجذابيته اي تسارعه . فلا فرق بين ان تكون الحصاة ثابتة او متحركة الاَّ بالنسبة للراقبين

الشخص في الصندوق ونحن نرى الصندوق بالنسبة الينا يرتفع . وهذا اذا نظر الينا رآنا بالنسبة اليه ننخفض . فقد تكون الحقيقة كما يرى هو لا كما نرى نحن . لو كان في ذلك الفضاء جسم آخر ونظرنا نحن وهو اليه لاكتشفنا من منا يرتفع او ينخفض بالنسبة الى ذلك الجسم الآخر . وكيف نعلم ان كان ذلك الجسم الآخر الثالث ثابتاً في حيزه ، او صاعداً او نازلاً ، لكي نحكم أينا متحرك او ساكن ؟ ليس في الوجود سكون مطلق تقاس فيه أية حركة

وحاصل القول ان الجسم ساكناً او متحركاً هو أمر نسبي . ومن ذلك نستنتج منطقيًّا ان الجاذبية نفسها أمر نسبي . لانا في الحادث المفروض ايضاً رأينا مراقبين الواحد يعتقد انهُ في جو جاذبي ، والآخر يعتقد ان الجو غير جاذبي . فاذا اختلفت اوضاع المراقبين للحادث اختلف نسبة الحادث اليهم

اذاً القوة الاستمرارية والقوة الانجذابية او التسارعية كلتاهما نسبية . وهنا النسبية أبدت نظرية ان هاتين القوتين متساويتان ، والاَّ لكشفت كلٌّ منهما حقيقة الأخرى إن كانت ثمت في الوجود حركة مطلقة حقيقية

ب — التمييز بين جو جاذبي وجو استمراري

ولزيادة الايضاح نضرب مثلاً آخر ضربهُ الدكتور تيرنغ الاستاذ في جامعة فينا . وهو أسهل تفهماً من مثل اينشتين ، وأنجح تمثيلاً للنظرية من مثل اينشتين

علمت في الفصل الاسبق اننا نستطيع ان نشعر بالحركة التي ليست على وتيرة واحدة من غير ان نضاهيها بحركة أخرى ، بل يكفي ان نضاهي بعضها ببعض كما علمت في مثل مركبة القطار والكرة . ولكننا لا نستطيع ان نميز بين القوة المحدثة الحركة ، هل هي استمرارية او انجذابية . واليك مثل تيرنغ :

اذا كنت في مصعد (آلة الصعود) Ascenseur-Lift حينما هو يصعد كان ثقلك يزداد لان القوة التي ترفع المصعد تقاوم قوة الجاذبية وقوتك الاستمرارية جميعاً ، مضافةً هذه الى تلك . واتجاه حركة المصعد معاكسة لها . واذا الفيت اي شيء من يدك رأيته ينحط بأسرع مما لو كان المصعد ثابتاً . يتضح لك هذا الامر بأكثر جلاء اذا كان في يدك سلك لولبي كسلك انبوبة النارجيلة (الشيشة) وهو عريان، وقد علقت في طرفه السائب اوقية من الحديد او اي مادة . فحينئذٍ ترى أوقية الحديد صارت أوقية وكسوراً . وكلما زادت سرعة المصعد وهو صاعد ازداد انحطاط السلك . حتى يمكنك ان تحسب قيمة تسارع المصعد من مقدار انحطاط السلك، اذا تحققت قيمة النسبة بين الامرين

ويمكنك ايضاً ان تختبر هذا الامر اذا استعملت خيطاً من المطاط (الكوتشوك) بدل السلك اللولبي فترى نفس النتيجة . وربما كان هذا الامتحان الفعلي لا يريك النتيجة عياناً لان الانحطاط يكون زهيداً لا تكاد تتبينهُ ، لان التحقيق بواسطة هذه العملية يستلزم جهازاً طويلاً مرتفعاً جدًّا بحيث يكون الخط المطاط طويلاً لكي يظهر الفرق في طوله بين حالتي السكون والحركة

واذا كان المصعد نازلاً بتسارع ترى عكس النتيجة السابقة . ترى ان السلك اللولبي او خيط المطاط ينكمش (بدل ان ينحط) . ولكن كلما أسرع المصعد بالنزول ازداد الانكماش، كأن القطعة الحديدية خفت لان القوة الاستمرارية تقاوم قوة الجاذبية فتختزل منها . وتشعر ان جسمك خف، وان الجسم الساقط من يدك أبطأ نزولاً منهُ فيما لو كان المصعد ثابتاً

ولكن تصور ان المصعد ثابت في مكانه وانما جاذبية الارض تغيرت بسبب من الاسباب فزادت او نقصت او جعلت تزداد تارةً وتنقص أخرى . أفترى هذه النتائج نفسها ؟ بلا ريب تراها نفسها . اذا جعلت جاذبية الارض تزداد (او بالاحرى الجو الجاذبي يشتد) ترى السلك اللولبي او خيط المطاط ينحط لان ثقل قطعة الحديد ازداد . وكلما اشتدت جاذبية الارض ازداد هذا الانحطاط . والامر بالعكس فيما لو جعلت جاذبية الارض تنقص (اي ان شدة الجو الجاذبي جعلت تقل) فترى الاجسام خفت والسلك اللولبي والخيط المطاط انكمشا . فسيان ان كان المصعد صاعداً او نازلاً او ان جاذبية الارض تزيد او تنقص

ولعلك تقول انك فرضت ازدياد جاذبية الارض ونقصها فرضاً . ولا يعتمد على النظريات الفرضية بل على الاختبار العملي . اقول لست افرض ازدياد الجاذبية ونقصها فرضاً . بل هما امران واقعيان. انت تعرف الميزان السلكي اللولبي ذي الكفة الواحدة . ضع فيه رطلاً وأنت عند شاطىء البحر، ثم اصعد به الى قمة جبل حملايا، وانظر كم ينكمش لولب هذا الميزان فتعلم كم نقصت جاذبية الارض في تلك القمة وكم خف وزنه . فالفرض الذي فرضناه ليس نظريًّا . بل هو فرض

عملي . تقول : لم بين قنة جبل وسطح البحر فرق محسوس في حدة الجو الجاذبي . وهذا الامر من خصائص مناطق الجو الجاذبي . ففي اي مكان على مستوى سطح البحر يكون الجو الجاذبي في درجة واحدة من الحدة . وأي مكان على مستوى قنة جبل يكون الجو الجاذبي في درجة واحدة ايضاً تختلف عن تلك . فلا نجد مكاناً معيناً تختلف فيه حدة الجو الجاذبي بين برهة وأخرى لكي نختبر صحة تلك النتائج السالف شرحها

نقول بل في اي مكان على سطح الارض يمكن ان تتراوح حدة الجاذبية بين ساعة واخرى. لعلك تستهجن هذا القول . فهل نسيت المد والجزر ؟ اليسا من فعل جاذبية القمر (على الاكثر) وفعل الشمس في الارض؟ اضرب صفحاً عن الشمس لبعدها السحيق عنا . فان المد والجزر الناتجين عنها خفيفان . ولكن المد والجزر الناتجين عن القمر ظاهران جيداً . فلا مشاحة اذاً في انهُ متى كان القمر فوقنا قلت جاذبية الارض للاجسام التي عليها في منطقتنا بقدر ما يختزله القمر منها. وحين يغيب عنا تزداد جاذبية الارض . واذا شئت فافرض ان الارض قريبة جداً الى الشمس بحيث يظهر الفرق في الجاذبية على سطحها المواجه للشمس والسطح الآخر المضاد لهُ

واذا كان عندك سلك لولبي شديد التأثر شعرت بالفرق بين الحالتين . ونفرض ايضاً ان مصعداً يصعد الى علو شاهق جداً . وتصوّر اننا وضعنا شخصين في هذا المصعد وليس فيه شيء سوى مصباح يستنيران بهِ وقطعة حديد صغيرة معلقة بسلك لولبي او بخيط مطاط . ثم اقفلنا المصعد عليهما وأمرناهما ان يناما هنيهة

بعد حين صحوا فرأيا السلك او الخيط منكمشاً اي أن طوله اصبح أقل مما كان . فقد يقول أحدهما لا ريب ان الشمس فوقنا الآن والوقت ظهر لان جاذبيتها قد اختزلت من جاذبية الارض شيئاً فخفت الاجسام في منطقتنا وانكمش المطاط . وأما المصعد فثابت في مكانهِ

وقد يعارض الشخص الآخر ويقول : — ليس سبب الانكماش ان الشمس فوق رأسنا الآن، بل سببه ان المصعد هابط بنا من موقعهِ الشاهق . وفي حالة انقباض الخيط يختلف رأيهما ايضاً فذاك يقول ان الشمس في الجانب الآخر ونحن في منتصف الليل . والآخر يقول : لا ليس الامر كذلك بل المصعد صاعد بنا . هذان قولان لا غبار عليهما . كلاهما صادق . ولكن ليس في وسع أحد الرجلين ان يبرهن جازماً بصحة دعواه وفساد دعوى الآخر

ترى مما تقدم ان انكماش الخيط المطاط (الكوتشوك) هو نتيجة احدى حالتين : إما أن المصعد هابط متسارعاً طوعاً لقوة الجاذبية الارضية التي يقلل التسارع فعلها في القوة الاستمرارية التي لقطعة الحديد المعلقة بالخيط . وإما ان المصعد ثابت في حالة استمرارية، ولكن الشمس صارت في السمت ، فجعلت تجذب قطعة الحديد الى فوق

فللمقيم في المصعد ان يعزو الانكماش المذكور اما الى حالة استمرارية في المصعد على ظن انهُ ثابت، واما الى حالة تسارعية في قطع الحديد على ظن ان الشمس صارت فوق المصعد وهي تجذبها الى فوق . فاذاً لا فرق في القيمة بين حالتي الاستمرارية والتسارعية (الانجذابية). انهما متعادلتان، وليس في وسع المقيم في المصعد أن يعين بينهما او ان يكتشف هل كان المصعد في حالة استمرارية (ثابتاً) او هو في حالة تسارعية (هابطاً)

ج — نظرية التعادل بين الجر الاستمراري والجر الجاذبي

ولذلك صاغ اينشتين هذه السنّة : «في جميع الظواهر الطبيعية الجو الجاذبي في نطاق واحد (اي في درجة معينة من حدته) يكون دائماً ولا بد مساوياً للجو الاستمراري الذي ينشئهُ التسارع المستمر في خط مستقيم». وقد سمّى هذه السنة «سنة التعادل» وبنصها Equivalence Hypothesis

