القسم الثاني
النسبية الخاصة

الفصل الرابع
تمهيدات للنسبية الخاصة

١ — خط الحركة في الجو الجاذبي

بسبب الجو الجاذبي الذي يحيط بكل جرم من الاجرام يكون الحيز المشغول باجرام مفعماً بالأجواء الجاذبية أحدها وأقواها حول الجرم وأضعفها أبعدها عنهُ . فحيث تكتنط الاجرام تمتزج الاجواء . ولما كان الجو الجاذبي يضطر كل جسم متحرك ان يتسارع حول مركز الجو كان خط حركة كل جسم متحرك منحنياً في الجو الجاذبي بحكم الطبع . ولأنهُ لا وجود للحركة الا في جو جاذبي اذ لا جسم متحرك الا فيه كان خط كل حركة منحنياً على الاطلاق كثيراً او قليلاً كما سيتضح في فصل الجاذبية

النظام الشمسي جو جاذبي كسائر أجواء الاجرام والسدم ، وخطوط الحركة فيه منحنية كما هي في غيره . ولكن لان خطوط الحركة التي نعاملها نحن الارضيون قصيرة المدى بالنسبة الى الجو الجاذبي العام فلا يعتد بانحنائها الزهيد الذي لا يشعر به . ولذلك تعتبر خطوطاً مستقيمة وتعامل كخطوط مستقيمة . وبناء على هذا الاعتبار يحسب حساب الحركة في النظام الشمسي بحسب هندسة الخطوط المستقيمة الاقليدوسية (نسبة الى اقليدوس أبي الهندسة)

النسبية في خطوط الحركة المستقيمة تسمى « النسبية الخاصة » . فاذا أطلقت على جميع خطوط الحركة مستقيمة ومنحنية سميت « النسبية العامة »

البحث في هذا القسم الثاني يقتصر على «النسبية الخاصة» ويعتبر كتوطئة للنسبية العامة . حتى اذا حذقهُ القارىء جيداً سهل عليه فهم النسبية العامة التي تعد الدرجة العليا العظيمة الشأن في النسبية

ب — نظام الابعاد المتعامدة

لتحديد خط الحركة لا بد من تعريف القارىء بمقام الجسم المتحرك وحدوده في الفضاء واتجاه خط سيره من طبيعة الفضاء او الحيز الذي تتحرك فيه المادة ان لهُ ثلاثة أبعاد متعامدة طول وعرض وعمق أو علو . فكل جسم مادي يعين موضعه في الفضاء او في الحيز الذي يشغله في الفضاء في نقطة تقاطع هذه الابعاد الثلاثة . قد تسأل : ابعاده الثلاثة عما ذا ؟ أجيب ابعاده عن أي أجسام أخرى في الفضاء او في الحيز بحيث ان خطوط تلك الابعاد تمر في تلك الاجسام

لا يهمك أين تلك الاجسام منهُ الآن حين تنسب حركتهُ الى غيره من الاجسام . يكفي هنا ان تقرر في ذهنك ان الابعاد الثلاثة المتعامدة هي طبيعة الفضاء او الحيز ، وان كل نقطة في الفضاء هي نقطة تقاطع على جهات متعامدة . وكل جسم يعد في نقطة تقاطع ثلاثة أبعاد متعامدة وهو في ابعاده الثلاثة المتعامدة عالم قائم بذاته . فاذا كان متحركاً كانت ابعاده الثلاثة متحركة معهُ . وبالتالي تنقيف نسبة هذه الابعاد الى الاجسام الاخرى التي تنسب اليها . لذلك يسمى حيزه « نظام أبعاد متعامدة » . فاذا قلنا نظام أبعاد الجسم الفلاني عنينا حيز ذلك الجسم المحدود بتلك الابعاد

هذه حقيقة طبيعية يجب ان يحفظها القارىء في ذهنه . وستتجلى لهُ جيداً في فصل الابعاد الاربعة كل الجلاء . فاذا رام ان يتفهمها جيداً قبل الاسترسال في الدرس فليقرأ ذلك الفصل قبل أن يقرأ ما يلي من الفصول

ج — خط الحركة في الابعاد المتعامدة

أما خط الحركة فهو احد الابعاد الثلاثة التي نحن بصددها . فالجسم يسير في هذا الخط . وأما خطا البعدين الآخرين المعامدين له والمعامد احدهما للآخر فيسيران معه معامدين له . وكلما انتقل الجسم من نقطة الى أخرى تغيرت حدود الابعاد

ولما كان تقلص الجسم المتحرك يقتصر على طوله او قياسه المجاري لاتجاه خط حركته فلا يهمنا من إبعاده المتعامدة الا احدها الذي هو خط حركته . وأما البعدان الآخران فلا شأن لنا بهما لان سرعة الجسم لا تؤثر في قياسيه المطابقين لهما . فاذا قلنا ان قطار السكة الحديدية يسير ٦٠ كيلو متراً في الساعة عنينا ان الخط الحديدي الذي يسير عليه هو خط حركته . وتقلص القطار يعتبر في طوله الموازي للخط الحديدي . وأما عرضه وعلوه فيوازيان البعدين الآخرين المعتدين وهما في الفضاء الى أي الحدين اللذين تشاؤهما او تتصورهما . فلا يهمنا أمرهما البتة اذ لا يطرأ التقلص عليهما . فاذا ذكرنا الابعاد الثلاثة في الفصول التالية فلا نعني بذكرها الا انهُ لا يمكننا أن نتصور جسماً ذا بعد واحد فقط لئلا يتوهم أننا نعتبره نقطة وهمية في الفضاء . فخط الحركة وحده هو المقصود من الابعاد الثلاثة المتعامدة

الفصل الخامس

ما النسبية الخاصة

ا — تمهيد

قبل الدخول في هذا البحث ننبه القارىء الى ان الامثلة التي نوردها في الفصول التالية هي قصيرة المسافات . فهي نظرية بحتة لا يمكن ان يكون لسرعة النور العظيمة حساب عملي فيها . بل هو حساب وهمي . وانما آثرناها على المسافات السحيقة لسهولة التصور فيها . فاذا قلنا أن المراقب في أول القطار يرى النور اللامع في أول مركبة من قبل أن يراه المراقب الذي في آخر مركبة عنينا ان شعاعة النور تصل الى الاول قبل أن تصل الى الثاني ، لا أن الاول يراها قبل الثاني فعلاً لان الوقت الذي تستغرقهُ الشعاعة بين أول القطار وآخره لا يساوي جزءاً من مليون مليون من الثانية وهو فرق لا يميزه بصر الانسان . وانما القارىء يسلم بالحقيقة الطبيعية وهي أن الشعاعة تصل إلى عين المراقب الاول قبل أن تصل الى عين المراقب الثاني لان النور مهما كان سريعاً يستغرق وقتاً مهما كان الوقت أصغر من لحظة. فنمثل بالمسافات القصيرة تسهيلاً لتصوير الامر للقارىء . ومتى أحسن التصور في المسافات القصيرة استطاع أن يطبقهُ على المسافات السحيقة

ب — ظروف الحركة

قلنا فيما سبق ان النسبية مختصة بالحوادث الكونية اي بحركات الاجسام لا بالاجسام او الاجرام نفسها . لماذا ؟ لان النسبة بين الاجسام الثابتة هي المسافات المكانية التي بينها . فهي نسبة بسيطة لا تحتاج الى تصور عميق ولا الى تفكير دقيق، تكفيها المقايسة بالمقاييس . ولكن ليس في الوجود جسم ثابت كما علمت بل جميع الاجسام متحركة بسرعات متفاوتة واتجاهات مختلفة. والحركة تستغرق مدة كما لا يخفى عليك . والمدة تقاس بمقياس زماني غير مقياس المسافة المكاني. ولذلك تندمج المدة بالمسافة ويشتبك قياس المدة بقياس المسافة . وهذا الاشتباك هو الذي جعل النسبة بين الاجسام المتحركة معقدة .

ولما كان النور هو الوسيلة الوحيدة لنقل صور الحركات الى ابصارنا فاذهاننا ، وانتقالهُ يستغرق وقتاً أيضاً ، لم يبق بد من أدخال سرعة هذه في مقايسة الحركات . ودخولها زاد المقايسة تعقداً أيضاً

ولما كانت الاجسام تتقلص في اتجاه حركتها بنسبة بين سرعته وسرعة النور فتصبح بمقدار

هذه العبارة الرياضية $\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ن^2}}$ كما علمت لم يبق بد أيضاً من ادخال هذه العبارة في قياس الحركات

ولو كانت سرعة النور تختلف باختلاف الظروف لكانت المقايسة بين الحركات لغزاً لا يحل . ولكن شكراً لسرعة النور التي لا تتغير مهما تغيرت الظروف . فقد جعلت المقايسة ممكنة ولو بقواعد معقدة . وانما ناموس النسبية حل عقدها

ولما كان الكون خلواً من مكان مطلق (اي ثابت معين) تنسب اليه الاجسام، وخلواً من حركة مطلقة أي مقررة تنسب اليه سائر الحركات وتقاس بها كما علمت فيما سبق ، لم يبق بد من ناموس النسبية لانهُ هو مفتاح المقايسة

فترى مما تقدم ان خمسة أحوال تشتبك في مقايسة الحركات — ١ — المسافة المكانية — ٢ — المدة الزمانية — ٣ — سرعة النور — ٤ — تقلص الاجسام بالنسبة بين سرعتها وسرعة النور — ٥ — سرعة الاجسام . وعلى هذه الامور الخمسة المشتبكة مدار النسبية

ج — ما الثابت والمتحرك

وقبل التمادي في شرح النسبية لا بدَّ من تفسير كلمتي ثابت ومتحرك — اذا قلنا هذا الجسم ثابت او هذا متحرك كان الكلام لغواً لا معنى لهُ . وانما يصبح ذا معنى اذا اضفنا اليه كلمة « بالنسبة الى » فنقول هذا المكتب الذي نجلس اليه ثابت بالنسبة الى الغرفة او الارض التي بنيت عليها هذه الغرفة . وانما هو بالنسبة الى الشمس متحرك، لان الكرة الارضية سائرة حول الشمس بسرعة ٣٠ كيلو متراً في الثانية . فالغرفة والمكتب سائران بهذه السرعة بالنسبة الى الشمس . ولا تخطىء نسبيًّا اذا قلت ان الشمس متحركة بالنسبة الى الارض والارض ساكنة بالنسبة اليها حتى انك لا تخطىء اذا قلت ان الشارع يسير والمركبة ساكنة

ونقول ان هذه البعوضة متحركة بالنسبة الى الغرفة . فلو كانت البعوضة او بالاحرى القنبلة تسير بسرعة ٣٠ كيلو متراً بالثانية ضد اتجاه سير الارض لكانت ثابتة بالنسبة الى الشمس

وحاصل القول ان كلمة ثابت ومتحرك انما هي نسبية لا مطلقة . ولا بد من ذكر النسبة والمنسوب اليه معها

د — المراقب

ذكرنا آنفاً خمسة امور مشتبكة في مقايسة الحركات . بقي امر سادس لا بد من اعتباره ايضاً وهو اختلاف موقع المراقبين ولكل مراقب نظام ابعاد يختلف عن نظام مراقب آخر كما ستعلم في فصل الابعاد الاربعة ، والبعد بينهما يجعل نسبة الحادث اليهما مختلفة بسبب سرعة النور وسرعة

الجسم الذي هو مقام الحادث او الحادثين المتناسبين او الحوادث المتناسبة

اذاً على القارىء ان يغرس في ذهنه المقدمات الآتية :

١ — لان لا سكون مطلق في الكون بل هو مجموعة حوادث متساوقة فالنسبية لا تكترث للاجسام بل لحركاتها وكل حركة هي حادث . وتجدد كل لحظة من الزمان هي حادث . فالحوادث هي موضوع البحث في النسبية

٢ — لان الحوادث نسبية فلا معنى للكلام في حادث الا بالنسبة الى حادث آخر . لذلك لا بد من اعتبار حادثين على الاقل في الكلام عن اي واحد منهما . فالحادث الواحد يسمى منسوباً والحادث الآخر منسوباً اليه

٣ — لا بد في الكلام عن نسبة الحادث الى الآخر من مراقب للحادثين ونسبة نظام مراقبته (نظام الابعاد الاربعة) الى كل منهما

٤ — ان نسبة المراقب الواحد لحادثين متناسبين تختلف عن نسبة المراقب الآخر . وسرعة النور وتقلص الجسم المتحرك تضبط النسبة بين المراقبين

اذا رسخت هذه المقدمات وسائر الاعتبارات السابقة في ذهنك سهل عليك تفهم المباحث التالية المتدرجة في سلم ناموس النسبية

obeikandl.com

الفصل السادس

نسبة المراقب الى الحركة

١ — اختلاف نظر مراقبين لحادث واحد

اول خطوة في النسبية الخاصة هي ابسط نسبة بين مراقبين متقاربين لحادث واحد يتضح لك منها كيف ان نظر المراقب الواحد للحادث الواحد يختلف عن نظر المراقب الآخر له في المكان والزمان . نذكر لك بهذا الصدد مثلاً ذكرهُ اينشتين نفسه : تصور قطاراً حديدياً واقفاً (غير سائر) . فاذا مددت يدك من شباك القطار وأفلتَّ منها حصاة ترى الحصاة تسقط الى الارض سقوطاً شاقولياً (عمودياً) . واذا كان شخص آخر واقفاً في مقابل القطار يرى مثلما رأيت أي يرى ان الحصاة سقطت سقوطاً شاقولياً ايضاً، لان كليكما ثابت (بالنسبة الى الارض) غير متحرك فظروفكما متماثلة . ولكن تصور ان القطار سائر فألقيت الحصاة الى الارض فأنت تراها تسقط سقوطاً شاقولياً . واما الشخص الآخر الذي على الارض فيراها تسقط الى الارض في خط منحنٍ (غضضنا النظر عن قوة مقاومة الهواء)