واليك العملية الرياضية التي صاغها اينشتين لتفسير ان الاستمرارية والتسارعية (الجاذبية) متعادلتان ومتلازمتان :

بحسب قاعدة نيوتن المقررة في علم الميكانيكات الطبيعية :

(١) القوة = المادة الاستمرارية × بالمسارعة

باعتبار ان المادة الاستمرارية هي قيمة حركة ثابتة للجسم المتسارع

مثال ذلك : اذا كان جسم معلق من علو شاهق بحبل ملفوف على بكرة، والحبل ينحل عن البكرة الدائرة على محورها بسرعة غير متغيرة بحيث يهبط الجسم بسرعة غير متغيرة ايضاً — قل ١٠ أقدام كل ثانية على توالي الثواني — فذلك الجسم في حالة استمرارية . ويسمى حينئذٍ «المادة الاستمرارية» . ثم متى انحى الحبل عن البكرة شرع ذلك الجسم مستقلاً يتسارع في هبوطه بمعدل ٣٢ قدماً في الثانية كل ثانية . وحينئذٍ يصبح الجسم في حالة التسارع ، ويسمى المادة التسارعية او بالاحرى المادة الانجذابية باعتبار ان الجاذبية سبب تسارعه . فحاصل ضرب سرعته في حالة سقوطه الاستمراري (قل ١٠ اقدام مثلاً بالثانية) بتسارعه في هبوطه ($٣٢ \times \frac{٢٥}{٣}$) = قوته . كما هو معلوم في الميكانيكات باعتبار ان ث عدد الثواني التي يستغرقها سقوطه منذ شرع يتسارع — هذا هو معنى المعادلة الاولى الآنفة

ثم بناء على ان سبب المسارعة هو قوة الجاذبية Gravitation لنا : —

(٢) القوة = المادة الانجذابية (التسارعية) × بحدة الجو الجاذبي

باعتبار ان الانجذابية هي خاصة دائمة للجسم المتسارع . ومعنى ذلك ان معدل مسارعة الجسم ثابت لا يتغير في اي نقطة من منطقة معينة من مناطق الجو الجاذبي . فالحجر في اي نقطة على

سطح الارض (تقريباً) يسقط بسرعة ٣٢ قدماً كل ثانية بالثانية . ولكن القمر يسقط في اية نقطة في فلكه حول الارض بسرعة ٠٫٠٠٥٣٥ من القيراط بالثانية . لان حدة الجو الجاذبي هناك اضعف جداً منها على سطح الارض (بنسبة $\frac{١}{٣٦٠٠}$) . (والقمر لولا سرعته الاستمرارية الموازنة لقوة الجاذبية الارضية لسقط الى الارض كما يسقط الحجر . وللقارىء اذا شاء ان يحسب كم يستغرق من الوقت وصوله الى الارض

واذا كنا نعلم بالاختبار ان المسارعة غير متوقفة على طبيعة الجسم المتسارع او على أي حال من أحواله (الريشة والحجر يسقطان بسرعة واحدة في الفراغ) بل انها ذات معدّل ثابت لا يتغير في منطقة معينة من الجو الجاذبي (كالحجر في أي ناحية من نواحي سطح الارض ، او القمر في اية ناحية من نواحي فلكه) اذن فالنسبة بين المادة الانجذابية والمادة الاستمرارية ثابتة لا تتغير لجميع الاجسام . فاذا عبرنا عن هذه النسبة بأية وحدة نختارها كانت لنا هذه السنّة :—

المادة الاستمرارية = المادة الانجذابية (التسارعية)

كما يتضح جيداً ايضاً فيما اذا عادلنا بين المعادلتين السابقتين هكذا :—

لنا منهما :

(٣) المادة الاستمرارية × بالمسارعة = المادة الانجذابية × بحدة الجو الجاذبي

ولما كانت قيمة المسارعة متوقفة على الجو الجاذبي لا على طبيعة الجسم المتسارع كما فهمت آنفاً فينتج : اولاً ان النسبة بين المسارعة وحدة الجو الجاذبي ثابتة لا تتغير : كقولك :

$$\frac{\text{تسارع القمر}}{\text{حدة الجو الجاذبي في فلك القمر}} = \frac{\text{تسارع الحجر او الريشة}}{\text{حدة الجو الجاذبي على سطح الارض}}$$

وثانياً ان المسارعة تساوي حدة الجو الجاذبي او تماثله . فاذا اسقطناها من جانبي المعادلة الثالثة بقي لنا أن :

(٤) المادة الاستمرارية = المادة الانجذابية (التسارعية) او تماثلها

وهو ما ظهر للقارىء في شرح مثلي اينشتين وتيرينغ السابقين

وحاصل ما تقدم ان الجسم نفسه يكون في وقت واحد استمرارياً في ظرف وتسارعياً في ظرف آخر

الفصل الرابع عشر

نسبية الحركات الدائرة

١ — هل يمكن اكتشاف الدوران

رأيت فيما مضى ان النسبية تنفي وجود الحيز المطلق (المكان) الذي لا ينتسب الى حيز آخر ، وبالتالي لا بد ان تنفي وجود الحركة المطلقة التي تُنسب الى حركة اخرى ، سواء كانت الحركة المستمرة على وتيرة واحدة في خط مستقيم او الحركة السراعية . ينتج عن ذلك ايضاً ان القوة الاستمرارية لا تظهر الاّ بازاء (بالنسبة الى) قوات المسارعة التي تظهر بالنسبة الى الاجسام الاخرى، لا بالنسبة الى مسارعة مطلقة منتسبة الى لاشيء . وبعبارة اخرى ان للمادة ذات القوة الاستمرارية هي كالمادة ذات القوة الانجذابية مسببة عن التفاعل مع اجسام اخرى . فهذه الاعتبارات تؤدي الى نظرية تعادل القوتين الاستمرارية والانجذابية — هذا ما رأيناه آنفاً

ان جميع هذه الاعتبارات تنتج نتيجة قصوى ايضاً ، وهي ان الحركة الدائرية نسبية ايضاً. فلا يمكن القول ان هذا الجسم يدور على محوره الاّ بالنسبة الى جسم آخر . والاّ فلا معنى للقول بدورانه. تصور ان الارض وحدها في الفضاء وهو خال من الاجرام بتاتاً . فكيف يصح القول انها تدور على محورها (او حول نقطة في الفضاء) ؟ — نحن نقول انها تدور على محورها لاننا نرى اجرام السماء تنتقل من الشرق الى الغرب . فاذا كان الفضاء فراغاً مطلقاً ما عدا الارض فالقول انها تدور على محورها في الفضاء هو كالقول ان الفضاء يدور حولها ، وكالقول انها والفضاء ثابتان

كان نيوتن يعتقد بالحركة الدائرية المطلقة. وبحسب اعتقاده ، الارض مثلاً ، تدور على محورها بقطع النظر عن نسبة دورتها الى سائر الاجرام . يعني انهُ لو كانت الارض وحدها في الفضاء لما عجز عن اثبات انها تدور على محورها لاعتقاده ان قوة الشرود عن المركز [1] كافية لهذا الاثبات. فاذا كانت لا تدور فلا تشعر بهذه القوة[2]. وقد استنبط عملية لاختبار نظريته هذه : وهي انهُ صنع وعاءً

---

(١) Centrifugal force

(٢) لتفسير هذه القوة للقارىء الذي لا يعرف ماهي نقول : اذا ربطت بطرف خيط حجراً صغيراً وأمسكت الطرف الآخر وحركت يدك حركة دائرية جعل الحجر يدور على مدى الخيط حول يدك ، وشعرت بتوتر الخيط، كان الحجر يشده ، ويقتضي ان يفلت منه. فاذا كان الخيط ضعيفاً فقد ينقطع والحجر يفلت مندفعاً في خط مستقيم . هذه القوة تسمى « قوة الشرود عن المركز » تقابلها قوة الانجذاب الى المركز : وهي قوة متانة الخيط الذي انت تمسكه . وما دامت القوتان متعادلتين يبقى الحجر يدور على مدى الخيط . واذا كان الخيط مطاطاً ينمط الى ان تتعادل القوتان . هكذا الارض بدورانها على محورها تحاول ما هو منها على خط الاستواء ان يبتعد عن المركز . ولذلك نرى ان القطر بين القطبين اقصر من القطر الاستوائي . ولو كانت الارض مائعة وأسرع مما هي الآن لاصبحت كالقرص ، اذ يكون تأثير قوة الشرود عن المركز حينئذ اشد من تأثير القوة الانجذابية نحو المركز

يدور على قاعدته دورة عنيفة ووضع فيه ماء ثم جعله يدور . فكان الماء في اول الامر ثابتاً بقوة الاستمرار، اي لا يدور مع الوعاء . ثم جعل يكتسب منهُ حركة الدوران تدريجيًّا بواسطة احتكاك ذراته بجدار الوعاء ثم باحتكاكها بعضها ببعض . ثم جعل الماء يرتفع عند الجدار وينخفض في الوسط بقوة الشرود عن المركز. فحسب ذلك برهاناً على ان الوعاء يدور دوراناً مطلقاً ، اي لو كان الوعاء عظيماً كالبحيرة وهو في زورق صغير في وسطه ورأى الماء يرتفع عند الحيط لفهم ان الوعاء بما فيه من ماء يدور على نفسه، من غير ان يرى دليلاً آخر على الدوران . وبرهانهُ على ذلك انهُ لما كان الوعاء في اول الامر يدور وحده والماء ثابتاً فيه كان يصح القول بان الوعاء يدور بالنسبة الى الماء . ولكن لما صار الماء يدور مع الوعاء انتفت هذه النسبة. وانما صعود الماء عند الحيط بقوة الشرود عن المركز كان وحده دليلاً كافياً على الدوران

قد يتراءى للقارىء ان هذا البرهان دامغ . ولكن اذا انعم النظر وجده لا يدل على الدوران المطلق غير المنسوب لشيء . لو فرضنا ان نيوتن كان في زورق في ماء مالئ وعاء عظيماً ورأى الماء يرتفع عند الحيط فكيف يعلم بالدوران اذا لم يرَ خارج الوعاء اجساماً أخرى تتغير مواضعها ؟ ليس له ان يقول ان الماء والوعاء دائران وانما له ان يقول ان الماء ارتفع عند الحيط بقوة يجهلها لا اكثر ولا اقل . وكيف يحق له ان يتخذ هذا دليلاً على الدوران. الا يمكن ان تكون ثمت قوة اخرى جعلت الماء يرتفع عند الحيط — قوة ضغطت على وسط الماء فارتفعت حواشيه. وكيف عُرفت قوة الشرود عن المركز بسبب الدوران لو لم يكتشف الدوران بالنسبة الى حركة اخرى ؟

حقيقي ان قوة الشرود عن المركز في ماء الوعاء لم تظهر بسبب دوران الماء بالنسبة الى الوعاء لانهما يدوران معاً . ولكنها تظهر بسبب دورانهما معاً بالنسبة الى نيوتن الواقف على الارض يشاهدهما وهو لا يدور معهما، وبالنسبة الى كتلة الارض والى سائر الاجرام . فلو كان الوعاء وحده في الفضاء لما ظهر دورانه

وهناك نوع آخر من القوة على الارض، غير قوة الشرود عن المركز، يسببها دوران الارض ومع ذلك لا تصلح برهاناً على دورانها . وهي قوة كوريولس Coriolis Force والمراد بها قوة الزيغان عن اتجاه القوة ضد حركة الارض . فلو قذفت قذيفة الى الجنوب مثلاً فلا تقع حيث وجهتها جنوباً بل تنحرف قليلاً الى الغرب بسبب سرعة الارض نحو الشرق . وهكذا اذا قذفتها الى الشمال انحرفت قليلاً الى الغرب للسبب نفسه. ومن جملة ظاهرات هذه القوة انحراف الرياح الهابة شرقاً الى الشمال في نصف الكرة الارضية الشمالي . وظهور التلف في خطوط السكة الحديدية في جانب اكثر من آخر بحسب اتجاه هذه القوة . ومثل ذلك في الجانب

الواحد من الآخر اكثر من الآخر . ودوران رقاص فوكولت [1]

فبحسب نظرية نيوتن جميع هذه الظاهرات تدل على ان الارض تدور ، بصرف النظر عن نسبة حركتها الى الاجرام الاخرى، اي ان دورانها حركة مطلقة، وليس من الضروري ان يعتبر دوراناً بالاستناد الى حركة غيرها . ولذلك يعد خطأ فاضحاً القول ان الارض ثابتة والسماء تدور حولها كما قال بطليموس بل الصواب هو كما قال كوبرنيكوس — هي تدور والفلك ثابت

ب — هل الارض تدور أم الفلك يدور

فلنر ماذا يقول ارنست ماش E. Mach العلامة النمساوي بهذا الشأن قبل ان تظهر نظرية النسبية منذ ٣٠ سنة :

« اذا كان دوران الارض دوراناً مطلقاً خاصًّا بها بصرف النظر عن وجود سائر الاجرام او عدمه ، فقوة الشرود عن المركز تظهر في تفلطح الارض عند قطبيها وانتفاخها عند خط الاستواء . وقوة الجاذبية تضعف عند خط الاستواء ورقاص فوكولت يدور الخ . . ولكن اذا كانت الارض ثابتة فجميع هذه الظاهرات تبطل وجميع الاجرام السموية تكون هي الدائرة حول الارض دوراناً مطلقاً — نعم يكون الامر كذلك اذا ابتدأنا بالتعليل من افتراض نظرية المكان المطلق . فأين هو المكان المطلق ؟ ولكن اذا كنا نلازم أساس الحقائق فلا نستطيع ان نتكلم الاّ عن المكان النسبي والحركة النسبية . فجميع حركات الكون نسبية بعضها لبعض بحسب نظريتي بطليموس وكوبرنيكوس المختلفتين . كلتاهما صحيحة . وانما نظرية كوبرنيكوس أسهل تطبيقاً على العمل . لم يُعْطَ لنا الكون مرتين : مرّة بارض ساكنة وأخرى بارض متحركة . وانما اعطيناه مرة واحدة بحركاته المنتسبة بعضها الى بعض . ولذلك لانستطيع ان نقول ماذا يكون لو كانت الارض لا تدور . نستطيع ان نفسر الاحوال الواقعية بأساليب مختلفة . ولكننا اذا جئنا نفسرها بما يناقض الاختبار كانت طريقة التفسير خطأ . فمبادىء الميكانيكيات الاساسية يمكن ان ينظر اليها بأسلوب ان قوات الشذوذ عن المركز تنتج عن الحركات المنتسبة بعضها الى بعض »

قال ماش هذا القول منذ ثلاثين سنة قبل ان يصوغ اينشتين ناموس النسبية . فكأنهُ أعد لاينشتين برنامج هذا الناموس . فهو لا يرى فرقاً جوهريًّا بين القول ان الارض تدور على

(١) اقرأ عنه في أي كتاب من كتب الطبيعيات حيث تفهم ان هذا الرقاص متجه في خطراته الى نجم القطب دائماً اذا وجهته اليه . ولذلك يرسم في خطراته خطوطاً متوالية يدل توالياها على دوران الارض على محورها . ولو لم يكن في الكون نجم قطب أو اي نجم آخر لاستحال تفسير الخطوط المتوالية بأنه مسبب عن دوران الارض

محورها وقبة الفلك ثابتة، او بالعكس، اي الارض ثابتة والقبة تدور. فكل من القولين يعتبر صحيحاً

ولتقرير هذه الحقيقة (النسبية) لم يكن بدّ من جحد نظريات نيوتن الميكانيكية من حيث حركة المسارعة المطلقة الخ، ونظرية الجاذبية . لانهُ بحسب نظريات نيوتن لا بعد نظام الكون البطليموسي أقل موافقة بل يعد مستحيلاً . ولكن ناموس النسبية يرينا انهُ ممكن كنظام كوبرنيكوس

ولعل القارىء يسأل كيف نوفق بين النظام البطليموسي وبين قوى الشرود عن المركز وقوى (كوريوليس) «انحراف المرمى»؟ كيف تفعل هذه القوى على الارض ولا تفعل على الكواكب فلا تنثرها في الفضاء ؟ (اذا كانت هذه تدور فعلاً حول الارض)

والجواب بحسب ناموس نسبية الميكانيكيات أولاً : لا نلاحظ « قوى الشرود » محسوسة في النجوم الثوابت . لماذا ؟ لان المسارعة بالنسبة الى لاشيء لا تستلزم وجود القوى الاستمرارية أكثر مما تستلزم الحركة الدائرية (بالنسبة الى لا شيء) وجود قوى الشرود . لان حركة الدوران انما هي حالة خاصة للحركة التي ليست على وتيرة واحدة ولا هي في خط مستقيم . و « قوة الشرود » هي حالة خاصة بقوة الاستمرار

ثانياً اذا اعتبرنا ان الارض ساكنة ثابتة وجب ان نعتبر ان « قوة الشرود » و«قوى كوريوليس»قوى جاذبية مسببة عن دوران الاجرام السموية (حول الارض) . وهل في هذا الاعتبار غضاضة ؟

فبحسب الجواب الاول نبذ ميكانيكيات نيوتن (التي نحن مضطرون ان نتقحها بحسب نظرية النسبية الخاصة) . وبحسب الجواب الثاني نطرح نظريتهُ في الجاذبية . لان القوى الجاذبية بحسب ناموسه بين الاجرام الفاعلة بعضها على بعض تتوقف على مادة هذه الاجرام وعلى المسافات التي بينها . ولكنها لا تتوقف على حالة حركتها . وبناء على ذلك اذا اعتبرت النجوم (الثوابت) دائرة حول ارضنا فبحسب رأي نيوتن لا تفعل بقوة اخرى غير قوة النجوم نفسها (الثوابت) المعتبرة ساكنة — اي بلا قوة بتاتاً . لان النجوم مبذورة حول نظامنا الشمسي على معدل واحد تقريباً ، وقواتها تلاشي بعضها بعضاً

على ان ناموس النسبية يعلمنا ان القوى الجاذبية بين الاجرام لا تتوقف على مادتها، وعلى المسافات بينها فقط، بل على حالات حركاتها ايضاً . فاذا اعتبرنا جرماً ساكناً سكوناً مطلقاً بازاء جرم يدور دوراناً مطلقاً كالشمس والارض مثلاً فلا يبقى ثمت تجاذب متبادل بينهما . وانما اذا اعتبرنا الدوران نسبيًّا بحيث يصح القول ان كلاً من الجرمين دائر بالنسبة الى الآخر صح التجاذب المتبادل بينهما

الفصل الخامس عشر

اختبار ناموس اينشتين

ا — انحناء اشعة النور

لقد فهم القارىء مما سبق ان ناموس اينشتين الجاذبي يختلف قليلاً عن ناموس نيوتن اي أن « معادلة الجاذبية » التي وضعها اينشتين تصحح ناموس الجاذبية الذي وضعه نيوتن . على ان هذا الفرق بين الناموسين لا يظهر في حركات الاجسام البطيئة مهما كانت وسائل القياسات دقيقة، لان الفرق زهيداً جداً كانه في حكم النظري لا العملي . ولكن في الحركات السريعة جداً يظهر ذلك الفرق الزهيد . وقد ثبت وجود هذا الفرق بالاختبار في بعض الحالات اهمها ثلاث: —

الاولى : في مسألة انحناء شعاع النور حين يمر في جو جاذبي . وقد شرحنا هذه المسألة آنفاً في الفصل الثاني عشر