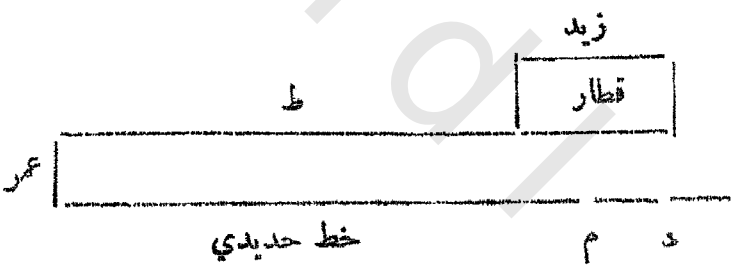
لعلك تستغرب هذا الاختلاف وتظل مستغربه الى ان تختبره . فلنمتحنهُ في شكل آخر . تصور شخصاً واقفاً على ظهر عربة السكة الحديدية السائرة وقذف كرة الى فوق قذفاً عمودياً . فترتفع عمودياً ثم تسقط امام قدميه عمودياً ايضاً . ولكن المشاهد على الارض يرى الكرة ارتفعت بخط منحنٍ ثم سقطت بخط منحنٍ أيضاً الى الامام فيكوّن الخطان قوساً بنسبة سرعة القطار . لماذا ؟

لانك وانت في القطار سائر معهُ ويدك كذلك سائرة معكما والكرة مكتسبة منك سرعة القطار . فلما قذفتها الى فوق انقذفت بخط سير القطار بحكم السرعة المكتسبة منهُ . فتراها صاعدة ونازلة عمودياً بالنسبة اليك لانك ثابت بالنسبة الى القطار . (ولكنك سائر مع القطار بالنسبة الى الارض) . واما الشخص المشاهد على الارض فيرى الكرة كل لحظة وهي تتبع في صعودها وهبوطها سير القطار، اي انها تبتعد في الجو عن خطها السمتي ، لا بالنسبة الى القطار بل بالنسبة الى الارض التي هو (اي المشاهد) ثابت عليها . ولذلك يرى صعودها وهبوطها منحنياً . ولو كان المشاهد في سيارة سائرة الى جنب القطار بسرعة كسرعته لرأى مثلما رأيت . فالفرق بينكما في الحالة الاولى انك سائر بالنسبة الى الارض (وان كنت ثابتاً بالنسبة الى القطار) . واما هو فثابت في الارض والكرة سائرة في صعودها وهبوطها مع القطار

وهنا قد يلوح لك أن تسأل هكذا : « اسلم ان الكرة تراءت للواقف على سطح عربة القطار السائر انها انقذفت بخط عمودي وهبطت بخط عمودي كما ارتفعت. ولكنها تراءت للشاهد على الارض الثابت في مكانه انها ارتفعت بخط منحن وهبطت بخط آخر منحن . فكوّنت الخطان قوساً منفرجة بنسبة سرعة القطار. اسلم بهذا. ولكن اي المشاهدتين هي الحقيقية ؟ هل حقيقي ان الكرة صعدت ثم هبطت في خط واحد عمودي ، ام انها صعدت ثم هبطت في خطين مائلين بشكل قوس ؟ اي الامرين هو الحقيقة ؟

أجاوبك بسؤال آخر : تسأل الحقيقة ! — الحقيقة بالنسبة الى من ؟ او بالنسبة الى ماذا ؟ الكرة صعدت في الفضاء ثم هبطت في الفضاء . وهناك اثنان يراقبانها : الواحد مقيم في مقام متحرك انقذفت منهُ الكرة . فهو والمقام والكرة عالم قائم بذاته ونسبتهم بعضهم الى بعض تبقى واحدة سواء كان عالمهم متحركاً او ساكناً . ولذلك تصعد الكرة وتهبط امامهُ في خط سمتي . والمراقب الآخر مقيم في مقام آخر ساكن بالنسبة الى ذاك المقام الذي يمر من امامه . لذلك يكون صعود الكرة وهبوطها في خط منحنٍ حقيقة بالنسبة اليه . كل من المقامين نسبيٌّ الى الآخر ، اي ان كلاً منهما متحرك بالنسبة الى الآخر ، لان كلاً منهما يمرُّ امام الآخر . والحقيقة نسبية لمن يراقبها . فما رآه كل من المراقبين كان حقيقة لا رؤيا وهمية

ب — اختلاف المسافة باختلاف موقع المراقبين



لنفرض أن قطاراً يرحل بسرعة ٢٠ متراً في الثانية من المحطة حيث عمر يراقب ، وان سطوح عربات القطار متصلة بعضها ببعض بحيث يتسنى لزيد ان يمشي عليها من مؤخر القطار الى جهة مقدّمهِ بسرعة مترين في الثانية . فاذا شرع القطار يدرج على الخط وزيد يمشي فكم تكون سرعة زيد بالنسبة الى عمر ؟

تقول ان سرعة القطار بالنسبة الى عمر ٢٠ متراً بالثانية ، وسرعة زيد بالنسبة الى القطار متران . فتكون سرعته بالنسبة الى عمر ٢ + ٢٠ = ٢٢ متراً في الثانية الواحدة

هذا حساب لا غبار عليه . وعلى هذا الحساب جرى علماء الميكانيكيات الطبيعية الى اليوم .

ولكن « النسبية » لا توافق على هذا الحساب اذا حسبهُ عمر . لا توافق عليه لان عمراً وهو يراقب زيداً يبتعد عنهُ بسرعتين (سرعته وسرعة القطار) لم يحسب حساب سرعة النور الذي ينقل اليه خبر انتقال زيد . للنور سرعة مقرّرة لا تتغير خلافاً لسرعات سائر الاجسام . وهذه السرعة تستغرق وقتاً مقرّراً في مسافة مقررة . فلا بد من ادخالها في الحساب

لا بدّ ان يطرأ على القارىء هذا الاعتراض : « ان سرعة النور ٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية . فما هي شيء يذكر في حساب سرعة قطار وسرعة شخص ماشٍ على سطح قطار . فحساب كهذا يعد سخافة » . نعم ان هذا الحساب في مسألة القطار سخافة . وانما هو أمر جوهري في المسافات الكونية العظيمة وفي حركات دقائق المادة السريعة . وانما نحن نمثل بالقطار تسهيلا لبسط القضية وتقريبها للافهام

لنفرض ان عمراً رأى زيداً في احدى مراحله عند (م) مثلاً . فزيد لم يكن بالحقيقة عند (م) حين رآه عمر ، بل كان قد تقدّم الى (د) في المنيهة التي نقل فيها النور الى عمر خبر وصول زيد الى (م) . اي لما رأى عمرٌ زيداً عند (م) كان زيد قد صار عند (د) لان النور الذي يبلغ الخبر استغرق وقتاً في انتقاله من (م) الى عمر . مهما يكن هذا الوقت زهيداً (قل انهُ جزء من ٣٠٠ مليون جزء من الثانية في مسألة القطار) فهو وقت لا بدّ من اعتباره في المسافات البعيدة . ولذلك لا تكون المسافة التي قطعها زيد في الثانية (بحسب ساعته) ٢ + ٢٠ = ٢٢ بل أقل . و « النسبية » تعين هذا الفرق وتقدر قيمته بالضبط . تقرّر ان هذه المسافة تعتبر متقلصة أي انها في نظر عمر أقل مما هي في يقين زيد

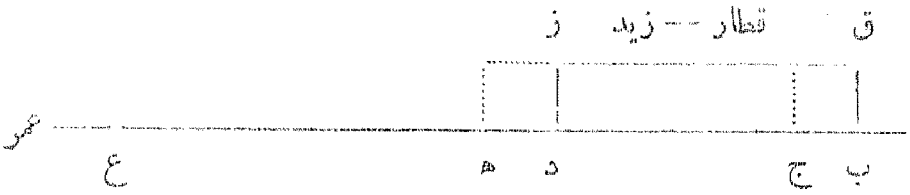
ولايضاح هذه القيمة جيداً نصوغها بعبارة رياضية . فنرمز عن سرعة زيد بحرف (ز) وعن سرعة القطار بحرف (ط) وسرعتهما معاً بحرف (س) (اي ان ز + ط = س) وعن سرعة النور بحرف «ن» فتكون «م» المسافة التي يبتعدها زيد عن عمر في الثانية ليست بحسب نظام الابعاد الغاليلي النيوتوني القديم . بل هي بحسب نظام الابعاد النسبي الذي يستلزم استخدام عبارة لورنتز

$$\text{هكذا : } م = \frac{ز + ط}{\sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}}}$$

هذا هو حساب المسافة والسرعة بحسب ناموس النسبية . ولكن بحسب قواعد الميكانيكيات القديمة فان المسافة التي يقطعها زيد في ثانية هي بكل بساطة ز + ط . وهو خطاء

فما تقدم ترى ان المسافة متقلصة في نظر عمر

ج — اختلاف مقاس الجسم المتحرك في نظر المراقبين المختلفي الموضع



الجسم المتحرك في نظر مراقبه الساكن أقصر مما هو في نظر مراقبه المتحرك معهُ

زيد مقيم في القطار وقد قاسهُ بالمتر من أولهِ (ق) الى آخره (ز) فاذا هو ١٠٠ متر تماماً. وقد قاس عمر بنفس المتر على الخط الحديدي ١٠٠ متر بالضبط من (ج) الى (هـ). بحيث انهُ لما أوقف القطار على الخط هناك كان أولهُ (ق) على نقطة (ج) وآخره (ز) على نقطة (هـ) تماماً بلا زيادة ولا نقصان. ثم جعل عمر عند (هـ) جهازاً وعند (ج) جهازاً آخر مثله بحيث انهُ متى لمست سنٌّ في أول القطار الجهاز (ج) وسنٌّ في آخر القطار الجهاز (هـ) أضاء مصباحان هنا وهناك. ولأن كلاً من القطار (ق ز) والخط (ج هـ) متساويان بالطول = ١٠٠ متر فلا بدّ انهُ متى ضربت السنّان على الجهازين حالما يصبح (ز) عند (هـ) ويصبح (ق) عند (ج) يضيء المصباحان معاً في وقت واحد.

سار القطار من المحطة (ع) (بسرعة س مثلاً) فلما مرّ بالجهازين رأى عمر مصباح الجهاز (ج) قد أضاء متأخراً عن مصباح الجهاز (هـ) الأمر الذي يثبت لهُ ان القطار ليس ١٠٠ متر كما قاسهُ زيد بل هو أقصر من مائة متر يعني ان أولهُ لم يدرك نقطة (ج) حالما أدرك آخر نقطة (هـ). (وسترى في فصل آخر ان زيداً أيضاً لم يرَ اللمعتين في وقت واحد مع انهُ واقف في منتصف القطار)

بحسب القانون القاليلي يجب أن يرى كل من عمر وزيد لمعتي المصباحين في وقت واحد لان السنين ضربتا الجهازين في وقت واحد. ولكن الواقع خالف ذلك القانون وطابق ناموس النسبية. لان القانون القاليلي لا يحسب حساباً للوقت بل يعد الوقت مستقلاً عن حركة الاجسام فلا تأثير لها فيهِ. وأما ناموس النسبية فيحسب حساب الزمان والمكان معاً أي المدة والمسافة، ويعتبر الزمان متوقفاً على حركة الاجسام. ولهذا يطابق الواقع في مثلنا هذا الذي ضربناه

النور ككل حركة يستغرق وقتاً. فبالطبع تصل اللمعة البعيدة الى عمر متأخرة عن القريبة. وبالاحرى أيضاً تصل اليهِ اللمعة من أي المصباحين بعد أن تكون سن القطار قد تجاوزت الجهاز المعين لها

فلما رأى عمر لمعة مصباح (هـ) كان آخر القطار (ز) قد تجاوزه الى (د). وكذلك لما رأى

لمعة مصباح (ج) كان أول القطار (ق) قد تجاوزه الى (ب) . ولان (ج) ابعد من (هـ) عن عمر فلمعة (ج) تصل اليه متأخرة عن لمعة (هـ) بقدر الوقت اللازم لها لعبورها المسافة من (ج) الى (هـ). لهذا لا بد ان يرى مسافة (هـ د) اقصر من مسافة (ج ب) وبالتالي تكون المسافة (هـ ج) له اقصر من المسافة (د ب) التي هي مساوية لطول القطار (ق ز) . اي ان القطار الذي يراه عمر هو اقصر من القطار الذي قاسهُ زيد وهو فيه

إذا كان صعباً عليك تصور هذه الحقيقة فاستعن بالعملية الرياضية البسيطة التالية : —

لما وصلت لمعة (هـ) الى عمر كان (ز) قد وصل الى (د) ولما وصلت لمعة (ج) اليه كان (ق) قد وصل الى (ب) . فاذا عبرنا عن سرعة النور (التي لا تتغير) بالحرف (ن) وعن مدة انتقاله من (هـ) الى (ع) بالحرف (ت) وعن مدة انتقاله من (ج) الى (ع) بالحرف ق ت كان لنا :

ت ن : ق ت ن = المسافة د هـ : المسافة ب ج او $\frac{\text{ت}}{\text{ق ت}} = \frac{\text{د هـ}}{\text{ب ج}}$

وبما ان المدة (ق ت) اكثر من المدة (ت) فالمسافة (ب ج) اكثر من المسافة (د هـ) تكتب هكذا

ب ج > د هـ اضف المسافة ج د التي بينهما الى الطرفين هكذا

ب ج + ج د > ج د + د هـ او ب د > ج هـ

ولكن (ب د) هي نفس (ق ز) طول القطار كما يعهده زيد الذي قاسه . و (ج هـ) طول القطار كما يراه عمر . اذن هذا اقصر من ذاك

ولا بد ان يسأل القارىء : كم هذا اقصر من ذاك ؟ اي كم تقلّص القطار في نظر عمر ؟

فالجواب : تقلص بقدر عبارة لورنتز . أي ان قطار زيد = $\frac{\text{قطار عمر}}{\sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ن}^2}}}$

باعتبار أن (س) سرعة القطار و (ن) سرعة النور

إذا كنت قد اقتنعت بان النور يسير الى جميع الجهات بسرعة واحدة ، سواء كان النجم الذي يسير النور عليه متحركاً أو ساكناً ، بسبب ان الجسم يتقلص في اتجاه حركته فلا يبقى عندك شك بأن القطار يتقلص وهو سائر على الرغم من أنه يتعذر عليك تصور هذا التقلص

رأيت فيما تقدم ان المسافة نسبية في نظر المراقبين المختلفي الموضع متى كان أحدهما متحركاً بالنسبة إلى الآخر . وكذلك رأيت ان طول الجسم المتحرك يختلف في نظر المراقبين المتحركين الواحد بالنسبة الى الآخر . فما قولك بالوقت ؟ هل يختلف كذلك في نظر احد المراقبين عنهُ في نظر الآخر ؟