ب — دوران افلاك السيارات

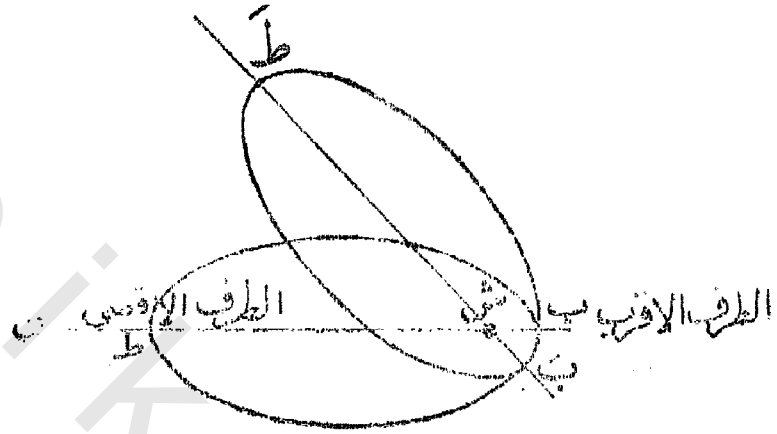
المسألة الثانية : هي مسألة حركة افلاك (مدارات) السيارات . فقد تقرر بناء على ناموس كبلر بشأن هذه الافلاك ان كل سيار يسير في فلك اهليلجي الشكل والشمس في احد محرقيه لا يتغير وضعه في الفضاء (l'Espace) . فهذا الناموس الذي وضعه كبلر استخرج نيوتن منه نظريته في الجاذبية (اي ناموسه) فكان هذا الاستخراج اعظم فوز لنظريته . بحسب قاعدة كبلر ونظرية نيوتن لا يختلف وضع الفلك الاهليلجي بالنسبة الى النجوم الثوابت . اي أن اتجاه اي جانب من هذا الفلك الى نجم ثابت يبقى على ما هو عليه مهما تعاقبت دورات السيار في فلكه

اي ان السيار كلما بلغ الطرف الاقصى قاطع فلكه عند (ط) من الخط المستقيم بين الشمس (ش) والنجم (ن)

هكذا رأى كبلر وهكذا استنتج نيوتن من ناموس الجاذبية . وقد ظهر لها ان اتجاه شكل الفلك الاهليلجي الى نجم ثابت على الدوام منطبق على فلك كل سيار الا فلك عطارد . فقد ظهر ان فلك عطارد يتحول كل سنة قليلاً عن اتجاهه السابق كما ترى في الشكل (ب ط) . ولم يفهم الفلكيون من عهد نيوتن الى عهد اينشتين سبباً لهذا الشذوذ

ولكن اينشتين استخرج من ناموسه الجاذبي السبب . وهو ان هذا الذي كان مظنوناً شذوذاً ليس شذوذاً ، بل هو امر طبيعي منطبق على افلاك جميع السيارات لا على عطارد وحده .

وانما ظهر هذا الامر في فلك عطارد ولم يظهر في غيره لانهُ اكثر فيه منهُ في افلاك سائر السيارات. فاذا كان يظهر محسوساً في فلك عطارد في كل دورة فلا يظهر محسوساً في افلاك السيارات الاخرى الاّ في دورات عديدة يتعذر تتبعها. ولهذا لا يلاحظ في هذه كما يلاحظ في فلك عطارد. وقد حسب اينشتين مقدار هذا التنقل في فلك عطارد فوجد انهُ ٤٣ ثانية في كل قرن



وسبب غفلة نيوتن عن هذه الحقيقة هو انهُ لم يراع في هذه المسألة الاّ قوة جاذبية الشمس للسيار. ولكن اينشتين راعى ايضاً جاذبية السيارات الاخرى بعضها لبعض، فأدخلها في حسابه، ومعادلته في الجاذبية شاملة لهذا الاعتبار

ج — انحراف الخط الموشوري

المسألة الثالثة: التي صدقت فيها معادلة اينشتين هي من خصائص الموشور. ولعني بها مسألة انحراف الشريط الموشوري الذي يرسمهُ شعاع نجم بعيد عن الشريط الذي يرسمهُ شعاع نور ارضي. ولكي يفهم القارىء هذا الانحراف نشرحهُ بقدر ما يمكن من الايجاز في ما يلي: —

لقد ذكرنا في مكان آخر من هذا الكتاب ان النور مؤلف من اشعة مختلفة الامواج من حيث الطول والسرعة، فأطولها ابطأها واقلها تواتراً، وأقصرها أسرعها وأكثرها تواتراً. ولذلك تصدر معاً وتسير معاً وتصل الينا معاً. ولكل نوع من هذه الامواج زاوية انكسار عند مرورها في الموشور خاصة بها. ولها لون خاص ايضاً. فمتى عبرت خصلة من النور الموشور تفرقت اشعة تلك الامواج بحسب اختلاف زواياها وظهرت بألوانها الرئيسية السبعة من الاحمر أطولها الى البنفسجي أقصرها، في شكل شريط بديع الالوان، وهو ما يسمى الطيف الشمسي المنحل

ولا يخفى ان النجم الذي يصدر من النور يكون في اثناء سيره قاحماً على امواج نوره في جهة سيره. فتكون الامواج التي امامه بالنسبة اليه اقصر من الامواج التي وراءه. وقد مثلنا على هذا في امواج الماء في الفصل الثاني صفحة ٣٥. كذلك اذا كانت ارضنا او كان نظامنا الشمسي برمته مقبلاً

على الشعاع الوارد من ذلك النجم كان يقحم على تلك الامواج فتكون بالنسبة اليه اقصر. وبالعكس اذا كان نظامنا الشمسي مبتعداً عن تلك الامواج كانت بالنسبة اليه أطول. فاذن اذا كان ذلك النجم يقترب الينا او نحن نقترب اليه او كلانا نتقارب كانت الامواج تبلغ الينا اقصر مما لو كنا نحن والنجم نتباعد

فلهذا الاعتبار اذا اخذنا خيطاً من نور ارضي من شق ضيق جداً والقيناه على الموشور رسمَ الشريط الموشوري الذي شرحناهُ آنفاً. واذا اخذنا خيطاً آخر من نور اي نجم مار من شق آخر ضيق فوق ذلك الشق الاول، ووجهناهُ الى الموشور، رسم شريطاً آخر موازياً للشريط الاول. فاذا تطابقت الوان الشريطين علمنا اننا والنجم لا نتقارب ولا نتباعد. ولكن اذا وجدنا شريط نور النجم قاحماً نحو اللون الاحمر في شريط النور الارضي، اي ان احمره يتجاوز احمر النور الارضي علمنا ان النجم يبتعد عنا او نحن نبتعد عنهُ، اي اننا واياه متباعدان. وان رأينا أزرقه يتجاوز ازرق النور الارضي علمنا اننا واياه نتقارب. فهذا التجاوز يسمى الانحراف الموشوري الذي نحن بصدده. ومقدار هذا الانحراف يدل على مقدار سرعة التباعد او التقارب. وليست له هذه الدلالة فقط بل يدل ايضاً على مقدار بعد النجم عنا. ولذلك معادلات رياضية ليس في الامكان شرحها

لا يظهر هذا الفرق جلياً بين نور الشمس والنور الصادر من مصدر ارضي لان الشمس لا تبتعد عنا ولا تقترب الينا الاّ قليلاً بسبب اهليلجية فلك الارض. ولذلك تعد ذات بعد عنا ثابت او زهيد التغير

وقد استنتج اينشتين من ناموسه الجاذبي ان اي حركة دورية في الذرة (الجوهر الفرد) في الشمس (في الذرة قوة جاذبية عظيمة) لا بد ان تكون بحسب قياس الوقت في ساعاتنا ابطأ من حركة دورية الذرة في ارضنا. فمدة هذه الحركة هي واحدة سواء في الشمس او في الارض. ولكن مدتها في المناطق الاخرى النجمية لا تطابق نفس الوقت بل تختلف

فلذلك اي خط (لون) في الشريط الموشوري، حين يكون النور وارداً من الشمس، لا بد ان يكون اقرب الى الاحمر في الطيف منهُ فيما لو كان النور من مصدر على الارض — يكون هذا الاقتراب زهيداً جداً حتى لا يكاد يلاحظ او لا يلاحظ بتاتاً. ولكنهُ حادث فعلاً بلا شك لان ناموس اينشتين يستوجبهُ حتماً

ولكن هذا الاقتراب او الابتعاد يظهر جلياً في الاشعة الواردة من مصادر نجمية بعيدة. وبواسطة معادلة اينشتين يستطاع معرفة مقدار ذلك الاقتراب او الابتعاد

فلذلك يعد ناموس اينشتين اصح من ناموس نيوتن. وحيث لا يمكن تطبيق ناموس نيوتن في الابعاد القصية فناموس اينشتين يقضي الغرض. وحيث تختلف نتيجتا الناموسين يعتمد على ناموس اينشتين لخلوه من النقص الذي في ناموس نيوتن

الفصل السادس عشر

المسافة والوقت والتواقت في النسبية العامة

فهمت فيما تقدم ان الحركة في خط منحن هي نتيجة تأثير الجو الجاذبي . وسواء كانت الحركة استمرارية او تسارعية فهي وليدة الجو الجاذبي ، وخطها منحن قليلاً او كثيراً في كل حال . وانما اذا كان انحناؤه قليلاً جداً بحيث لا يختلف عن الخط المستقيم الا نظرياً فقط كان من اختصاص النسبية الخاصة ، والا فهو من اختصاص النسبية العامة . ولذلك تعتبر الحركة التي تحت تأثير الجو الجاذبي موضوع النسبية العامة . وقد استوفينا البحث في الجو الجاذبي والحركة التسارعية تمهيداً للبحث في النسبية العامة . وفي خلال الابحاث الآنفة اندرج فريق من مواضيع هذه النسبية بحكم الطبع . ولم يبق الا تطبيقها على مواضيع المسافة والوقت والابعاد الاربعة والتواقت . وفيما يلي يرى القارىء ان ما علمهُ في النسبية الخاصة عن هذه المواضيع في خط الحركة المستقيم يطلق على خط الحركة المنحني ايضاً . فلنر أولاً كيف ان المسافة تقصر او تتقلص والوقت يبطؤ في خط الحركة المنحني . ولتقريب البحث للافهام لا بد من التمثيل بأمثلة غير ممكنة عملياً ولكنها ممكنة نظرياً

١ — التقلص في الجو المنحني

تصوّر قرصاً عظيماً جداً . او تصوّر مساحة الدائرة التي تدور الارض في محيطها حول الشمس هي هذا القرص . وتصور ايضاً قرصاً آخر مثله مساوياً له تماماً ومطابقاً له فوقهُ ، ومحوراً مارًّا في مركزي القرصين . القرص الاسفل ثابت بالنسبة الى سائر اجرام السماء لا يتحرك بتاتاً . والقرص الذي فوقهُ (١) يدور على المحور . ولنفرض ان في كلا القرصين سكاناً لهم من المعرفة ما للبشر الآن . ولكي نميّز بين الفريقين نفرض ان سكان القرص الاسفل الثابت عمالقة ، وسكان القرص الاعلى الدائر اقزام . وبين الفريقين اتصال وتفاهم تام