ترى الجواب في النبذة التالية

٢ — نسبية الوقت

هل تعتقد ان الدقيقة تكون في مكان اطول منها في مكان آخر ؟

من فكاهات نظرية «النسبية» التي ضبط قواعدها اينشتين العلاّمة الالماني المشهور ان الوقت في مكان بعيد يختلف عنهُ في مكان قريب بالنسبة الى كل من المكانين . اعني ان الثانية او الدقيقة في المريخ مثلاً أطول منها عندنا متى كان المريخ يبتعد عنا ، او اقصر اذا كان يقترب الينا . وهكذا يرى المريخي «ساكن المريخ» ان ثانيتنا او دقيقتنا اطول او اقصر بحسب الابتعاد او الاقتراب

اظن ان القارىء يستهجن هذا القول ، وربما حسبهُ سخافة وعدَّ قائلهُ مخرفاً ، لانهُ يعتقد ان الدقيقة دقيقة ، والثانية ثانية اينما كانت . لانهُ اذا فرضنا ان الساعة التي «تتك» تكتك كل ثانية بالضبط تكتكها هكذا سواء كانت على الارض او في المريخ . يبني اعتقاده هذا على ان الزمن شيء ثابت مقرر لا يتغير بتغير الامكنة . واذا قلنا له ان الزمن ليس كما يعتقد ، بل هو شيء نسبي وقيمتهُ تختلف باختلاف بعده عن الشخص المراقب الحاسب لما قبل عقله هذا القول . فكيف به اذا قلنا له ان الزمن لا وجود حقيقي لهُ ، بل هو تعبير عن خط الحركة فقط ، فلو وقفت حركة الاكوان لانتفى الزمن — كل هذا قد يتراءى خرافة للقارىء الذي لم يضطلع بمبادىء النسبية . وسيتضح لهُ الأمر في فصل « الزمكان » الآتي في موضعه

النور ضرب من الامواج الكهربائية المغنطيسية العديدة التي تنطلق جميعها بسرعة واحدة مهما اختلفت طولاً . فأقصرها اسرعها تموّجاً وأطولها أبطؤها — ولهذا تتعادل سرعتها . فسرعة امواج الراديو الذي ينقل الصوت والاشارات البرقية اللاسلكية (وسرعة كل موجة كهربائية مغنطيسية) في الفراغ واحدة ، وهي ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر في الثانية . اي ان النور (والراديو) يستغرق وقتاً في انتقاله . يقضي النور الصادر من الشمس ٨ دقائق الى ان يصل الينا . وينعكس الينا عن المريخ في اكثر من ٨ دقائق اذا كان المريخ في اقصى بعده عنا او اقل جداً اذا كان في اقرب دنوّه الينا . ويقضي نور النجم قنطورس Proxima Centaurus اقرب النجوم الينا نحو اربع سنوات وربع سنة تقريباً الى ان يصل الينا

اذن ، نحن لا نرى ومضة نور ولا نسمع رجة صوت الراديو الاّ بعد صدورها بمدة ، بحسب بعد مصدر الومضة او الرجة عنا . لذلك لا بد من حساب مسافة البعد في كل حركة قادمة الينا على اجنحة الامواج الكهربائية المغنطيسية . فاذا تفهم القارىء هذا التمهيد جيداً واقتنع به سهل عليه ان يفهم كيف ان الوقت يختلف باختلاف بعد المراقب للحركة عن مصدرها . ولجلاء القضية نضرب المثل التالي : —

نفرض ان شخصاً في المريخ عنده جهاز لاسلكي (راديو) ينبض كل ثانية بالضبط نبضة. وعندنا جهاز لاسلكي يسجل كل نبضة تصل الينا من المريخ — او لنفرض ان في جهازنا ساعة يتحرك عقربها بقوة هذه النبضة الواردة من المريخ. فلو كان المريخ والارض ثابتين لا يتحركان لكان عقرب الثواني في الساعة التي تدور بقوة راديو المريخ متفقاً تمام الاتفاق مع عقرب ساعتنا الاعتيادية اذا كانت هذه مضبوطة تمام الضبط. نعم ان التكة التي ترد الينا من المريخ لا تصل في الحال بل تستغرق بضع دقائق الى ان تتكها الساعة التي عندنا الدائرة بقوة راديو المريخ. ولكن التكات ترد تباعاً، فتبلغ الينا في مواعيدها بين كل تكة واخرى ثانية مضبوطة

ولكن ليس في الوجود جسم ساكن بل كل جسم، من الكهرب اصغر الاشياء الى النجم اكبرها، يتحرك بسرعة خاصة به. فالمريخ يسير في فلكه بسرعة ١٥ ميلاً في الثانية والارض تسير بسرعة ١٨ ميلاً ونصف ميل بالثانية (تساوي ٣٠ كيلو متراً) — ولتسهيل الحساب نفرض ان المسافة بين الارض والمريخ تنفرج ٣٠ كيلو متراً في الثانية [1] أي انهُ كل ثانية يزيد ابتعاد المريخ عنا او نحن عنهُ نحو ٣٠ كيلو متراً، وهذه المسافة تساوي جزءاً من عشرة آلاف جزء من المسافة التي تقطعها تكة الراديو من المريخ الينا. ففيما تنفرج المسافة بيننا وبين المريخ تتأخر تكة راديو المريخ الواردة الينا جزءاً من ١٠ آلاف جزء من الثانية، وعلى التهادي نرى ان تكة ساعة الراديو عندنا تتأخر عن تكّة ساعتنا الاعتيادية، حتى انهُ متى صارت المسافة بيننا وبين المريخ عشرة آلاف كيلو متر تكون ساعة الراديو عندنا قد سجلت ٩٩٩٩ ثانية في حين ان ساعتنا الاعتيادية تكون قد سجلت ١٠ آلاف ثانية، أي ان الفرق ثانية واحدة في كل عشرة آلاف. اذن تكون ثانية المريخ عندنا، اي بالنسبة الينا، اطول من ثانيتنا بقيمة ١ من عشرة آلاف. واذا شئنا ان نتحقق موقع المريخ حين نرصده فلا نكتفي بان نحسب مقدار الوقت الذي يستغرقهُ النور المنعكس عنهُ الينا، بل يجب ان نحسب ايضاً حساب هذا الفرق الذي نحن بصدده، والذي لم يفطن له الفلكيون قبل ظهور النسبية

ولو كان عند المريخي ساعة يتحرك عقربها بقوة راديو صادرة من عندنا لكان يرى مثل ما نرى نحن، اي ان ثانيتنا عنده اطول من ثانيته

واذا كان المريخ يقترب الينا او نحن نقترب اليه، أي ان المسافة بيننا وبينهُ تقل وتقصر، انعكست الآية وكانت ثانيتهُ التي تصل الينا اقصر من ثانيتنا

هذا هو معنى نسبية الوقت، اي ان الزمن نسبي، وليس هو قيمة مقرّرة، من غير اعتبار

(١) والحقيقة ان هذا الفرق نحو ٣½ ميل بالثانية تقريباً

المكان والمسافة بين الشخص المراقب ، وتشد المسافة بينهُ وبين الجسم المراقَبْ (بفتح الفاف). بل لا بدّ من اعتبار هذين الامرين : اولاً مكان المراقب ، وثانياً : المسافة بينهُ وبين الشيء المراقب . وحينئذٍ يظهر الاختلاف في قيمة الزمن او الوقت

بالطبع لا قيمة لهذا الفرق بين وقت ووقت على كرتنا الارضية التي تسير حولها ومضة نور او ومضة راديو نحو ٧ مرات ونيف في ثانية واحدة . ولكن لهذا الفرق قيمة كبيرة في حساب حركات الاجسام السموية وابعادها ، وهي تقاس بسرعة النور لا بالاميال ولا بالكيلو مترات. فاذا كان اقربها يبتعد عنا سنتي نور وثلث سنة فما قولك فيما يبتعد بالسنين ومئات السنين. وما قولك اذا كان النور يقضي ١٨٤ ٠٠٠ سنة حتى يقطع نطاق المجرّة من جنب الى جنب ؟

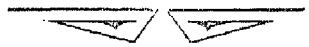
قبل ان تظهر نظرية النسبية لم يكن علماء الفلك الطبيعي يحسبون حساباً لهذا الفرق في الوقت الناجم عن تحرّك الاجرام . لو كانت الاجرام ثابتة لا تتحرك لما كان من فرق بين الوقت هنا وهناك وهنالك. واما والاجرام جميعها تتحرك بسرعات مختلفة بعضها يتجاوز الالف والالاف من الكيلو مترات في الثانية فلا بدّ من ادخال حساب الوقت النسبي في حساب ابعاد الاجرام وتباعدها او تقاربها . ومعادلة لورنتز :

$$\text{ا} : \sqrt{\text{ا} - \frac{\text{س}^2}{\text{ن}^2}}$$

كافلة بضبط هذا الحساب مهما اختلفت الابعاد ،

باعتبار ان س رمز لسرعة الجرم ون رمز لسرعة النور. وفي فصل الابعاد الاربعة يرى القارىء كيفية استخراج هذه النسبة

بعد ان يتفهم القارىء نسبية المسافة والوقت كما بسطناها في النبذات الثلاث الفائتة صار يسهل عليه ان يفهم نسبية التواقت التي نشرحها في الفصل التالي



الفصل السابع

التواقت

Simultaneity

الحادثان الواقعان في وقت واحد بالنسبة اليك يسبق احدهما الآخر بالنسبة الى غيرك

١ — معنى التواقت

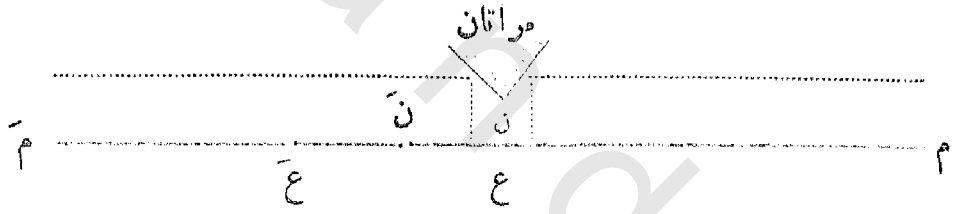
يراد بكلمة « التواقت » حدوث حادثين متباعدين في وقت واحد كقولك مات فلان في الهند وولد اخر في الصين في وقت واحد ، اي في نفس الثانية والدقيقة الخ . فيقال ان هذين الحادثين متواقتان . او كقولك ان القمر خسف في الدقيقة الفلانية لان خسوفهُ حادث ، ووقوف عقرب الساعة عند الدقيقة المذكورة حادث آخر . فهما متواقتان . فهل يمكن ان يعدّا متواقتين في نظر كل من الناس ام ان التواقت أمر نسبي يختلف باختلاف المراقبين المتباعدين احدهما عن الآخر وعن الحوادث نفسها ؟ لعلك تستهجن القول ان حادثين معينين متباعدين يكونان بالنسبة الى زيد من الناس متواقتين وبالنسبة الى عمرو احدهما حدث قبل الآخر . ولكن التأمل يجلو لك حقيقة ناصعة لم يكن ليفطن لها احد قبل اكتشاف ناموس النسبية . ولعلَّ قضية التواقت هذه أغرب قضايا النسبية وأعجبها وأفكهها

لقد فهم القارىء مما تقدم ان نظرية النسبية لا شأن لها بالمادة المجردة من الحركة بل شأنها خاص بحركة المادة . فأي حركة مادية (غير عقلية) مهما كان نوعها او قدرها او اتجاهها أو تأثيرها تعد حادثاً . والنسبية « ناموس الحوادث » في المكان والزمان معاً (لا في أحدهما دون الآخر) بالنسبة الى المراقبين المتباعدين مسافةً . فاذا كان مراقبان في مكان واحد شهدا معاً حادثين متواقتين . ولكن اذا كان احدهما بعيداً عن الآخر ومتحركاً بالنسبة الى الآخر اختلف وقت المشاهدة بينهما لان تباعدهما في المكان يستوجب تباعدهما في الزمان[1]

(١) من أبسط الشواهد على ان تباعد المكانين يستلزم تباعد الزمانين انه لما كنت في نيويورك قرأت في احدى الصحف الساعة الحادية عشرة قبل الظهر تلغرافاً فحواه ان ملكة اسبانيا ولدت صبياً في الساعة الثانية بعد الظهر من ذلك النهار . فكأني قرأت خبر الحادث قبل حدوث الحادث نفسه

وهنا وجه الغرابة . ولكن اذا فطن القارىء الى ان خبر الحادث لا يصل الى المراقب الاّ عن طريقي بصره او سمعه بواسطة أمواج النور (او الاشعاع المغنطيسي الكهربائي الذي يعدّ النور من أنواعه العديدة — كاللاسلكي) او أمواج الصوت الهوائية تمهد لهُ السبيل الى فهم كيف ان تباعد المكانين يستوجب اختلاف الزمانين

ان النور الذي ينقل خبر الحادث المنظور الى بصرك يسير بسرعة ٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية (في الفراغ) ، والصوت الذي ينقل خبر الحادث المسموع الى أذنيك يسير بسرعة ٣٣١ متراً في الثانية . فسرعة النور نحو مليون مرّة كسرعة الصوت تقريباً . ولذلك ترى المشاهد ومض البرق قبل ان يسمع رعده . كما انهُ يشاهد لهبة المدفع قبل ان يسمع دويه . ويسمع رجع الصدى بعد صدور الصوت بوقت طويل او قصير بحسب بعد المكان الذي يرجع الصدى ، فنحن اذاً نميز بسهولة استغراق الصوت للوقت . ويتعذر علينا ان نميز استغراق النور للوقت . ولهذا نبدأ بالتمثيل على قضية التواقت بمثل صوتي لكي نقرب النظرية لفهم القارىء ما أمكن . وثم ننتقل الى التمثيل بالنور بالنيابة عما يؤاخيه من أنواع الاشعاع التي تنتقل أخبار الحوادث بواسطتها كاللاسلكي والراديو



ب — التواقت الصوتي

لو كنت واقفاً أمام خط سكة حديدية مستقيم عند (ن) مثلاً وأمامك مرآتان ظهراهما متعامدان وهما ماثلتان الى الخط كما ترى في الرسم بحيث ترى فيهما في وقت واحد لمعتين صادرتين من جانبي الخط م — مَ . ثم شاهدت اللمعتين . وبعد هنيهة سمعت طلقتي مدفعين موجودين عند م . و . مَ في وقت واحد معاً . فاذا سألتك : هل انطلق المدفعان في وقت واحد معاً ، فماذا تجيب ؟