فسكان القرص الاسفل اي العمالقة لا يشعرون بحركة سوى حركة القرص الذي فوقهم يرونهُ يدور . فهم في جو استمراري بالنسبة الى اجرام الفضاء . واما اقزام القرص الاعلى فيشعرون بقوة تدفع من نحو المحور الى المحيط — قوة الشرود عن المركز Centrifugal force

(١) نقول فوق وتحت تسهيلاً للتصور فقط ، لانه ليس في الفضاء تحت وفوق الا بالنسبة لمركز الجاذبية كما هو معلوم

يشعرون ان الاشياء تقذف نحو المحيط كما نشعر نحن بهبوط الاجسام نحو مركز الارض . لذلك يعدون انفسهم في جو جاذبي بالنسبة الى أجرام السماء (وانما يختلف جوهم الجاذبي عن جونا بان قوة الجذب عندهم نحو المحيط وهي عندنا نحو المركز) . ثم انهم يعتبرون انفسهم في موطن ثابت وان قرص المالقة يدور من تحتهم . لذلك يعتبرون انفسهم بالنسبة اليه في جو استمراري وهو في جو جاذبي . هذا إذا غضوا النظر عن اجرام الفضاء

أما نحن القراء سكان الارض الذين على الحياد لا من هؤلاء ولا من اولئك فنعتبر جو الاقرام جاذبيًّا وجو المالقة استمراريًّا بالنسبة الينا والى سائر اجرام الفضاء

سكان القرصين عند المحور تماماً لا يشعرون باختلاف الجو في القرصين . وانما كلما ابتعدوا نحو المحيط شعروا باختلافه : كل فريق يرى الفريق الآخر مبتعداً من ناحية ومقترباً من أخرى

لنفرض ان للفريقين مقياساً واحداً : متراً أو كيلومتراً أو ميلاً ، كما تشاء ان تفرض . قاس كلٌّ من الفريقين نصف قطر قرصه من المحور الى المحيط فوجدوهما متساويين تماماً . ولما كانوا يعلمون كما نعلم أن الشعاع (نصف القطر) مناسب للدائرة ، او ان الدائرة ترسم بواسطة الشعاع ، قرروا ان محيطي القرصين متساويان بلا مشاحة

ولنفرض انهُ كان فيهم شخص كاينشتين مدرك ناموس النسبية . فقال لهم لا يمكن ان يكون عدد كيلو مترات محيط جيرانتا كعدد كيلومترات محيطنا بل اقل . ولذلك لا يمكن ان تكون نسبة محيطه الى القطر = ٢ ش ب (∎ ∎) = ٣٫١٤ بل اقل . لان محيطهم يتقلص بسبب دورانه — يتقلص في خط اتجاه الحركة

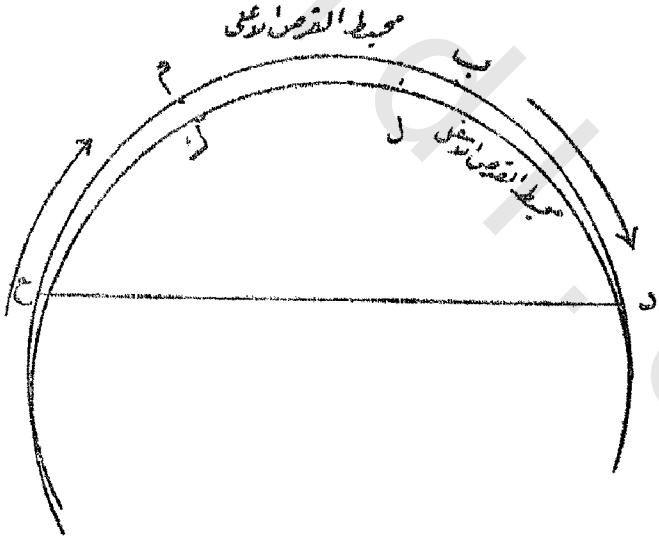
لنفرض نحن الارضيين ان هذا الشخص من عمالقة القرص الاسفل الثابت الذي لا يدور . ولكي يثبت قوله بالامتحان قاس كيلومتراً في محيط قرصه وجعل علامتين في طرفيه . ووقف عند طرفه الاول ورسم على القرص الاعلى الدائر علامة بواسطة طلاء ملون لكي يرى العلامة جيداً عن بعد كيلومتر . فلما رأى ان العلامة التي رسمها طابقت الطرف الآخر من الكيلومتر الذي حدده على محيط قرصه ، ضرب علامة اخرى فوق اول الكيلومتر . وقال هذا متر اول من محيط جيرانتا . ثم انتظر الى ان صارت العلامة فوق الطرف الآخر من الكيلومتر وضرب علامة اخرى على محيط القرص الاعلى وقال هذا كيلو متر ثانٍ . وهلمّ جرًّا الى ان تمت دورة القرص الاعلى وظهرت فوق صاحبنا العلامة الاولى . ورأى ان الكيلو مترات التي عدّها على القرص الاعلى اقل من عدد الكيلو مترات التي احصاها (من قبل) على محيط قرصه . وقال للمشاهدين ان نسبة محيط قرص جيرانتا الى قطره اقل من ٣٫١٤ بل هي اقل من ٣ . فاستغربوا لانهم يعلمون ان نسبة القطر للمحيط واحدة لا تتغير مهما كبرت الدائرة أو

صغرت. فكيف ذلك ؟ فقال لهم ان محيط جيرانتا، سائر، فهو متقلص في خط اتجاه سيره . نادى العالقة جيرانهم الاقزام وفاوضوهم في الامر وتجاربه . فقال الاقزام هانوا مقياسكم لنرى ان كان مطابقاً لمقياسنا أو غير مطابق له لعلنا نكتشف سر المسألة. فناولهم العالقة مقياسهم فوضعهُ الاقزام على مقياسهم طرفاً لطرف فاذا المقياسان بطول واحد تماماً . فقال لهم «اينشتين العالقة» ، بالله تقيسون به الكيلو متر الذي وضعت علامتي طرفيه على محيط قرصكم. فقاسوا به هذا الكيلومتر فاذا بهم يرون القياس غير مضبوط . ظهر المقياس أصغر مما يقاس به الكيلومتر. فقال لهم اينشتين ان القياس يتقلص عندكم متى وضع في الاتجاه الذي يسير فيه محيط قرصكم فيقصر . وأما نحن فلان قرصنا ساكن ثابت فالمقياس لا يتقلص . ولذلك قست كيلو متراً من محيط قرصكم ، وانا والمقياس ثابتان ، فجاء قياس الكيلومتر مضبوطاً . واما اذا قستم قطر قرصكم كما اقيسهُ انا من هنا فلا نجد فرقاً بين القطرين لان المقياس لا يكون متجهاً مع اتجاه خط حركة قرصكم بل يكون معامداً له. ولذلك لا يتقلص طوله بل يتقلص عرضه الذي لا شأن له بالمقايسة . فلا زالوا يقولون كيف ذلك؟

والقارىء يقول ايضاً كيف ذلك . فاليك التعليل : —

ب — تعليل تقلص الخط المنحني

نعود الى ناموس النور — النور الذي ينقل لنا اخبار الحوادث — فيتضح لنا جيداً تفسير هذا الامر المستهجن



لنفرض الدائرتين في الرسم تمثلان القرصين . وقد رسمناهما منحرفتين احداهما عن الاخرى لكي يسهل التفسير . ولكن على القارىء ان يتصورهما متطابقتين تماماً كانهما دائرة واحدة .

ولنفرض السهم يدل على اتجاه القرص الدائر الذي يقيسهُ العملاق في القرص الآخر الثابت وهو واقف عند (ك) . ولنفرض ان بين (ك) و (ل) كيلو متراً واحداً . رسم (ب) منذ كانت (م) فوقهُ . فلما رآها صارت عند (ل) تماماً رسم علامة فوق رأسه على القرص الآخر (م) . ولكن هل كانت (ب) حينئذٍ عند (ل) حقيقة ؟ لا . ابداً . لانهُ لم يرَها الا لما جاءه النور يخبر مطابقتها للنقطة (ب) . ولكن النور يستغرق وقتاً . فاوصله خبرها الا وقد صارت عند (ب) اي تجاوزت (ل) . فاذاً لم يكن الكيلو متر العلوي (م ب) مطابقاً للكيلو متر السفلي (ك ل) . بل كان اطول في نظرنا نحن الذين على الحياد . ولذلك عدّ العملاق في محيط القرص العلوي كيلو مترات اقل من كيلو مترات قرصه السفلي . ولانهُ يعتبر الكيلو متر واحداً فوق وتحت اعتبر المسافة من (م) الى (ب) متقلصة . وبالتالي كان المحيط العلوي في نظره متقلصاً فجاءت كيلو متراته اقل عدداً — حسب العيب أو الخلل في القرص الدائر نفسه ، لا في القياس الذي يقيسهُ معتمداً على النور الذي يأتي اليه بخبر تطابق العلامتين متأخراً . الحقيقة ان مقياسه نور وزمن معاً ، لا مسافة كيلو متر كما رسم وحدّد

اذا أعنتَ القارىء تفكيرهُ قليلاً يرى انهُ لو قام شخص قزمي في عالم القرص المتحرك يعمل نفس العملية التي عملها العملاق في القرص الثابت — اي لو جعل يقيس محيط القرص الثابت الذي تحته بنفس الطريقة لوصل الى مثل تلك النتيجة ، ولكن عكسها ، اي لوجد ان كيلو مترات محيط القرص الثابت هي الاقل عدداً ، ولذلك يعتبر قرصه هو ثابتاً والقرص الذي تحته دائراً . (كذا يراه بالنسبة اليه) . ولذلك يصل الى مثل تلك النتيجة — للسبب نفسه الذي شرحناه

فالمسألة نسبية بلا مشاحة

فيرى القارىء مما تقدّم ان المسافة المنحنية ، والجسم المتحرك ، منحنياً ، في جو جاذبي كلاهما يتقلصان في خط اتجاه الحركة المنحني ، كما يقصران في خط اتجاه الحركة المستقيم . ويرى ان النسبية تعم الخطين المستقيم والمنحني والجوين الجاذبي (التسارعي) والاستمراري جميعاً