قد تقول : لا ريب عندي انهما انطلقا معاً لاني سمعت الطلقين في نفس اللحظة

قد يتراءى هذا القول مقنعاً أو مفحماً . ولكن لنفرض ان شخصاً آخر واقف عن يسارك عند (عَ) مثلاً وسألناه فقال سمعت صوت المدفع (مَ) قبل صوت المدفع م . ولذلك أعتقد ان ذاك انطلق قبل هذا فهل ترفض حكمه ؟

لعلك تتردد هنا برهة في الجواب ثم تقول . لا يخفى عليك ان انتقال الصوت يستغرق نحو ٣٣٠ متراً في الثانية . فاذا كان هو قد سمع (م) قبل (م) فلأنهُ أقرب الى ذاك منهُ الى هذا

حسن . اذاً للمسافة تأثير في الوقت بين السامع ومصدر الصوت لان المسافة تساوي حاصل السرعة مضروبة بالوقت . فلو فرضنا فرضاً آخر وهو انك قست المسافة بينك وبين كل من المدفعين ووجدت ان موقفك كان أقرب قليلاً الى (مَ) منهُ الى (م) . عند (نَ) مثلاً . ولكن موقع (عَ) أكثر قرباً منك الى (مَ) . وهو سمع (مَ) قبل (م) وأنت سمعت الطلقتين معاً في وقت واحد فهل تحكم ان المدفعين انطلقا معاً ؟

لعلك تجاوب على الفور قائلاً : لا . لا بدّ ان يكون (م) قد انطلق قبل « مَ » بمقدار مسافة الفرق بين مسافتي بعدي عن المدفعين . وهذا الفرق في المسافة يستغرق مدة الفرق بين وقتي الطلقتين عاماً . ولذلك بلغت الطلقتان اليّ في وقت واحد

— حسن جداً . وهنا يترتب عليك ان تحدّد لي ماذا تعنيه « بالتواقت » اي بحدوث الطلقتين في وقت واحد معاً بحيث أستطيع أن أطبقهُ على كل حادث . لانك في الفرض الأول حكمت ان المدفعين انطلقا في وقت واحد لانك سمعت طلقتيهما في وقت واحد . وفي الفرض الثاني حكمت ان « م » انطلق قبل « مَ » مع انك سمعت الطلقتين في وقت واحد . فظرف السمع هنا لم يتغير . فلماذا اختلف الحكمان ؟

تقول قول المتبصر في المناقشة : ولكن ظرف موقفي بالنسبة الى مسافتي المدفعين عني تغير في الفرض الثاني عنهُ في الفرض الاول . فلا بدّ اذن من اختلاف الحكمين

— حسن . وحسن . فاذا تعني اذاً بالتواقت ؟ أتعني ان سمعك للمدفعين في وقت واحد، بصرف النظر عن وقت انطلاقهما، يدعى تواقتاً ؟ أم ان انطلاقهما في وقت واحد، بصرف النظر عن سمعك لها يدعى تواقتاً . أنبهك . هل ميزت الفرق بين السؤالين ؟

— ميزتهُ جيداً . الاول صوتان بلغا اليّ معاً . والثاني صدورهما البعيد عني حدث في وقت واحد

— حسن . فأي الأمرين تعنيه تواقتاً ؟

— أعني تطابق الأمرين معاً ، اي يجب ان يكون المدفعان قد انطلقا في وقت واحد كما اني سمعتهما في وقت واحد ، فيكون هذا التطابق تواقتاً بكل معنى الكلمة . ولكن اذا سمعتهما في وقت واحد مع ان احدهما انطلق قبل الآخر كما فرضت في الفرض الثاني، فلا يسمى هذا « تواقتاً »

— كيف تعرف ان الانطلاق والسمع متطابقان في التواقت ؟ بل كيف تعرف ان المدفعين انطلقا في وقت واحد

وهنا وجمت وبعد قليل قلت : — اذا سمعت الطلقتين في وقت واحد أقيس المسافة بيني وبين

كل من المدفعين . فان وجدت المسافتين متساويتين اي اذا في وسط المسافة بين المدفعين أفهم انهُ لا بدّ ان تكون مدتا انتقال الصوتين متساويتين ايضاً وبالتالي لا بدّ ان يكون المدفعان قد اطلقا في وقت واحد . لذلك أحدد لك معنى « التواقت » هكذا : اذا كان السامع في وسط المسافة بين مصدري صوتين فسمع الصوتين في وقت واحد فلا بدّ ان يكون انطلاق المدفعين قد حدث في وقت واحد ايضاً . فان لم يكن السامع في وسط المسافة فلا اعتبار لسماعه سواء كان متواقتاً او متناوباً

حسن . فلتَ : هل هذا التعريف يصح ان يُطلق على كل حادث ؟ الى هنا فرضنا انك ثابت عند الخط ، وان المدفعين ثابتان ايضاً ، وان الهواء الذي تنتقل به امواج الصوت ثابت ايضاً . كلكم ثابتٌ بالنسبة الى الارض (ولكنكم لستم ثابتين بالنسبة الى الشمس وسائر الاجرام . وبالاجمال لستم ثابتين بالنسبة الى الفضاء المطلق)

فلنفضّ الطرف عن تحرُّك الهواء والارض والنظام الشمسي الخ ونقتصر على النظر الى الحركة على خط السكة الحديدية فقط . ولنفرض ان قطاراً يسير على الخط الحديدي بسرعة ٣٣ متراً في الثانية (عُشر سرعة الصوت) من جهة (مَ) الى جهة (م) وان (ن) موجود في القطار ولنفرض ان (ب) واقف امام الخط في منتصف المسافة بين (م) و (مَ) وان عنده جهازاً كهربائيًّا

يمتد منهُ سلكان الى المدفعين بحيث انهُ اذا ضغط على زر ينطلق المدفعان . فبالطبع يلتقي صوتا الطلقتين في اذنيه في وقت واحد . ولنفرض انهُ ضغط على الزر حينما مرّ (ن) امامه . فما قول القارىء : هل تكون الطلقتان متواقتين لكل من (ب) و (ن) لان كلاً منهما كان في منتصف المسافة حين ضغط (ب) على الزر ؟

اذا فكّر القارىء قليلاً يكتشف ان (ب) سمع الطلقتين في وقت واحد بلا شك . ولكن (ن) سمع (م) قبل ان سمع (مَ) . لماذا ؟ لانهُ لما وصل صوتا (م) و (مَ) الى موقف (ب) كان (ن) قد اجتاز مسافة (قل) ٣٣٠ متراً في مدة عشر ثوانٍ (١٠ × ٣٣) فبلغ الى (نَ) مستقبلاً صوت (م) قبل ان يدركه صوت (مَ) فيسمع ذاك قبل هذا في عشر ثوان

فترى مما تقدّم ان وجود المراقب في وسط المسافة بين مصدري الصوتين لا يضمن التواقت له اذا كان متحركاً بالنسبة الى (ب). ففي هذا المثل كان كلٌّ من (ب) و (ن) في منتصف المسافة بين المدفعين ومع ذلك تواقتت الطلقتان للرقيب (ب) ولم تتواقتا للرقيب (ن) . ولو تواقتت الطلقتان للرقيب (ن) لسبقت احداها الاخرى في مسمع (ب)

اذن لا بد من التسليم بنظرية النسبية وهي ان التواقت نسبيٌّ ايضاً . فاذا كان متواقتاً لزيد لا يكون متواقتاً لعمر اذا كان الاثنان متباعدين وكان احدهما متحركاً بالنسبة الى الآخر

ينتج من ذلك ايضاً ان لكل جسم منسوب اليه ، كالخط الحديدي والقطار او من كان مقياً عندهما ، وقتهُ الخاص مختلفاً عن وقت جسم آخر او رقيب آخر اذا كان احدهما متحركاً بالنسبة الى الآخر ، كما شرحناه في النبذة السابقة . واذا لم يذكر جسم « او رقيب » منسوبٌ الحادثُ اليه فلا معنى للقول ان الحادث حدث في وقت كذا . فاذا قلنا ان الطلقتين صدرتا في وقت واحد او ان احداهما صدرت قبل الاخرى وجب ان نقول بالنسبة لمن كان وقت الحدوث هذا ، لان فلان سمع في الثانية الفلانية وفلاناً آخر سمع في ثانية اخرى

قد تعترض قائلاً ان شرط التواقت كما علمنا آنفاً هو ان يكون الراقب للطلقتين في وسط المسافة بين مصدريهما تماماً . وهذا الشرط لم يتم للشخص الذي في القطار لانهُ لما بلغت الطلقتان اليه لم يكن باقياً في منتصف المسافة المذكورة بل صار اقرب الى « م » منه الى « م' » فلذلك لم يسمع الطلقتين معاً : اذن لا يكفي للتواقت ان يكون الشخص في منتصف المسافة بين صدور الطلقتين كما حددت معنى « التواقت » سابقاً ، بل يجب ان يبقى في منتصفها حين يصل الصوتان اليه ايضاً . واذا بقي « ن » عند « ب » كانا في ظرف واحد فكانهما شخص واحد وكان التواقت هذا منحصراً في موقف واحد لا يختلف فيه السماع مهما تعدد الرقباء . فلا نسبية هنا . وانما اذا كان « ن » متحركاً و « ب » ثابتاً صار التواقت نسبيًّا لكل منهما يختلف للواحد عنهُ للآخر

ج — التواقت النوري

الى هنا قصرنا التمثيل على الحوادث الصوتية اي التي تنتقل اخبارها بواسطة الصوت ، لاننا نستطيع ان نميز الفرق في المدة بين صوت وصوت اذا اختلفت مسافة مصدرها عنا . فاذا رمنا ان نمثل بالنور بدل الصوت ، اي اذا شئنا ان نراقب لمعتي المدفعين بدل صوتهما وجب اما ان تكون لنا قوة احساس نظري تميز الفرق بين اللمعتين في جزء من مليون من الثانية — والحس البصري لا يستطيع هذا التمييز — او ان تكون المسافة بين مصدرين للنور ملايين الكيلو مترات. وهذا ما يتعذر علينا قياسه كما نقيس المسافة بين المدفعين . وانما تقاس هذه المسافات العظيمة بوسائل اخرى يمارسها علماء الطبيعة والفلك ولا محل لشرحها هنا . ولان هذه الوسائل ينحصر اجراؤنا لها في ارضنا فقط اي على جرم واحد من اجرام الكون فهي تجعل نسبية التواقت امراً محتوماً لا مناص منه ، لاننا نحسب كل حركة من حركات الاجرام بالنسبة الينا فقط . وهي تختلف بالنسبة الى اي جرم آخر

ثم ان الفرق العظيم بين طبيعة النور وطبيعة الصوت تجعل « نسبية التواقت » اشد حتمية كما سترى . الصوت يتنقل امواجاً هوائية ،والهواء لا يكون على وتيرة واحدة . فتارة يكون ساكناً واخرى متحركاً ، وتارة كثيفاً وأخرى لطيفاً او بارداً او حاراً . وكل ذلك يجعل سرعة الصوت مختلفة باختلاف هذه الاعتبارات . اما النور (وكل اشعاع كهربائي مغنطيسي) فله سرعة واحدة في الفضاء لا تتغير . ثم ان الصوت يكتسب مع سرعته سرعة الارض التي يسير في هوائها . ولهذا تختلف سرعتهُ بالنسبة الى الفضاء . فاذا كانت سرعتهُ على الارض ٣٣١ متراً بالثانية فهي في الفضاء بالنسبة الى الشمس ٣٠ كيلو متراً مع ٣٣١ متراً في الثانية لان الارض تسير بهاتيك السرعة . وأما النور فلا يكتسب سرعة الجسم الذي يصدر منهُ او الذي يمر عليهِ . فأينما سار والى اي جهة اتجه تكون سرعتهُ واحدة بالنسبة الى الفضاء « كما ثبت من عملية ميكلسن التي سبق شرحها » . فسرعتهُ في الفضاء تعد « سرعة مطلقة » تنسب اليها سائر السرعات وتقاس بها . اقول ان سرعتهُ مطلقة بالنسبة الى الفضاء على اعتبار ان الفضاء ساكن . ولكن كيف نعلم ان كان الحيز الفضائي الذي تجول فيهِ الاجرام ساكناً او متحركاً ؟ لا نستطيع . فلا مناص من النسبية اذاً . ولذلك سيرى القارىء ان نسبية التواقت النوري ابعد غوراً واعظم شأناً واكثر تعقداً من نسبية التواقت الصوتي ،وهي التي تتمشى مع ناموس النسبية . على القارىء ان يفهم جيداً هذا الفرق بين الصوت والنور من حيث السرعة

للتمثيل على نسبية التواقت النوري في الابعاد السحيقة اضرب مثلاً ضربهُ الاستاذ تيرينغ النمساوي في كتابه « النسبية بلغة بسيطة »

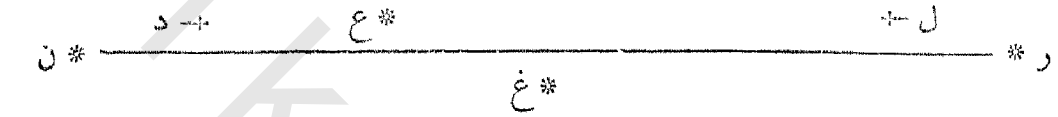
في ٢١ فبراير سنة ١٩٠١ ظهر للفلكيين نجم جديد في كوكبة برساوس Perseus فسماه الفلكيون نوڤا برساي Nova Persei اي جديد برساوس . هذا النجم الذي كان قبلاً مظلماً او خفيًّا لسبب مجهول ضاء بغتة لسبب مجهول ايضاً واصبح منظوراً

ولا يخفى عليك ان سطوع هذا النجم استغرق وقتاً قبل ان ظهر للفلكيين . فتأخر وصوله الى الارض يساوي المدة التي قضاها النور في رحلته من النجم الى الارض . وقد حسب الفلكيون مسافة بعده عنا فاذا هي ثلاثون سنة نورية . اي ان النور يقضي ٣٠ سنة منذ صدوره عنهُ الى ان يصل الينا . وهذه المسافة تساوي نحو ٢٨٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ كيلو متر = سرعة النور مضروبة بعدد ثواني الثلاثين سنة

ولذلك تساءل الفلكيون وعلماء النسبية منهم : اي تاريخ في ارضنا يطابق اول سطوع لذلك النجم ؟ بحسب حساب الفلكيين لبعد ذلك النجم (٣٠ سنة) يكون اول سطوعه قد حدث في ٢١ فبراير سنة ١٨٧١ اي ان مولد ذلك النجم واليوم الحادي والعشرون من فبراير سنة ١٨٧١

يعتبران حادثين متواقتين . فهل هذا الاعتبار صحيح في نظر علماء النسبية ؟

بحسب رأي علماء الفلك الطبيعي الرياضي هذا الاعتبار صحيح لان ناموس سرعة النور لا يتغير في زمان ولا في مكان، والرصد دقيق ومضبوط والحساب مضبوط ايضاً . ولكنّ لعلماء النسبية رأياً آخر . لانهم ينظرون الى اعتبارات اخرى تجعل شكا في هذا الاعتبار . هؤلاء لا يسلمون بحساب الفلكيين لان الفرق بين الفريقين ان الفلكيين اعتبروا النظام الشمسي (الذي ارضنا ضلع منهُ) وذلك النجم ثابتين كلاً في موقعه ، او على الاقل ان المسافة بينهما ثابتة . وبناء على هذا الاعتبار بنوا حسابهم . ولكن علماء النسبية اذا سلموا بأن المسافة بين النجم والارض ثابتة لا تتغير فلا يسلمون ان خط هذه المسافة الثابت الطول لا يختلف موقعه بالنسبة الى سائر الاجرام



لنفرض ان ر الارض (او النظام الشمسي) و ن النجم نوفا برساي و ع العيوق . ولنفرض ان خط المسافة بين ر ـــ ن ثابت (٣٠ سنة نورية) غير متغير، اي ان الارض والنجم يسيران في اتجاه واحد وبسرعة واحدة بحيث تبقى المسافة بينهما كما هي . ولكن خط المسافة هذا بالنسبة الى ع وغيره من الاجرام العديدة (التي أنبنا العيوق عنها) متحرك ، او هي متحركة بالنسبة اليه او كلاهما متحركان الواحد بالنسبة الى الآخر حركات مختلفة السرعة والاتجاه. ففي حين من الزمان يصبح النجم (ع) عند (غ) مثلاً . فاذن كل من (ر) و (ن) يتغير موضعه في الحيز الكوني وان لم تقصر المسافة بينهما او تطول . ولكن هذا التغير في وضعهما لا يؤثر شيئاً في مسير النور وسرعته

فمتى صدر النور من النجم «ن» اصبح حراً في سرعته وانتشاره الى جميع الجهات . ولذلك يصل الى «ر» بعد ان يتم رحلته بمعدل ٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية . فكم استغرقت رحلته ؟ هل استغرقت ٣٠ سنة ؟ فلنر اذا كان خط المسافة « ر » ـــ « ن » يسير في اتجاه السهم « د » من جهة «ن» الى «ر» بسرعة «س» « قل ١٠ كيلو مترات بالثانية » فالنور الصادر من «ن» يصل قبل ٣٠ سنة بمدة تساوي $\frac{\text{س}}{\text{ن}}$ × ثوان ، ٣٠ سنة تقريباً باعتبار ان «ن» ترمز عن سرعة النور. وان كان الخط المذكور يسير في اتجاه السهم (ل) بسرعة (س) اي بعكس الفرض الأول تأخر وصوله بذلك القدر لان الارض (مع النظام الشمسي) تقرب الى النور القادم اليها ، فتختصر المسافة والمدة في الفرض الاول. وتبتعد عنهُ في الفرض الثاني، فتطول المسافة والمدة

لو كان في الامكان ان نكتشف سرعة ذلك الخط (المسافة بين الارض والنجم) بالنسبة الى الحيز الفضائي لاستطعنا ان نعلم بالضبط المسافة التي قطعها النور بين الجرمين . ولكن من يستطيع ان يكتشف هذا الاكتشاف المستحيل ؟ لانهُ ليس في الفضاء جرم ثابت تنسب اليه مواقع الاجرام وحركاتها لنعلم كم ميل يبعد ذلك الخط عن الجرم الثابت او يقرب اليه ، فاذا اكتشفنا سرعة هذا الخط بالنسبة الى (ع) اليوق او « غ » نبقى جاهلين سرعته الحقيقية بالنسبة الى الفضاء المطلق . لان اليوق نفسه سائر ايضاً بسرعة خاصة . لقد عرف الفلكيون ان النظام الشمسي يسير بسرعة ٢٠٠ الى ٤٠٠ ميل في الثانية بالنسبة الى مركز المجرة . ولكن المجرة نفسها غير ثابتة بل هي متحركة في الكون مع سائر مجراته المتحركة بسرعات مختلفة . اذاً يستحيل ان نعرف سرعة تحرك الخط بين « ر » و « ن » بالنسبة الى الفضاء . ولذلك يستحيل ان نعرف في كم سنة يقضي النور رحلته بينهما . فاذا قال الفلكيون ان بيننا وبين النجم الذي نحن بصدده ٣٠ سنة نورية فان هذا القول يصدق على المراقب الارضي فقط وفي حين الرصد فقط . فلو امكن ان ينتقلوا بغتةً الى ذلك النجم ويرصدوا الارض منهُ لاختلفت نتيجة حسابهم اختلافاً كبيراً . فتقرير يوم مولد النجم المذكور انما هو نسبي ، اي بالنسبة الى الارض فقط

د — التواقت المحلي

ذلك على افتراض ان المسافة بين النجم والارض تبقى واحدة مدة طويلة من الزمان او على الاقل لا تزال كما هي منذ سطع نور النجم الى ان وصل نوره الى الارض . ولكن هناك احتمالات اخرى تقصر مدة رحلة النور او تطيلها

اولاً : يحتمل ان النجم والارض (او بالاحرى النظام الشمسي) يتقاربان ميلاً واحداً (او اكثر اذا شئت) كل ثانية . وهذا الاحتمال يتضمن احتمالين آخرين : الاول ان النظام الشمسي يسير بسرعة « س » (قدر ما شئت من الارقام) نحو النجم . والنجم نفسهُ يسير في نفس الاتجاه ولكن بسرعة (س — ١) . وباختلاف هذا التقدير يختلف طول خط المسافة التي يقطعها النور لكي يبلغ الى الارض اذ يقصر في كل ثانية ميلاً . ولكن رحلة النور تقصر ليس بقدر هذه المسافة بل بقدر نسبة سرعة النظام الشمسي المطلقة في الفضاء الى سرعة النور لانهُ مقبل على النور اي بقيمة $\frac{س}{ن}$ من الاميال كل ثانية . فاذا فرضنا ان سرعة النظام الشمسي في الفضاء ٣٠٠ كيلو متر في الثانية (وهو فرض يستحيل تحقيقهُ او تستحيل معرفة السرعة المطلقة في الفضاء وانما نفرض فرضاً لعمل الحساب) فتقصر رحلة النور بقيمة $\frac{٣٠٠}{٣٠٠٠٠٠} = \frac{١}{١٠٠٠}$

من الميل كل ثانية . الاحتمال الثاني بالعكس، اي ان النجم يسير بسرعة (س-ن) فيتقاربان ويقصر خط المسافة بينهما كل ثانية ميلاً . ولكن رحلة النور تطول بنسبة سرعة النظام الشمسي المطلقة (س) الى سرعة النور (ن) كما تقدم حسابها، لان النظام الشمسي مبتعد عن النور الوارد اليه من النجم. ولكن من يستطيع ان يكتشف قيمة «س»

ثانياً يحتمل ايضاً ان النظام الشمسي وذلك النجم يتباعدان (لا يتقاربان كما فرضنا سابقاً). ولنفرض انهما يتباعدان بسرعة ميل (وان شئت فاكثر) . وهذا الاحتمال يتضمن احتمالين آخرين ايضاً . الاول : قد يكون النجم والنظام الشمسي سائرين في اتجاه واحد معاكس لاتجاه نور النجم كاتجاه السهم «د». واما سرعة النجم تزيد على سرعة النظام الشمسي ميلاً او (اكثر) في الثانية ، وبذلك تطول المسافة ميلاً كل ثانية . ولكن رحلة النور تقصر بقدر سرعة النظام الشمسي «س» نحوها (قدّرها ما شئت) . لانهُ متى تركت لمة النور النجم لا يبقى لسرعة النجم شأن فيها سواء كانت بطيئة او سريعة وسواء كان النجم متجهاً الى هنا او هناك . الثاني قد يكون اتجاه سير النظام الشمسي والنجم كاتجاه السهم «ل» المساير لاتجاه النور، وانما سرعة النظام الشمسي تزيد على سرعة النجم ميلاً (او اكثر) . وفي هذه الحالة يتباعدان كل ثانية ميلاً وانما رحلة نور النجم تطول لان النظام الشمسي مبتعد امامها — تطول كنسبة «س» الى «ن» (رمز سرعة النور) كل ثانية اي $\frac{س}{ن}$ من الميل

هـ — نسبية التوقيت

نرى مما تقدّم ان مدة رحلة النور بين النجم والنظام الشمسي لا تتوقف على تطاول خط المسافة بينهما او تقاصره بل على مقدار سرعة النظام الشمسي المطلقة في الفضاء ان كان مقبلاً نحو نور النجم او مدبراً عنهُ . ولكن من يستطيع ان يعلم كم هي سرعة الشمس او اي جرم في الفضاء المطلق ؟ اذا استطعنا ان نكتشف سرعة الشمس بالنسبة الى سرعة النجم او الى مركز المجرة فلا نستطيع ان نتحقق ان كانت هذه السرعة هي نفس سرعة الشمس المطلقة في الفضاء فقد تكون اكثر او اقل . ولذلك يستحيل ان نعلم ان النور قد قضى ٣٠ سنة في رحلته من النجم الى الارض او اكثر او اقل ، لانا ما دمنا نجهل اين كان موقع النجم حين رحلت اول لمعة منهُ الينا، واين كان موقع الارض حينئذٍ، واين صار موقعهُ وموقع ارضنا حين وصلت اللمعة اليها ، فيستحيل ان نستطيع تقرير المدة لرحلة النور والمسافة بين الجرمين . فالمدة التي حسبها الفلكيون لرحلة النور بينهما انما هي نسبية بحسب حساب سرعة النور على الارض

ولعلّ النظرية تتجلى للقارىء اكثر اذا ضربنا المثل التالي : — نتصور ان ملاكاً سماويًّا يستطيع الاجتماع بنا ويروي لنا معلوماته . ونتصور انهُ امتطى لمة نور حين صدرت من النجم وسارت به بسرعتها المعلومة الى ان وصل الى ارضنا . فسألهُ : كم قضيت من الوقت في رحلتك بحسب حساب الوقت الارضي ، على فرض انهُ كان يحمل ساعة مضبوطة كساعاتنا ! ولنفرض انهُ اجاب : قضيت ٣٠ سنة بالضبط . وبحسابنا لسرعة النور نعلم انهُ قطع نحو ٢٩ بليون بليون ميل

واذا سألناه : هل تعتقد ان هذه المسافة هي نفس المسافة بيننا وبين النجم ؟ يجيب لا ادري

— لماذا

— لاني لم أعلم اين كان موقع الأرض حين رحلت عن النجم . ولا أدري الآن وقد وصلت الى الارض اين صار موقع النجم . فهما سائران بسرعة اجهلها ويستحيل عليّ ان اقيسها

لذلك نضطر ان نسلم بان ما ننسبه الى أي جرم من بعد المسافة واتجاه الحركة وسرعتها وصدور اي ظاهرة فيه وبلوغ خبرها الينا انما هو نسبي الى ارضنا فقط ، او بالاكثر الى نظامنا الشمسي . ولما كان النور الذي ينقل الينا أخبار حركات الاجرام لا يتأثر في اتجاهه وسرعته بأي مؤثر ، فلا نستطيع ان نقرر مدة حقيقية بين سطوع ومضة من نجم ووصولها الينا . وانما نقرر ما نقرره بحسب ما ينبئنا به النور حال وصوله الينا لا حال صدوره من مصدره . وتقرير ما نقرره عن وقت صدوره انما هو بحسب وقتنا وبالنسبة الينا فقط

فالتواقت بين مولد ذلك النجم والتاريخ المطابق له في حسابنا انما هو نسبي لنا يختلف عن التاريخ الذي يراه أهل ذلك النجم لو كانوا في ظروف كظروفنا وظهرت لهم ومضة من نظامنا الشمسي

لاريب ان الموضوع دقيق يحتاج الى سعة التصور وعمق التبحر . ولا يمكن ان يبسط ابسط مما تقدم . فاذا كان للقارىء شيء من الصبر على التصور والتبحر فلا بدّ ان ينجلي له الموضوع جيداً

***

وحاصل القول انك لا تستطيع ان تقول ان الحادث الفلاني واقع حادثاً آخراً او تاريخاً معيناً الاّ اذا قرنت قولك بالقول انهُ حدث بالنسبة الى الموقع الفلاني . واما ان تقول على الاطلاق من غير ان تعين موقعاً تنسبهُ اليه فالقول لغوٌ لا معنى لهُ . اجل لا معنى للقول (على الاطلاق) ان حادثين حدثا في وقت واحد الاّ اذا ذكر في هذا القول من قاله واين هو يقيم لكي ينسب التواقت اليه

ليس لاي كائن على الارض او في المريخ او في نوفا برساي او في السديم الاقرب او الابعد ان يقول ان حادثين حدثا معاً في وقت واحد على الاطلاق الاّ اذا كان هذا الكائن كالله تعالى مستقلاً عن الكون الاعظم ومشرفاً على حوادثه ويرى كل حادث حين يحدث توًّا بغير

واسطة النور . فكأن كهذا يستطيع ان يضبط تواريخ حوادث الكون المتباعدة المتتابعة بالنسبة الى نفسه وبنسبة كل حادثة في جرم الى حادثة في جرم آخر . واما اذا كان هذا المكان لا يشعر بحوادث الكون الا بواسطة النور فيكون قوله بتوافق حوادث الكون نسبيًّا كقولنا نحن نحكم على حوادث الاجرام وحركاتها وكل ما يبدو لنا منها كما يبلغها الينا نورها . ومهما حسبنا ابعاده وسرعتها فيستحيل ان نتحقق تاريخ حدوثها الحقيقي