ج — تمرد الوقت في الخط المنحني . ونسبية التواقت

بقيت مسألة نسبية الوقت . وهي ان عمالقة القرص الأسفل يرون ان ثانية اقزام القرص الاعلى أطول من ثانيتهم ، اي ان الوقت عندهم أبطأ . فاذا كان القارىء يطبق العملية التي شرحناها في مسألة الوقت في النسبية الخاصة (الفصل السادس صفحة ٦٢) يقتنع بهذا القول

بالاختصار : اذا كان في كل من القرصين محطتا راديو ، وفي كل محطة ساعة مضبوطة لا تختل بتاتاً ، ثم اذا وقعت عقارب الساعتين على وقت واحد ، حين تكون المحطتان في موقع واحد ، فكلما بعدت المحطة الواحدة عن الاخرى بلغت تلك الى هذه متأخرة ، فيرى أهل هذه ان الوقت هناك بطيء

قد يلوح للقارىء الفطن انهُ متى جعلت المحطة المتحدة تميل من (ل) الى نحو (د) (على فرض أن المحطتين افترقتا من عند (ح) بقل ابطاء الدقات لان القطر (د ح) اقصر من نصف الدائرة . فتذكر القارىء ان موجات الراديو كموجات النور خاضعة لتأثير الجو الجاذبي . فتنحني فيهِ كما ينحني النور . ولذلك لا تسير في خط القطر (د ح) بل في القوس (د ب م ح)

تبقى مسألة التواقت وهي نتيجة تقلص المسافة وابطاء الوقت كما علمت في النسبية الخاصة . فلا داعي لتكرار البحث

كذلك مسألة الأبعاد الاربعة فهي نتيجة انتقال الجسم بابعاده الثلاثة في خط حركة يُعبَّر عنهُ بزمن كما تقدم بسطهُ الوافي . وانما يكون البعد الرابع في الجو الجاذبي منحنياً ايضاً بانحناء خط الحركة ، خلافاً للبعد الرابع في خط الحركة المستقيم في النسبية الخاصة

فاذا كان خبر الحادث ينتقل في جو جاذبي بالنور أو بالراديو من (ب) الى (ح) مثلاً فلا ينتقل في خط مستقيم بل في خط منحنٍ كما تكرر القول

لذلك تختلف حساب الابعاد الاربعة في النسبية العامة عن حسابها في النسبية الخاصة بسبب هذا الانحناء . ولذلك ايضاً تأتي المعادلات الرياضية في النسبية العامة معقدة وتختلف فيها عبارة لورنتز المشهورة . ولا يستطيع فهم النسبية العامة رياضيًّا الاّ من حذق الرياضيات العليا . وفي الفصل التالي اسهاب بموضوع الابعاد الاربعة وتحديها مع تحدب الحيز المادي

الفصل السابع عشر

تحدّب الفضاء

وماذا عني به النسبيون ؟ ولماذا لا تصلح له هندسة اقليدس ؟

أ — تصورات العامة

اذا قلت للعامي الفضاء منحنٍ او متحدّب حسب هذا القول هذيانًا او كلامًا فارغًا كفراغ الفضاء ، لا معنى له . واذا قلته للمثقف ثقافة عامة وهو يفهم ان اي حجم من الفضاء هو ذو ثلاثة ابعاد متعامدة وذو جهات ستّ يستهجنهُ ، ويسأل : ماذا تعني بان الفضاء متحدّب ؟ — فاذا قلت له : ان الخط المستقيم الذي عرّفهُ اقليدس بانهُ اقصر مسافة بين نقطتين لا وجود له في الفضاء لان كل خط في الفضاء منحنٍ بالنسبة الى هذا الخط المستقيم الذي عرفهُ اقليدس ، وبالتالي الفضاء متحدّب به — اذا قلت له هذا القول عدّه سخافة واجابك : انهُ قول غير منطقي لانّ بعضهُ مناقض لبعض ، فضلاً عن انهُ مناقض للاختبار ، لاني اذا اديت بحبل طويل معلق فيه جسم ثقيل من مكان عالٍ رأيت خطًّا مستقيمًا . واذا تصورت حبلاً مثله ممدد من الارض الى الشمس التي هي مركز الثقل في النظام الشمسي تصورت هذا الحبل الذي طوله ٩٣ مليون ميل خطًّا مستقيمًا ، ولا أستطيع ان أتصوّرهُ خطًّا منحنيًا . واذا كان الخط المستقيم طبيعةً في الفضاء فلا أستطيع ان أتصوّر الفضاء منحنيًا ، ولا أفهم كيف يكون متحدّبًا

هكذا يكون جواب الشخص المثقف على أقوالك الآنفة ، فكيف به اذا زدت عليها قولك ، ان الخط المستقيم يلتقي طرفاهُ خلافًا لقول اقليدس البديهي ، ان الخط المستقيم مهما مددته لن يلتقي طرفاهُ ؟ — وكيف به اذا قلتَ لهُ ان الخطين المتوازيين يلتقيان خلافًا لقول اقليدس البديهي انهما مهما امتدا فلن يلتقيا البتة ؟ وكيف به اذا قلت لهُ ايضًا ان زوايا المثلث لا تساويان زاويتين قائمتين ، وان زوايا المربع والمكعب ليست زوايا قائمة خلافًا لما هو معلوم في هندسة اقليدوس التي لا تزال هندسة المدارس والعلوم والفنون العصرية ؟ — كل ذلك يعده هذا المثقف سخافة وخرافة

ب — ما هو الفضاء

لذلك يجب ان تحقق ماذا عنى اينشتين واتباعه من علماء النسبية بتحدّب الفضاء واستحالة وجود خطوط مستقيمة فيه بالمعنى الاقليدسي

ليس فيما قاله أولئك النوابغ ما يستفاد منهُ تلك المزاعم المناقضة للعقول . ولا يمكن انهم يلقون الكلام على عواهنه . وانما كتاب الجرائد والمجلات الاجنبية عزوا تلك المزاعم الى نظرية النسبية على أثر ظهورها ولفظوا بها كثيراً ، من غير ان يفسروا المراد منها ، لانهم لم يدرسوا النسبية ولا تفهموها . وهذا بعض كتاب العربية حذوهم فتراءت قضايا النسبية ، ومنها تحدب الفضاء ، سخافة مستهجنة . والحقيقة انهم بكتابتهم عن تلك القضايا بلا تفهم مسخوا نظرية النسبية مسخاً اجراميًّا

والسبب الاساسي في هذا المسخ هو عدم تفسير الكتّاب الاجانب لفظ « الفضاء » وترجمة كتّاب العربية له بلا تفسير ايضاً . فاولئك ذكروا الفضاء بلفظ space وحسبوه فضاء خالياً Emptiness . وكذلك فهمه كتاب العربية ، فترجموا space بلفظ « فضاء » ، وهو لفظ ابلغ لمعنى Emptiness لانهُ يشعرنا بمعنى الفراغ المطلق

ولكن علماء العصر ولا سيما علماء النسبية عنوا بلفظ space الحيز الذي تشغله المادة من اجرام وأجواء جاذبية وكهرطيسية واثير (اذا اقتضى الامر ان يذكروا الاثير) . فهو حيز ملوء لا فارغ . وأما اذا اقتضى الامر ان يذكروا الفراغ المطلق قالوا Emptiness ، وهم يعنون به الفضاء المجهول الذي يحيط بالحيز الكوني المادي . وما هو الاّ العدم

لذلك يُعَدّ استعمال لفظ « فضاء » في لغتنا العربية لرحاب الكون المادي خطأ ، لان هذه الرحاب ليست خالية ، بل هي ملأى من أنواع التشعع أو النموج المختلفة : جاذبية وكهرطيسية . والاصوب استعمال لفظ « حيز » تحاشياً لايهام معنى الفراغ أو الخلاء

فالمقصود بالتحدب الذي نحن بصدده هو تحدب الحيز ، واعني به كل خط حركة فيه على الاطلاق . ولذلك لا يستقيم تفسير هذا التحدب الاّ بما عنيناه بلفظ الحيز المشغول بالمادة والمحدود بها . فكيف يكون هذا التحدب ؟

اذا أريد بالخط رسم الخط الوهمي التصوري فالخط المستقيم الاقليدسي (أقصر مسافة بين نقطتين) موجود ، ووجوده ممكن بالتصور وبالفعل أيضاً في المسافات القصيرة وبالرسم على الورق . ولكن العلم العملي مختص بالحركة التي هي حاصل اندماج القوة بالمادة . وخط الحركة لا يمكن ان يكون مستقيماً بالمعنى الاقليدسي بل هو منحن ، اي ان خط الحركة الفعلي لا يطابق الخط الهندسي النظري ، ولا يمكن ان يطابقه . لماذا ؟

عدم هذه المطابقة او سر هذا الانحناء هو في مصدر القوة المنتجة كل حركة في الوجود . وما هو مصدر القوة ؟ — الجاذبية !

سنة الجاذبية سبب الانحناء لكل خط حركة في كل جو جاذبي على الاطلاق . وحيث انهُ

لا وجود للحركة خارج الجو الجاذبي ، اذ لا جسم متحرك هناك ، فلا وجود لخط حركة مستقيم البتة . وقد تبسطنا في الفصل الحادي عشر عوضوع الجاذبية والجو الجاذبي وتحدبه ، فراجعه هناك ومنهُ تعلم ان الجو الجاذبي هو بينهُ الرحاب التي بين الاجرام . فاذا قلنا ان الفضاء او بالاحرى الحيز متحدّب عنينا ان هذا الجو متحدب بمعنى ان الخطوط التي ترحل فيها القوة على متن الامواج الاثيرية بين الجاذب والمجذوب منحنية لا مستقيمة

فاذن حيث يوجد جو جاذبي ، اي حيث توجد اجرام منجاذبة ، كان الحيز (الفضاء) متحدباً . وحيث لا توجد اجرام فلا يوجد جو جاذبي ، كما هي الحال بين الجزر المكونة المجرات المتباعدة ابعاداً سحيقة ، وبالتالي يعتبر الفضاء التالي هناك غير محدّب

في هذا الفضاء الخالي تصلح هندسة اقليدس ذات الخطوط المستقيمة . واما في الاجواء الجاذبية فلا تصلح ، لانهُ يستحيل ان تحدث فيها حركة في خط مستقيم البتة . فالاجرام تسير في افلاك مستديرة ، والقوى الفاعلة فيها ترد اليها في خطوط منحنية . لذلك لا يصح اي حساب فلكي على قاعدة الخطوط المستقيمة ، لانها قاصرة لا تفي بالغرض . بل لا بد من استعمال الخطوط المنحنية . ولذلك توسع فيها الرياضيون المتأخرون حتى وفت بالغرض . ولا ينكر انهم بنوا توسعهم على قضايا اقليدوس . ولذلك لم يكسفوا مجده بل بالاحرى جلوه باهراً