نرى كل ليلة بالمرقب الفلكي جانبا عظيماً من اجرام الكون ونشاهد الفروق بينها في الحجم والاشراق والشكل من سديمي وكوكبي الخ . فيتراءى لنا انها متعاصرة . اي انها هي كذلك او كانت كذلك منذ امد كما نراها الآن . ولعل بعضها لم يكن قبل ذلك الامد وبعضها انقرض قبل ذلك الامد ، بسبب تباعدها بعضها عن بعضها مسافات لا تدرك . فما هي متعاصرة كما نراها . وانما اقربها بلغ الينا خبره مع خبر اقدمها البعيد . فهذا القديم لم يعاصر ذلك القريب . فعلى القارىء ان يتمادى في تصور الفضاء السحيق والزمان الجاري فيه منذ الازل فيدرك فحوى هذا الفصل

***

رأيت في ما تقدم ان للوقت شأناً في نسبية المسافات ومقاييس الاجسام والاوقات بالنسبة الى المراقبين المختلفي المواضع . فقد تهيأ ذهنك الآن لتفهم قضية اندماج الزمان بالمكان وهو نواة قضية الابعاد الاربعة . فعليك بالفصلين التاليين

الفصل الثامن

الزمكان

أو اندماج الزمان بالمكان والبعد الرابع

لكي نفهم البعد الرابع الذي كشفت عنهُ المباحث العلمية الجديدة وأخصها مباحث «النسبية» يجب ان نفهم معنى اندماج الزمان بالمكان كما يعبّر عنهُ علماء اليوم بلفظ واحد Spacetime ونحن نترجمهُ بلفظ عربي واحد «الزمكان» مختصر «زمان — مكان». ولكي نفهم هذا الاندماج الذي يستهجنهُ المفاجأون بهِ ويتعذر عليهم تصوره يجب ان نفهم ما هو المكان وما هو الزمان أو ما هو المعنى المراد منهما ؟

١ — ما هو المكان

حتى أوائل هذا القرن كان المعنى المراد بلفظ «المكان» الحيز الذي تشغله المادة المحسوسة أو يمكن ان تشغله . مثال ذلك هذا الكتاب الذي في يدك هو مجسم طولهُ ٢٥ سنتيمتراً وعرضه ١٥ وسمكه سنتيمتر واحد فقط . فالفراغ الذي يملأه هذا الكتاب بهذا القياس يعتبر مكاناً لهُ . فاذا اخذت الكتاب من موضعه وأبعدتهُ الى مكان آخر فهل يبقى ذلك الحيز الذي اشغله معتبراً مكاناً ؟

لا بدّ ان تقول : طبعاً . يعتبر مكاناً ، اولاً لانهُ يحتمل ان يشغله ذلك الكتاب كما كان يشغله قبل ان ننقله منهُ او يشغله جسم آخر بحجمه . وثانياً لاني استطيع ان اتصوره مشغولاً بذلك الكتاب او بأي جسم آخر مثله . وبناء على هذا القول جميع رحاب الفضاء التي نحسبها خالية تُعتبر أمكنة ، لان اجرام المادة تتنقل فيها من حيز الى حيز على التوالي ، ويمكننا تصورها مشغولة بالاجرام والاجسام المادية جنباً الى جنب ، وان كان حدوث هذا بالفعل مستحيلاً — يمكننا تصور الاجرام مالئة الفضاء هكذا على الرغم من انها منثورة في الفضاء ومتفرقة فيهِ تاركة فيما بينها رحاباً سحيقة المسافات

ولما كنا نستعين بالتصور — حتى تصور المستبعد أو تصور بعض المستحيلات — في تفهم المكان نوغل في التصور لكي نفهم كيف يمكن ان نتصور المكان . فلنتصور اذن ان المادة اضمحلت تمام الاضمحلال من الوجود ولم يبق لها اي اثر ، ولم يبق في الوجود الاّ عقلنا فقط يتصور ، فأي صورة تكون فيهِ للمكان ؟

قد تقول : على الرغم من تصوري اضمحلال المادة لا ازال اتصور الفضاء الخالي مكاناً يحتمل ان تشغله مادة اذا عادت المادة المضمحلة الى الوجود — أجل تصوره كذلك لان صورة المادة ، قبل اضمحلالها ، مطبوعة في ذهنك . فيتعذر عليك ان تمحو من ذهنك صورة مطبوعة فيه كما فرضنا محقها من الفضاء . ولكن اذا طلبنا اليك ان تتعمق في تصور الفضاء خالياً من المادة خلوًّا مطلقاً ، فهل تستطيع ان تتصوره فراغاً مطلقاً ؟ وان قلت : أستطيع أن أتصوره هكذا ، فهل تستطيع أن تتصوره بلا حدود مهما كان رحيباً ؟

هنا أراك واجماً . أراك في حيرة . لانك ان كنت تتصوره ذا حدود فالحدود هي مادة أو شبه مادة . فأنت اذن لم تفرغه ، في تصورك ، من المادة افراغاً تامًّا كما فرضنا . بل لا تزال تتصوره محاطاً بمادة . وحينئذٍ يمكنك ان تقيسهُ بين حدوده ولو كما يقيس الفلكيون الابعاد والرحاب السحيقة بواسطة سرعة النور . وحينئذٍ يمكنك ايضاً أن تتصور هذه الحدود منتقلة فيه كتنقل الاجرام والاجسام . وان كنت تزعم أنك تستطيع ان تتصوره خالياً من كل شيء حتى من الحدود فأنت تتصور العدم . وتصور العدم عدم . فاذاً أنت لا تتصور شيئاً . بل أنت غير متصور . أنت ساكن الذهن . والاّ فما هو العدم ؟ او ما هو الفرق بين الفضاء الخالي والعدم ؟

اذن ، لا تستطيع ان تتصور الفضاء خالياً من المادة . أزل المادة من الوجود — أعدم الاجرام بتاتاً ، ينعدم الفضاء أيضاً . ينعدم المكان . واذن لا معنى للمكان بلا مادة تشغله . لا معنى للفضاء بلا أجرام تحد رحابه — واذن ، منطقيًّا لا وجود للمكان بتاتاً لولا وجود المادة . وجود المادة قرّر وجود المكان . المادة خلقت الحيز الذي أشغلتهُ . فاذا قلنا « المكان » أو « الحيز » أو « الفضاء » (Space) كنا نعني مادة تشغل حيزاً وتنتقل من حيز الى حيز . فذكر المكان يستلزم وجود المادة . وذكر المادة يستلزم معنى المكان . اي ان معنى المكان مستمدٌّ من وجود المادة . وتفسير الفضاء بالحيز الخالي خلوًّا مطلقاً خطأٌ محض

لذلك ما نسميه فضاء هو فضاء محدود بالمادة . متناهٍ . لان المادة متناهية أي ان لها قدراً معيناً . والفضاء محدود بها . لهُ أول ولهُ آخر . ولا تسل عما قبل الاول وعما وراء الآخر . فهذا مستحيل على العقل البشري تصوُّره . دعهُ لعقل الالوهية . ولذلك أيضاً ، يكتسب الفضاء أو المكان أو الحيز طبيعته من طبيعة المادة نفسها . فاذا قال العلم الحديث ان الفضاء متحدّب Curved فلأن المادة التي تشغله متحدبة . وهذا بحث دقيق لا متسع لهُ هنا . فنرجئهُ الى القسم الرابع

فيما تقدّم فرضنا الرحاب بين الاجرام الخالية . والحقيقة انها ليست خالية الاّ من المحسوس . بل هي مملوءة من أنواع مندثرات الاجرام المشعّة الثلاثة : ١ً : أمواج الفا وهي بروتونات ايجابية الشحنة الكهربائية : ٢ً : امواج بيتا وهي الكترونات « كهارب » سلبية الشحنة :

٣ : امواج جمّا وهي في عرفهم فوتونات بلا شحنة . — (وفي رأي هذا الضعيف ليست الامواج نفس البروتونات والالكترونات والفوتونات ، بل هي أمواج أثيرية صادرة من اندفاع هذه الوحدات المادية المتدفقة في بحر الاثير المالىء رحاب الفضاء) . فالرحاب ليست خالية كما تتراءى لنا بل هي مملوءة تشععات مادية . وامتلاؤها بها جعل لها قيمة المكان ، او جعل للمكان قيمة بها او جُعل لهُ طبيعته . هذا اذا ضربنا صفحاً عن الاثير ، (أوقيانوس المكان) الذي ، وان كان لا يزال فرضاً بلا برهان امتحاني معملي ، يعد أفضل فرض لتعليل الظاهرات الطبيعية ولا سيما ظاهرات التشعع الموجي . ولا مجال هنا للاسترسال في هذا الموضوع . نعود الآن الى « الزمان »

ما هو الزمان ؟

خرجنا من البحث الآنف بنتيجة صعبة التصوُّر . ولكنها نتيجة منطقية لا مناص منها . وهي ان المكان لا وجود حقيقي لهُ . هو العدم . وانما المادة أوجدتهُ . فما قولك بالزمان !

اذا كان المكان — مستقلاً عن المادة — عدماً ، فالزمان بالأحرى عدم أيضاً . أو بأبلغ عبارة هو أشد عدمية . المادة أوجدت المكان . وحركة المادة أوجدت الزمان . ان انتفت الحركة انتفاء مطلقاً — ان سكن كل متحرك في الكون — انتفى الزمن معها

قد يتراءى لك هذا القول مستهجناً . ولكن أغرب منهُ القول بأن الزمن (او الزمان بمعنى واحد) منتحلٌ من المكان الذي هو منتحل من وجود المادة كما سترى فيما يلي : —

كيف نفهم الزمن ، او الوقت الذي هو في اصطلاحنا جزء من الزمن ؟ — مضيت صباحاً الى عملك . ثم عدت عند الظهر الى منزلك . فكيف عرفت ان الوقت صار ظهراً ؟ — قد تقول : رأيت الشمس تكبدت كبد السماء . صارت في السمت . تقلص ظلي حتى صار تحت قدمي . وقد كانت الشمس حين مجيئي الى عملي في الافق وكان ظلي أطول مني . فكان الوقت صباحاً ، ثم صار ظهراً

فما معنى الصباح والظهر عندك ؟ أليس معناها ان الشمس سارت من الافق الى كبد السماء ؟ وبعبارة فلكية ان الارض أتمت ربع دورتها على محورها . فاذاً . أنت قست الوقت بحركة الارض على محورها ، أو بانتقال الشمس الظاهري من الأفق الى السمت

قد تقول : ليس ضرورياً ان أرقب الشمس لكي أعلم مواقيت النهار . ارقب ساعتي فأعلم مواقيت النهار والليل جميعاً . حسن . أستغنيت عن حركة الارض او مسير الشمس . ولكنك استعضت عن حركتهما بحركة عقرب ساعتك . فأنت تقيس الزمن بحركة عقرب الساعة . ابدلت حركة بحركة . وهو أمر يثبت لك ان الزمن ليس الا قياس حركة المادة فقط . وقد تقول : اني استغني عن مراقبة الشمس وعن مراقبة عقرب الساعة . فأعرف ميعاد الظهر من احساسي بمجرى

عملي اليومي، أعرف أني قضيت من الاشغال ما يستغرق ٦ ساعات . فأقول بنفسي صار الوقت ظهراً اذن في مقايسة الوقت او المدة لجأت الى حركتك في عملك الذي اعتدت ان تنجزه في برهة ٦ ساعات (علمتها من حركة الارض) طالما قستها بحركة عقربي ساعتك . فاذاً لا مناص لك من قياس الوقت بالحركة . قد تقول متعنتاً : يمكنني ان انقطع عن كل عمل وألجأ الى غرفتي بعد ان اقفل جميع نوافذها وتصبح ظلاماً واقيس مدة في هذه الحالة . ومع ذلك احس بمرور الوقت . وقد استطيع ان اخمّن المدة التي مرّت عليّ في هذه الحالة

اقول ان فكرك في هذه المدة كان متنقلاً من موضوع الى آخر . وبهذا التنقل قست الوقت قياساً تقريبيًّا . فتنقل فكرك هو نوع من الحركة . اذن الزمن الذي احسست به هو هذه الحركة

ولنفرض اننا خدرناك بالكلوروفورم، او بأي مخدّر آخر بحيث لا تعود تشعر بشيء وبحيث تقف كل حركة فكرية لك . وبعد مدة منعنا عنك فعل المخدّر فصحوت . فاذا سألناك : منذ متى غفوت ؟ لا ريب ان تجيب : اشعر اني كنت صاحياً منذ بضع دقائق ثم غفلت هنيهة قصيرة ثم صحوت . واذا قلنا لك انهُ مرت ساعة على نومك تدهش لانك تعتقد ان وقت غفلتك كان قصيراً جدًّا لانك لم تعد تشعر بحركة خارجية ولا داخلية ولا فكرية . فهل يبقى عندك شك بعد هذه الفروض بان الزمن لا وجود حقيقي له ، وان ما نسميه زمناً ليس الاّ توالي الحوادث بعضها اثر بعض ؟ فلو توقفت كل حركة في الكون لم يعد للزمن معنى بتاتاً . فكما ان وجود المكان مكتسب من وجود المادة ، كذلك وجود الزمن مكتسب من حركة المادة . وحركة المادة هي انتقال الجسم المتحرك من حيز الى حيز آخر في المكان . اذن فترات الزمان منتحلة من فسحات المكان . ولذلك نقيس الزمن والمكان بمقياس واحد

نقيس المسافة المكانية بمقياس اصطلحنا عليه كالمتر مثلاً وكسوره السنتيمتر او المليمتر ، ومضاعفه الكيلو متر الخ . والمتر هو طول رقاص Pendulum يخطر ٨٦٤٠٠ خطرة كلما دارت الارض على محورها دورة كاملة . وهذا العدد هو عدد ثواني اليوم . ولذلك خطرة الرقاص المتري تساوي ثانية . فقياس المكان وقياس الزمان منتحلان معاً من حركة الرقاص

والغريب اننا نستهجن القول ان الزمن لا وجود له البتة وانهُ ليس الاّ مقداراً معيناً من الحركة ، في حين اننا في اعمالنا اليومية نقيس الزمن تارة بالمسافة المكانية واخرى نقيس المسافة المكانية بالمدة الزمنية . فنقول مثلاً : ان القرية تبعدنا مدة تدخين سيكارة ، وان المسافة بين القاهرة والاسكندرية ٣ ساعات بالسكة الحديدية . وأغرب من ذلك ان بعض الناس في الولايات المتحدة يقيسون المسافة بالعملة . فيقولون ان فيلادلفيا تبعد عن نيويورك ريالين ونصف ريال ، يعنون ان اجرة السكة الحديدية بينهما هذه القيمة النقدية

وحاصل القول ان الزمن او الوقت هو تعبير مجازي عن انتقال جسم من حيز الى حيز آخر بالنسبة الى انتقال جسم آخر من حيز الى حيز . جعلنا انتقال الشمس من افق الشرق الى افق الغرب، ثم عودتها الى الافق الاول مقياساً للوقت سميناه يوماً . ثم قسمنا اليوم الى ٢٤ قسماً سميناها ساعات . ثم قسمنا الساعة الى ٦٠ جزءاً سميناها دقائق وقسمنا الدقيقة الى ٦٠ جزءاً سميناها ثواني . وجعلنا الثانية القياس الادنى لكل حركة اخرى . وما الثانية الا جزء من ٨٦٤٠٠ من دورة الارض على محورها . اي ما يقطعهُ هذا الجزء من محيط الارض في الفضاء . وبعبارة اخرى هو انتقال اي نقطة من خط الاستواء الارضي في الفضاء ٤٣٠ متراً تقريباً (وهو الخارج من قسمة ٤٠٠٠٠٠ كيلو متر محيط الارض على ٨٦٤٠٠ ثانية) . فانتقال هذه النقطة الارضية الاستوائية في الفضاء ٤٣٠ متراً يوافق انتقال الارض في فلكها حول الشمس ٣٠ كيلو متراً ، وانتقال المريخ في فلكه ٢٤ كيلو متراً، وانتقال المشتري ١٣، وزحل ١٠ وكسوراً، ونبتون ٥½ تقريباً، ويوافق انتقال النور في الفضاء ٣٠٠ الف كيلو متر ، وانتقال النظام الشمسي كلهُ في قرص المجرّة ٢٠٠ كيلو متر وهلمّ جرّا — كل من هذه الانتقالات يتم في هنيهة نسميها ثانية

اذن الحقيقة اننا نقيس الزمن او الوقت بمسافة مكانية كما نقيس المكان نفسهُ بمسافة مقررة منهُ . فالقياس للاثنين واحد مقياس مكاني [1] . اذا تصوّرت الكون ساكناً سكوناً مطلقاً لا حركة فيه البتة فلا تعود تستطيع ان تتصور مجرى الزمن . لا يبقى ماض ولا مستقبل . واذا قلنا ان الارض ولدت من الشمس منذ مليون مليون سنة عنينا ان الارض دارت حول الشمس مليون مليون مرّة

ج — كيف يندمج الزمن بالمكان

مجمل ، ما عرفت مما تقدّم ان المكان هو الحيز الذي تشغله المادة ، وان الزمن هو تعبير عن قياس حركة المادة في المكان ، وان هذا القياس هو مسافة مكانية ، ومقياسه الاصطلاحي انتقال اي نقطة في خط الاستواء الارضي مسافة ٤٣٠ متراً في اثناء دورة الارض على محورها ، او هو خطوة رقاص طوله متر . وقد سمي ثانية — اما وقد عرفت ذلك فصار سهلاً عليك ان تفهم كيف ان الزمن مندمج في المكان بسبب تحرك المادة

---

(١) يؤيد هذا القول الحساب الرياضي : م المسافة = ت الوقت مضروباً بالسرعة س هكذا م = س ت ومنه ت = $\frac{م}{س}$ اي ان الوقت يساوي المسافة مقسومة على السرعة : مثال ذلك : المسافة بين القاهرة والاسكندرية ٢١٥ كيلو متراً و سرعة الاكسبرس ٧٥ كيلو بالساعة اذاً $\frac{٢١٥}{٧٥}$ = ٣ ساعات و ٣ × ٧٥ = ٢١٥ كيلو متراً . أترى كيف دخل الوقت مع المسافة بالحساب ؟ فهما من طبيعة واحدة

هل تستطيع ان تنتقل في المكان من غير أن تنتقل في الزمان ؟ مستحيل . لماذا ؟ لأن انتقالك هو خطوات متتابعة الواحدة بعد الاخرى ، وكل خطوة هي عبور مسافة مكانية. فعدد الخطوات هو تعبير عن الامتار التي عبرتها وتعبير عن الثواني التي أمضيتها . لانهُ يوافق خطوات الرقاص المتري او انتقال نقطة استوائية مسافة ٤٣٠ متراً في الفضاء — أعني اذا فرضنا كل خطوة هي متر في الثانية فالمتر هو خطوة والثانية هي خطوة ايضاً . وكلاهما تعبير عن حركة الانتقال

قد تقول : اذن يمكننا ان نستغني عن القياس الزمني للحركة ونقتصر على المقياس المكاني فنقول مثلاً : ان اليوم هو ٨٦٤٠٠ خطوة (او متر) لان دورة الارض على محورها مرة واحدة توافق هذا العدد من الخطوات. وبتقسيم اليوم نجعل الساعة ٣٦٠٠ خطوة ، والدقيقة ٦٠ خطوة والثانية خطوة واحدة . نتكلم بالخطوات ومجموعات الخطوات بدل الثواني والدقائق والساعات

اقول : نعم ونحن فاعلون مثل هذا . وما تسميتنا ما يوافق الخطوة ثانية والستين ثانية دقيقة الخ الاّ اصطلاح . ولا بد من هذا الاصطلاح لتحديد المقاس الزمني لاختلاف سرعات الاجسام. فاذا قلنا ان النور يستغرق منذ صدوره من الشمس الى ان يصل الينا (٨ دقائق) ٤٨٠ خطوة عنينا انهُ كلما خطوت انت خطوة (متراً) خطا النور ٣٠٠ الف كيلو متر أي ان خطوة النور تساوي ٣٠٠ مليون خطوة كخطوتك . فترى اننا نستطيع ان نصرف النظر عن اصطلاح الثواني والدقائق الذي تعودناه كرمز زماني ، ونعبر عن حركة الانتقال بالامتار لان الثانية والدقيقة الخ رمز مسافة مكانية كما تقدم . فلا يمكن ان نعزل الزمن عن المكان عزلاً يجعلهُ مستقلاً . ولذلك اكرر القول ان الزمن هو مسافة مكانية كالمكان تماماً

ولكن لان سرعات الاجسام والاجرام مختلفة عظيم الاختلاف نحن مضطرون ان نجعل اصطلاحاً خاصاً للتعبير عن هذه السرعات لكي نميزه عن الاصطلاح الخاص بالمسافات. فجعلنا الثواني والدقائق الخ لنعبر بها عن سرعة الانتقال (الحركة) وجعلنا الامتار والاميال الخ لنعبر بها عن مسافة الانتقال . ولكننا في حين تعبيرنا عن السرعات بالثواني والدقائق لا نستغني عن ذكر المسافة المكانية. فنقول مثلاً ان سرعة القطار بالثانية ١٥ متراً وسرعة الارض بالثانية في فلكها ٣٠ كيلو متراً وسرعة النور بالثانية ٣٠٠ الف كيلو متر وهلمَّ جرًّا . استنبطنا هذا الاصطلاح لقياس السرعات

رأيت مما تقدم كيف ان ما نسميه زماناً يندمج تمام الاندماج بالمكان لانهُ يعبر عن تحرك المادة في الحيز . كما أن المكان يعبر عن وجودها في الحيز . وبعبارة اخرى ليس الزمن الاّ وسيلة للتفرقة بين وجود المادة وتحركها . وكلاهما في المكان

د — معنى البعد الرابع

بعد هذا البيان الواضح يسهل عليك أن تفهم المراد من قولهم « بالبعد الرابع » فأنت تعلم ان أي جسم او ذرة في الكون يتحدد موقعها في الفضاء بثلاثة ابعاد متعامدة فيها ابعاد عن اجسام او ذرات اخرى . اي لا يكفي لتحديد موقعها بعدها عن جهة واحدة فقط ، ولا بعدها عن جهتين متعامدتين عندها فقط ، بل لا بد من اتجاه ثالث معامد للاتجاهين الآخرين وهي في نقطة تعامدها جميعاً . هناك ينحصر موضعها . فاذا فرضنا انها سائرة (في خط مستقيم او خط منحنٍ) فالمسافة التي تعبرها هي البعد الرابع . لانهُ لما كنا نعبر عن عبورها هذا بالاصطلاح الزماني (الذي ينوب عن الاصطلاح المكاني التمييز بين وجود الجسم في المكان وسرعته فيه) كما علمت صح القول بأن الزمن بعد رابع مكاني ايضاً [1] وختام الكلام : الوجود هو مادة متحركة ، من خواصها « الزمكان »

في المقال التالي شرح واف لقضية الابعاد الاربعة فتبصره جيداً

---

(١) يؤيد هذا القول المعادلة الرياضية . هكذا : —

اذا رمزنا عن الابعاد الثلاثة بالاحرف ط (طول) ض (عرض) ع (علو أو عمق) م (المسافة) التي يعبرها الجسم متنقلا بابعاده (الثلاثة معه) كان لنا بحسب قضية فيثاغورس م^{2} = ط^{2} + ض^{2} + ع^{2} باعتبار ان المسافة هي وتر الجسم ذي الابعاد الثلاثة . والجسم هنا هو الحيز الذي يسير به الجسم المتحرك وقد علمت في الحاشية السابقة ان م = ت س اذاً

ت^{2} س^{2} = ط^{2} + ض^{2} + ع^{2} فترى ان الوقت دخل في حساب المكان كضلع فيه (ت س) ولذلك عُدَّ بعداً رابعاً

لا أنكر ان هذه العملية الرياضية الصغيرة تحتاج الى شرح مسهب لكي يفهم القارىء العامي المراد منها ولذلك أسهبها في الفصل التالي

الفصل التاسع

الأبعاد الاربعة

١ — ماذا يراد بالابعاد الاربعة

ربما كانت قضية الابعاد الاربعة أغرب قضايا النسبية وأبعدها عن المألوف في أذهان البشر وأدعاها للاستهجان . وقد زادها هُجنة الكتّاب الذين كتبوا عنها من غير ان يدرسوها ويفهموا المقصود منها فهماً صحيحاً . ففسروا الابعاد بحدود الجسم الثلاثة : الطول والعرض والعمق (او العلو او السماكة) . وأضافوا الزمن اليها بعداً او حدّاً رابعاً باعتبار انهُ من رتبتها ، من غير ان يفسروا سرّ هذه الاضافة . فبحسب هذا التفسير لا بدع ان تبدو تسمية الوقت او الزمن (رابع الحدود) أمراً مستهجناً يستنكره العقل وينبو عنهُ التصوُّر . ويمثلون على زعمهم هذا بقولهم : « لهذا الكتاب، مثلاً، حدود أربعة : طوله وعرضه وعمقه (او سماكتهُ) والوقت الذي هو فيه » . واذا سألتهم : ما معنى هذا الكلام ؟ وما علاقة الوقت الذي هو فيه بحدوده الثلاثة ؟ فلا يستطيعون ان يزيدوك تفسيراً . أجل لا يستطيعون لان السخافة لا تحتمل تفسيراً

ليس للكتاب ولا لأي مادةٍ من المواد المحسوسة الاّ طول وعرض وعمق . وكذلك ليس لأي حيز موهوم في الفضاء الاّ هذه الحدود او الابعاد الثلاثة فقط ، مهما تقلب العقل البشري في عالم التخيُّل والتصوُّر . لان هذه الحدود الثلاثة هي طبيعة الحيز الهندسي الاقليدوسي المفروض الثابت او المشغول بمادة محسوسة ساكنة غير متحركة

وأما نظرية النسبية فلا شأن لها بالحيز المفروض او الموهوم ولا بالجسم المادي الثابت . ولا تعترف بوجود حيز معين ثابت ، ولا بوجود مادة ساكنة غير متحركة ، بل هي تذهب الى ان الحركة سنة أساسية في المادة ، بمعنى ان كل ذرّة وكل جسيم وكل جرم في الكون متحرك، ولولا الحركة لكان عدماً . ولذلك لا معنى للحيز او المكان الاّ ما يشغله من المادة او من مفاعيلها كالتشعُّع والجو الكهربائي المغنطيسي والجو الجاذبي . وحيث لا مادة ولا شيء من مفاعيل المادة فلا شيء يسمى حيزاً او مكاناً . وبعبارة أخرى (غير منطقية) اذا خلا الحيز من مادة او من مفاعيلها كان عدماً . قلت « غير منطقية » لانهُ لا وجود لحيز خال من المادة . هو العدم كما قلنا

يستفاد مما تقدّم ان النسبية لا تعنى بالاجسام، ولا بالحيز الموهوم المفروض، وانما هي تعنى بالحركات الحادثة (الحوادث) . ولذلك اذا حدّدت موقع حادثة أو اية حركة حدّدتهُ بالابعاد

الاربعة : ثلاثة منها مكانية (حيزية) والرابع زمكاني . باعتبار ان تحديده لا يتم الاّ باقتران الزمان بالمكان . ولكي تتجلى هذه القضية النسبية للقارىء وتتضح من ضمنها تلك المجنة التي غشي بها على الابصار الكتّاب المتسرعون بلا تحقيق، نشرح القضية فيما يلي، مبتدئين بأبسط وجه من وجوهها

ب — نموذج تصوري للابعاد الاربعة

افرض او تصوّر انك في غرفة مكعبة ، كل من طولها وعرضها وارتفاعها عشر أذرع ، وان هذه الغرفة هي كل الكون . وتصوّر انك في جانب منها (منضدة) طاولة ، وعلى الطاولة شمعدان ، وعلى قمة الشمعدان عند (ب) في الشكل الاول ذبابة او بعوضة . وافرض ان في زاوية الغرفة السفلى عند (ع) رقيباً يراقب البعوضة . فماذا يفعله الرقيب لتحديد موقع البعوضة ؟

افرض انهُ يقيس اقرب مسافة من موضع البعوضة الى الارض وهي الخط العمودي الساقط منها الى الارض ، ولنفرض انه وجده ذراعين . فهل يكتفي لتحديد موضع البعوضة بالقول انهُ يعلو عن الارض ذراعين او يسفل عن السقف ٨ اذرع ؟ كلاّ ، لماذا ؟ لانك كيفما دفعت الطاولة في ارض الغرفة دفعاً أفقيّاً تبقى البعوضة عالية ذراعين عن الارض . يلتفت الرقيب الى الجدار الذي عن يمينه ويقيس اقرب مسافة من البعوضة اليه فيجدها ٤ اذرع مثلاً . فيقول ان البعوضة تعلو عن الارض ذراعين وتبعد عن الجدار الذي عن يميني ٤ اذرع ، فهل هذا يكفي لتحديد موضع البعوضة ؟ كلاّ لانهُ يمكنه ان يدفع الطاولة في خط موازٍ للجدار المذكور وتبقى البعوضة على ذراعين فوق الارض و ٤ اذرع عن الجدار . اذن ، يبقى عليه ان يقيس اقرب مسافة بين البعوضة والجدار الذي عن يساره (المقابل للجدار الذي عن يمينه) فيجدها مثلاً ٣ اذرع . وحينئذٍ يصح له القول : ان البعوضة ترتفع عن الارض ذراعين (او تسفل عن السقف ٨ اذرع) وتبعد عن الجدار الذي عن يميني ٤ اذرع (او عن الجدار المقابل له ٦ اذرع) وتبعد عن الجدار الذي عن يساري ٣ اذرع (او عن الجدار المقابل له ٧ اذرع) .