بقي ان نشرح للقارىء كيف ان هندسة الجو الجاذبي لا تطابق هندسة اقليدس

ج — تفسير السطح المحدب

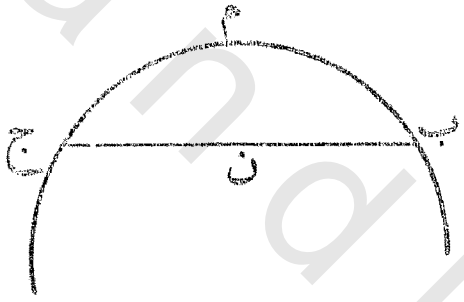
نحصر التمثيل في كرتنا الارضية بالرغم من انها لا تعد الاّ متناهية الصغر بالنسبة الى الكون الاعظم

كان الاقدمون يعتقدون ان الارض منبسطة مستوية (ليست كروية) تحيط بها المياه . فلنتصورها نحن الآن كما تصورها الاقدمون . تصورها سهلاً منبسطاً مستديراً كانها قرص كبير جدًّا ونغض النظر عن عمقها بتاتاً . نحسبها سطحاً مستديراً له طول وعرض فقط ، ولا عمق

افرض أننا مع جهلنا كرويتها ، لنا علمنا الرياضي الحديث ، ولنا اختراعاتنا الحديثة . وبواسطة علمنا واختراعاتنا استطعنا ان نقيس دائرة هذا القرص قياساً مضبوطاً . وحينئذ نستطيع ايضاً ان نقيس قطر هذه الدائرة

ونحن بعلمنا الرياضي نعلم ان نسبة القطر الى الدائرة كنسبة ١ : ٣٫١٤١٥ — اي اذا كان القطر متراً كانت الدائرة ٣ امتار و١٤ سنتيمتراً تقريباً . نعلم ان هذه النسبة هي واحدة سواء كانت الدائرة كبيرة أو صغيرة . فمحيط الدائرة مقسوماً على القطر يساوي هذا العدد مهما كان اتساع الدائرة

قلنا اننا استطعنا ان نقيس محيط دائرة القرص وقطرها . ولما حسبنا النسبة بينهما وجدناها اقل من ٣،١٤١٥ وان القطر أطول مما كان يجب ان يكون أو ان محيط الدائرة اقصر. نتحير بهذا الشذوذ عن القاعدة الرياضية التي لايمكن ان تكون خاصة بالدوائر الصغرى دون الكبرى . نرسم دوائر عظيمة على سطح ارضنا ونقيسها ونقيس اقطارها فنرى فيها هذا الشذوذ بعينه. فنبحث عن السبب . نفكر جيداً فلا يخطر لنا الا خاطر واحد وهو ان سطح قرصنا هذا ليس مستوياً كما توهمناه ، بل ان الخطوط التي نرسمها عليه (طويلة أو قصيرة) من أي جهة الى أي جهة أخرى ليست خطوطاً مستقيمة . بل لا بد ان تكون محدبة وبالتالي يكون سطح هذا القرص محدباً. والقطر الذي قسناه ليس خطًّا مستقيماً بل هو محدب أيضاً .ولذلك كان أطول من قطر الدائرة الحقيقي . فاختلت النسبة بينهُ وبين الدائرة. وأما قطر الدائرة الحقيقي فلا بد ان يمر تحت سطح القرص كوتر للقطر المحدب الذي كنا قد قسناه وكنا نظنهُ مستقيماً . وحينئذٍ نحكم ان سطح قرص الارض ليس ذا بعدين فقط: طول وعرض. بل له عمق أيضاً،وعمقهُ هو الفسحة التي بين القطرين: القطر المحدب الذي على السطح،والقطر المخترق الحيز تحتهُ من جنب الدائرة الى الجانب الآخر كما ترى في الرسم



ب م ج هو قطر قرصنا الذي على سطحه (والقرص نفسه لا يظهر هنا لانهُ مسامد للورقة المرسوم عليها هذا الرسم . فتصوره بين عينك وما وراء الورقة) و(ب ن ج) هو القطر المستقيم الذي يمتد تحت سطح القرص . فالسطح لو كان مستقيماً أي مستوياً لكان ذا بعدين فقط. ولكن ظهر انهُ محدب ، فصار لهُ طول وعرض وعمق . وعمقه هو الفسحة بين قطره المحدب وقطره المستقيم — بين (م) و(ن)

قد يبقى عندنا شك بهذا الحكم فهل لنا بطلنا الرياضي وسيلة أخرى لتحقق صحة هذا الحكم ؟ — نعم . نعلم ان مجموع زوايا اي مثلث يساوي زاويتين قائمتين اي ١٨٠ درجة

نرسم على سطح قرصنا ثلاثة خطوط طويلة جدًّا متلاقية الاطراف ونقيس الزوايا الثلاث

فنجد مجموعها اكثر من ٣٦٠ درجة فنتأكد ان الخطوط التي رسمناها على السطح ليست خطوطاً مستقيمة بالمعنى الاقليدسي بل هي منحنية

نمتحن المسألة امتحاناً آخر ايضاً . نحن نعلم ان زوايا المربع كلها قائمة اي كل زاوية ٩٠ درجة . فاذا رسمنا خطين بزاوية قائمة ثم رسمنا على طرف كل خط منها خطاً آخر بزاوية قائمة فيلتقي هذان الخطان الآخران حتماً على زاوية قائمة . نرسم اذاً على أرضنا اربعة خطوط (طول كل منها الف كيلو متر مثلاً) على هذا الترتيب . فنجد الخطين الآخرين لا يلتقيان بل يبقيان مبتعدين . فنتأكد ان هذه الخطوط ليست مستقيمة بل لا بدّ ان تكون محدبة والاّ لالتقت حتماً في زوايا قائمة . اذاً نتأكد ان سطح هذا القرص ليس سهلاً مستوياً منبسطاً كما يتراءى لنا ، بل هو محدب كأنهُ جزء من كرة

لما كنا نعتقد ان سطح قرصنا هذا (نعني السطح نفسه لا سماكته) مستوٍ غير محدب كنا نعتبره بحكم الطبع الرياضي ذا بعدين طول وعرض فقط ولا عمق لهُ . ولكن لما اكتشفنا انهُ محدب لم يبق بدّ من حساب العمق لهُ نظرياً على الرغم من ان لا سماكة لهُ ، لان الخط المرسوم عليه بين نقطتين (بين جانبيه مثلاً) محدب . وهو أطول من الخط المرسوم بين تينك النقطتين مستقيماً . وبين الخطين فسحة هي العمق

***

ترى مما تقدّم ان سكان هذا القرص لم يشعروا بتحدّب السطح الذي يعيشون عليه ، لانهُ لاتساعه العظيم لا يظهر لبصرهم القصير محدباً . وانما هم اكتشفوه بحساب رياضي . كانوا أولاً يعتقدون ان للسطح الذي يعيشون فيه بعدين فقط الطول والعرض . فاذا حسابهم الرياضي يكتشف لهم بعداً ثالثاً لم يكن في حسبانهم ولا لاح في تصورهم (فما قولك فيما لو كشف الحساب الرياضي لهم بعداً رابعاً ، وان كان صعباً تصوره ، بيد ان الحساب الرياضي يثبتهُ حتماً ؟)

مع ذلك يقوم شخص متمنت كزيد ويقول : سلمنا ان المقايسة التي عملناها كشفت لنا ان قطر سطح قرصنا أطول من قطر محيطه الحقيقي ولذلك لا بدّ ان يكون محدباً وبالتالي فسطح قرصنا كلهُ محدّب . ولكن لو فرضنا ان سطح قرصنا مقعّر لا محدّب ، فلا بدّ ان نصل بالمقايسة الى هذه النتيجة نفسها . فلماذا لا نقول انهُ مقعر لا محدب

فيجيب عمرو (ونفرض انهُ فاهم نظرية النسبية جيداً) : بالطبع اذا كان سطحه الفوقاني محدباً فلا بدّ ان يكون سطحه التحتاني مقعّراً . ونحن نقطن بين السطحين وسيان عندنا ان كان السطح الذي نقطنهُ مقعراً او محدباً

د — هل السطح أهم الفلك يدور

وانما هنالك مسألة أخرى أهم من تلك ، وهي أننا نرى هذا السطح الذي نعيش فيه ثابتاً ، والافلاك التي فوقنا تدور ، فهل هي التي تدور ونحن ثابتون ، ام بالعكس ؟ وهل لهذه الحركة صلة بموضوعنا ، وفيها حل للغز ؟

فيجيبهُ زيد قائلاً عندي براهين علمية على ان قرصنا هو الذي يدور ومنها قوّة الابتعاد عن المركز Centrifugal Force فان الجسم الذي يدور على محوره يحاول هو وكل ما عليه أن يبتعد عن المحور . وعندنا أدلة أخرى على وجود هذه القوة على سطح قرصنا . ومنها ان الاجسام المتحركة على جسم يدور على نفسه تميل في حركتها الى عكس اتجاه دورة الجسم Coriolis Force وعندنا أدلة على هذه ايضاً . ولذلك نحكم ان قرصنا هو الذي يدور

فيقول عمرو : تعني ان قوة الابتعاد عن المركز هي قوة استمرارية تظهر لنا بفعل دوران القرص . ويمكن ، على فرض ان قرصنا ثابت ، ان تكون قوّة انجذابية تظهر لنا من فعل الجر الجاذبي الذي تحدثه الاجرام الأخرى في فضائنا . فمسألة ان قرصنا ثابت او متحرك هي مسألة نسبية . والمهم ان نعلم ان كنا في جو جاذبي يؤثر في قرصنا او لا . هذه هي العقدة

يقحم بينهما بكر قائلاً : ان منشأ هذه المناظرة هو اكتشافنا ان القطر الذي قسناه على سطح قرصنا غير مناسب لدائرة تحيطه ، فحكمنا انهُ محدّب . أفلا يكون أن المتر متى وضع طوله في اتجاه سرعة الجسم الذي هو عليه يتحدب فيقصر بقدر تحدبه . ألا يمكن ان يكون تقلص المتر تحدباً

فقال عمرو : لا بأس ان تفسر تقلص المتر تحدباً لأن طبيعة الجو الجاذبي التحدب . فهو متحدب وكل ما فيه يتحدب . ولهذا رأيت اشعة النور الواردة من أقصى الفضاء والمارة من جنب الشمس تتحدب لانها مرت في جو جاذبي

فقال زيد : ولكن نحن في قرص نعتقد انهُ متحرك لا ساكن كما تراه ، وكل ما فيه من آثار الحركة ناتج عن قوة استمرارية داخلية لا قوة انجذابية . فلماذا نفسر التحدب أو التقلص في قرصنا بقوة انجذابية اجنبية في جو جاذبي ؟

فقال عمرو : لان المادة الاستمرارية والمادة الانجذابية متساويتان وقوتاهما متماثلتان . فسواء أكان قرصنا دائراً أم ساكناً فهو في جو جاذبي كما هو في حالة الاستمرارية . ولما كان السكون لا معنى له الاّ نسبيًّا ، فقرصنا متحرك بالنسبة الى الفلك الاعظم ، أو ان الفلك الاعظم متحرك حركة عكسية لقرصنا بالنسبة اليه

والآن اذا تصورنا هذا القرص يملأ الفضاء الذي يشغله النظام الشمسي ، أو ان هذا النظام حل

فيه بحيث تكون الشمس محوره، تسنى لنا أن نفهم كيف يكون الحيز الذي يشغله النظام الشمسي محدباً ، وان كان يتعذر تصوره . على اننا نتعاون على تصوره ما امكن :

تصور النظام الشمسي ، أي الدوائر التي تدور فيها السيارات حول الشمس، هي القرص الذي ضربناه مثلاً (لان جميع مدارات (افلاك) السيارات في سطح واحد تقريباً) والشمس في محور هذا القرص . ثم تصور هذا القرص مصنوعاً من مادة مرنة مطاطة كالقماش او الكوتشوك، والشمس سائرة في الفضاء المادي (بسرعة ١٢ ميلاً في الثانية بالنسبة الى النسر الواقع) او بسرعة ٢٠٠ كيلو في قرص المجرة ، وهي مجر معها هذا القرص المطاط بما يدور فيه من سيارات حولها . وتصور انها قاحمة في وسط هذا القرص الى الامام قليلاً وهو ينمط حولها فحينئذ يسهل عليك، تصور تحدب الجو الجاذبي الذي تنشئهُ الشمس حولها (وقد علمناه فيما سبق) . ثم تصور مناطق نسيج هذا القرص المحدب أقربها الى الشمس أكثفها وأبعدها اقل كثافة يتجلى لك كيف تتفاوت مناطق الجو الجاذبي بالقوة الجاذبية نحو المركز . فكلما دنت الى المركز كانت اشد (وليس ذلك فقط بل نرى ايضاً ان الجو الجاذبي امامها أكثف قليلاً منهُ وراءها)

فاذا تصورت شعاعة من النور تمر في ذلك الجو الجاذبي تفهم كيف انها تنحني مع تحدب ذلك الجو تبعاً لقوة المسارعة الناجمة من تفاوت مناطق القوة . باوضح من هذا التصوير يتعذر جلاء نظرية تحدب الفضاء المادي الذي يشغله جو جاذبي . ولكن هذه النظرية لم تثبت بمجرد التفنن بتصويرها للعقل بل بالعمليات الرياضية المحتومة نتائجها. فتحدب الحيز ثابت رياضيًّا وان كان يستحيل تصوره عمليًّا كما يعترف جميع المؤلفين الذين بحثوا هذا الموضوع

٥ — تحدب الابعاد الاربعة

هذه النظرية مرتبطة جدا بنظرية الابعاد الاربعة . وقد تصورنا في التمثيل السابق سكان سطح القرص لا يعلمون ان هناك ٣ ابعاد لان السطح الذي يعيشون فيه بعدين فقط ، وانما علماؤهم كانوا يتصورون الابعاد الثلاثة الهندسية . ولو اقتصروا على التصور لما اكتشفوا ان لسطح قرصهم بعداً ثالثاً . وانما بالعمليات الرياضية لا بالتصور والتخيل اثبتوا ان له البعد الثالث (العمق) لانهُ تحدب او مقعر

وهكذا اذا كنا لا نستطيع ان نتصور اكثر من ٣ ابعاد (طول وعرض وعمق) فالعمليات الرياضية يمكنها ان تثبت لنا وجود بعد رابع في الجو الجاذبي وان كان يتعذر علينا تصوره . ان قوة المسارعة التي ينشئها جو الشمس الجاذبي تنشىء البعد الرابع ونحن نقيسهُ « بالوقت »

تصورنا آنفاً جو الشمس الجاذبي قرصاً محدباً حول الشمس وهي في مركزه . وهو تصور

غير كامل لان هذا الجو ليس قرصاً بل هو كرة تحيط بالشمس من جميع الجهات . وانما المشغول من هذا الجو هو سطح واحد (قرص) تشغله السيارات حولها . ولذلك تكون القوة الجاذبة فيه أشد او أحد من سائر كرة الجو . فاذا تصورت هذا الجو الكروي كله الذي تخترقهُ الشمس في الفضاء وأضفت الزمكان اي (مدة — مسافة) إلى ابعاده الثلاثة التي تخوض فيها السيارات امكنك ان تتصور الابعاد الاربعة بخط منحن.

دع التصور وهلمّ بنا الى المنطق . لما كان سكان القرص المسطح يعتمدون على هندسة السطوح الاقليدية (نسبة الى اقليدس) اصطدموا بمقايسة يتعذر تطبيقها على هندسة اقليدس . فاكتشفوا ان السطح الذي يقيسونهُ بحسب قواعد هندسة السطوح ليس مستوياً (مسطحاً) بل هو محدب . فلم تعد تصلح لهُ هندسة السطوح

وهكذا اذا نحن اصطدمنا بمقايسة يتعذر تطبيق هندسة المجسمات (الابعاد الثلاثة) عليها اضطررنا أن نلجأ الى هندسة الابعاد الاربعة (نظام الابعاد المتعامدة الاربعة) بحكم الضرورة ، فينجلي لنا رياضيًّا ان للحادث اربعة ابعاد لا ثلاثة

فحين نتكلم عن الابعاد الاربعة وعن تحدب الفضاء نعني الحيز الذي لا تطبق عليه هندسة الخطوط المستقيمة والسطوح المستوية . منذ نحو قرن لاحظ جوس وريمان (Gauss & Reimann) الرياضيان ان هندسة اقليدس لا يمكن ان تقبل كعقيدة الهية ، لانها لا يمكن أن تطبق على حركات الاجرام في الفضاء الشاسع . ولان الخلل المنتظر من تطبيقها على المسافات القصيرة لا يمكن ان تكتشفهُ العدد والاقيسة مهما كانت دقيقة . وبعبارة اخرى ان تحدب الحيز زهيد بالنسبة الى عالمنا الصغير ، فلا يظهر بالمقايسات العملية ، بل يستحيل ظهوره بها ، وانما يعلم بواسطة الحسابات الرياضية .

وزبدة القول ان الجو الجاذبي يحدث تحدب الفضاء الذي يشغله . وليس هذا التحدب محصوراً في بقعة نظامنا الشمسي الذي لا يشغل اكثر من نقطة صغيرة بين عوالم الكون ، بل هو عام لكل منطقة ذات جو جاذبي . فلكل جو جاذبي تحدب خاص بهِ ، وانما هو تحدب زهيد جدًّا لا يمكن ان يكتشف بواسطة المقايسات العملية

على ان مزاعم الرياضيين بشأن هذا التحدب تحققت بحسب نظرية اينشتين . فالامر الذي ادركوه هو ان الكون نفسه ذو تحدب أو انحناء زهيد كتحدب السطح الذي نعيش فيه ولا نشعر به

فبحسب نظرية النسبية العامة تصاغ القضية هكذا : على بعد شاسع عن المواد الانجذابية يكون الحيز حيزاً اقليديًّا أي لا تحدب فيه . ولكن على مقربة من المواد الانجذابية يكون متحدباً ، والتحدب يتوقف على القوة الجاذبية التي تحدثها هذه المواد (الاجرام) . وبعبارة أخرى

أكثر جلاء تكون المناطق الخالية بين الاجرام الثابتة (التي تتراءى ثابتة) مستوية بحسب هندسة اقليدس . ولكن على مقربة من أي نجم يكون الفضاء ذا تقعر زهيد والنجم في قعره . ولانهُ تقعّر زهيد فلا يظهر للراصد

وفي رأي منكوسكي أن الحيز بحسب نظرية النسبية الخاصة ليس الاّ ظلاً . فكما ان ظل الجسم يختلف حجماً بحسب السطح الذي يقع (الظل) عليه هكذا الحيز الذي يشغله الجسم يختلف حجماً بحسب حالة حركة نظام الابعاد المتعامدة الذي يضاهى به . ومعنى ذلك هندسيًّا انهُ كما أن السطح ذو بعدين فقط (طول وعرض) من حيز ثلاثي الابعاد هكذا الحيز نفسه ليس كلاًّ مستقلاً ، بل هو جزء ثلاثي الابعاد من كلّ رباعي الابعاد . ولكي يستطيع القارىء ان يدرك معنى هذا القول ينبغي أن يراجع ما قلناه في فصل نظام الابعاد (الفصل التاسع)

فالتحدب خاص بنظام الابعاد الاربعة — بوحدة « الزمكان » . والحيز المتحرك الثلاثي الابعاد لا يمكن أن يتجرد من البعد الرابع ، اي الوقت ، ما دام متحركاً . فالحادث الذي هو نتيجة تحرك حيزه لا يمكن أن يتعين موقعه الاّ بحساب الابعاد الاربعة بحيث يكون مساوياً لجذر مربعات الابعاد الاربعة . وهكذا يكون لمكعب فيثاغورس ضلع رابع

بغير ما تقدم من الشرح يتعذر جداً تفسير الابعاد الاربعة وتحدب الكون الاّ بالعمليات الرياضية . فعلى القارىء ان يجيد التصور أو ان يقبل الحقيقة كما اثبتتها الرياضيات اذا لم يتسنّ له أن يدرس الرياضيات العليا