فهل يتحدّد موضع البعوضة حينئذٍ ؟ نعم . لانه ليس في تلك الغرفة الاّ نقطة واحدة لها هذه الابعاد الثلاثة المتعامدة فيها عن جهات الغرفة . وهي موضع البعوضة

اذاً ، لا بد لتحديد أي نقطة في أي حيّز من ابعاد ثلاثة (مكانية) متعامدة كل واحد منها عموديّ على الآخرين في تلك النقطة . ولا يمكن تحديد موقعها ببعدين فقط . وبالاحرى لا يمكن ببعد واحد . وهذا ما يسمونهُ في اصطلاح النسبية نظام المتعامدات الديكاري The Cartisian Co-ordinate System نسبة الى الفيلسوف دي كارت الذي استنبطهُ

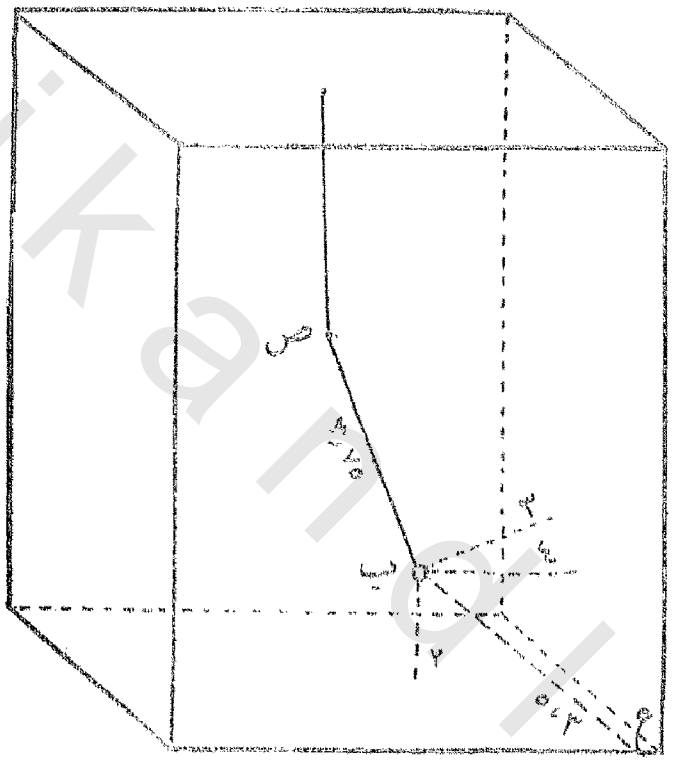
هذا هو معنى الابعاد الثلاثة المكانية التي بها يتعين اي موقع في أي حيّز . بقي ان نعلم كيف يأتي البعد الزماني الرابع تتمة لتعيين الحادث . وانما قبل الانتقال هذه الخطوة لا بدّ من

شرح مسألة أخرى لا غنى عنها لتمام البحث في موضوع النسبية . وسيرى القارىء خطورتها

قلنا ان المراقب مقيم عند (ع) . ولا بدّ لهُ من معرفة بُعد البعوضة عنهُ . فكيف يعلمهُ ؟ يلجأ الى قاعدة فيثاغورس الهندسية وهي :

(١) مربع الوتر في مثلث قائم الزاوية يساوي مجموع مربعي الساقين

(٢) مربع الوتر في مكعب يساوي مجموع مربعات الطول والعرض والعمق . فاذاً ، المسافة من ع الى ب $= \frac{\sqrt{٢^٢+٣^٢+٤^٢}}{٧} = ٥،٣$. نتقدم الآن الخطوة الاخرى في البحث



الشكل الاول

ج — ما هو البعد الرابع

لنفرض ان في وسط الغرفة مصباحاً معلقاً على بعد ٥ اذرع من جميع الجهات ، عند ص في الشكل الاول (فيكون بُعدهُ عن ع $= \frac{\sqrt{٥^٢+٥^٢+٥^٢}}{٧} = ٨،٦$ تقريباً)

ولنفرض ان البعوضة طارت عن الشمعدان في خط مستقيم الى المصباح (ص) بمعدل سرعة ذراعين في الثانية . قامت الظهر تماماً ووصلت في الثانية ١،٨٧ بعد الظهر

فهنا حادث انتقال البعوضة عن الشمعدان الى المصباح . لم يتم هذا الحادث في الحال، بل اشغل مسافة واستغرق وقتاً في آن واحد . اي ان المسافة التي سلكتها البعوضة بين (ب) ←— (ص) يعبر عنها بسرعة البعوضة في الثانية مضروبة بعدد الثواني التي قضتها في اثناء الانتقال

والرقيب (ع) مضطر ان يدخل الوقت في الحساب لاستخراج موقع الانتقال هذا بالنسبة اليه . اذن . نعود الى الحساب ونحدد موقع قيام البعوضة عن الشمعدان وموقع وصولها الى المصباح بالنسبة الى الرقيب (ع) هكذا : —

	الموقع المكاني			الموقع الزماني	
	طول	عرض	عمق	الثانية	الساعة
موقع وصول البعوضة الى المصباح	٥ ،	٥ ،	٥ ،	١٤٨٧	١٢
موقع قيام البعوضة عن الشمعدان	٤ ،	٣ ،	٢ ،	٠٠٠٠	١٢
نطرح لنعرف فرق الابعاد بين القيام والوصول	١	٢	٣	١٤٨٧	٠٠

ذراعاً معدل السرعة ثوان

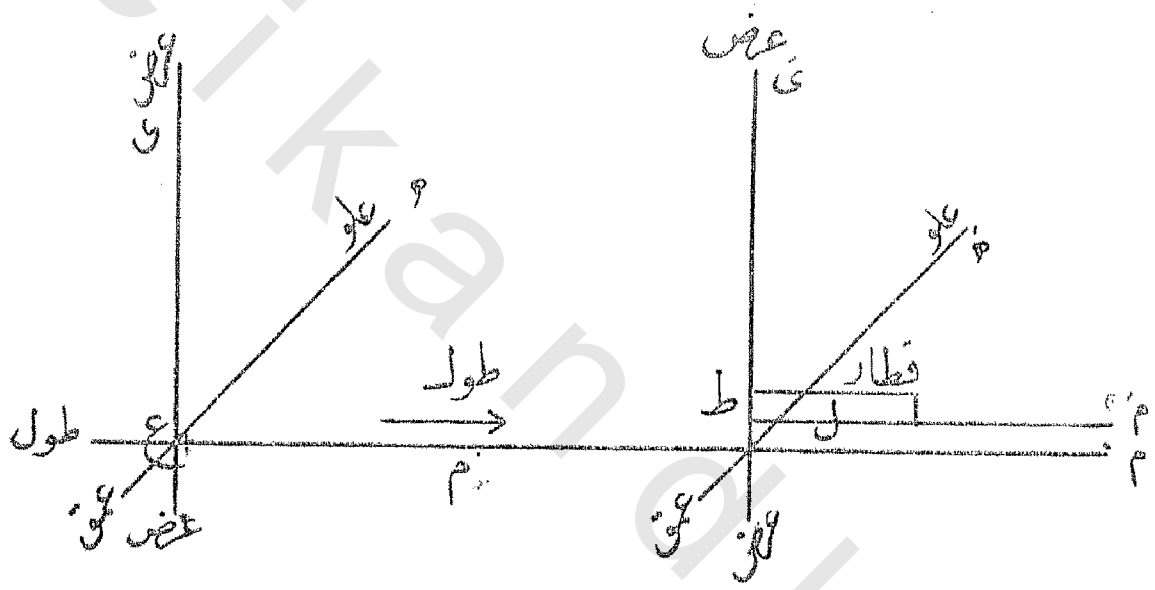
اذن المسافة بين ب ← ص = $\sqrt{١^٢ + ٢^٢ + ٣^٢}$ = ٣٧٥ = ٢ × ١٤٨٧

هكذا هو حساب الرقيب عند ع . وترى منهُ انهُ التزم لاستخراج موقع حادث الانتقال ان يدخل الوقت في الحساب كبعد رابع

بعد هذا الشرح البسيط صار في امكانك ان تتصوّر المدة (الزمانية) والمسافة (المكانية) في كل حركة (حادثة) مرتبطتين ارتباطاً وثيقاً كانهما لفظتان لمعنى واحد . لانك لا تستطيع ان تتصور اي حادث او اية حركة لجسم الاّ وانت تمثل في ذهنك سرعة ذلك الجسم تستغرق وقتاً لعبور مسافة . فلا يحضر لذهنك انتقال ذلك الجسم اية مسافة الاّ وتحضر في ذهنك ايضاً المدة التي قضاها ذلك الجسم في عبور هذه المسافة . لان الحركة تشغل المسافة والمدّة (المكان والزمان) معاً . فهي الوثاق الذي يوثقهما . رأيت ان البعوضة في انتقالها من الشمعدان الى المصباح اشغلت مسافة ومدّة في آنٍ واحد . فكان مستحيلاً عليها ان تقطع المسافة من غير ان تشغل وقتاً ، كما انهُ لا يحسب لها وقت اذا لم تتحرك حركة تشغل مسافةً ، فالحركة اذاً هي صلة زمانية مكانية بين حادثي قيام البعوضة ووصولها . هذه الصلة هي البُعد الرابع . ليس الوقت وحده البعد الرابع الذي نعنيه اذ لا وجود له . واما الوقت الذي تدمجهُ الحركة بالمسافة (الزمكان) هو البعد الرابع . ولذلك في كل حركة نعبّر عن المسافة بحاصل ضرب معدل السرعة في الثانية بعدد الثواني (او اي وحدة من وُحدات الوقت) فنقول (م) (المسافة) = س × ق (السرعة مضروبة بالوقت) . اذاً ، البعد الرابع هو « الحيز — الوقت » معاً كما ستراهُ في المعادلات الرياضية التي يفضي اليها توسعنا في البحث التالي

د — شأن النور في الابعاد الاربعة

مع ذلك لا يكتفي الرقيب بهذا الحساب لانهُ ناقص نظريًا كما سترى . هو ناقص لانهُ لم يحسب حساب النور الذي ينقل خبر الحادث الى عين الرقيب . اذ لا يخفى عليك ان النور الذي ينقل الخبر يستغرق وقتاً ايضاً (٣٠٠ الف كيلو متر في الثانية) . نعم ان مدة انتقال النور (من موضع قيام البعوضة الى موضع وصولها) الى عين الرقيب في غرفة ، لا تعتبر شيئاً البتة (الاّ نظريًا) ولكن في المسافات الفلكية السحيقة تكون المدّات دقائق وساعات وأياماً وسنين . فلا بد من ادخالها في الحساب . ونحن نضرب الامثال النظرية بالمسافات القصيرة تسهيلاً لفهم القارىء الحقائق العملية في المسافات العظيمة



(الشكل الثاني)

ولكي تتجلى حقيقة القضية للقارىء جيداً نضرب مثلاً آخر ونغفل منهُ حساب الارقام لكيلا نعنت ذهنهُ . ونستعيض عنها برموز الحروف . لقد فهم القارىء ان الموقع المكاني (الحيّزي) لا يمكن تحديده الاّ بتعامد ثلاثة متعامدات فيه بين الجهات الست . الطول من الشرق الى الغرب (مثلاً) ، والعرض من الجنوب الى الشمال ، والعلو من فوق الى تحت — فهم القارىء ذلك فلم يبق لزوم لتكرار الكلام فيه ولا للتمثيل بالغرفة او نحوها . يكفي بسط قضية أخرى بالرسم الثاني

لنفرض ان النقطة (ع) محطة سكة حديدية وفيها تتعامد الابعاد الثلاثة م.هـ.ي (كما ترى في الشكل الثاني) محددة لموضعها . وفيها قطار . تتعامد فيه ايضاً الابعاد الثلاثة :م . هَ يَ .

نرمز عن الوقت الذي قضاه القطار في رحلته بالحرف (ق) في نظر ناظر المحطة (ع) وبالحرف (قَ) في نظر سائق القطار . وسنرى ان الوقت في نظر الواحد يختلف عنهُ في نظر الآخر . ولنفرض ان القطار يسير بسرعة ١٠٠ متر في الثانية نرمز عنها بالحرف (س) . وهو يسير على خط الطول (م) وبنفس اتجاهه . ونفرض ان طول الخط الذي يسير عليه القطار يساوي (م) . والمسافة التي يسيرها القطار تساوي سرعته مضروبة بالوقت اي س × ق او س ق والمسافة التي لم يسرها بعد ، اي الباقية من الخط (م) ويُنتظر ان يسيرها ، تساوي مَ

فلما كان القطار في المحطة كانت متعامدات القطار وبالاحرى جميع ابعاده مطابقة لابعاد المحطة اي ان م = م هـ = هـ ي = ي ق = ق

ثم سار القطار دارجاً على الخط (م) الى ان وصل او عبر على النقطة (ط) بعد عدد كذا من الثواني رمزنا عنها بالحرف (ق) في نظر ناظر المحطة وبالحرف (قَ) في نظر السائق كما تقدم القول . وبناء عليه اصبحت المسافة م = مَ + س قَ في نظر ناظر المحطة

و مَ = م — س ق في نظر سائق القطار

وبقيت هـ = هـَ

« ي = يَ

سنرى « ق = ؟

« قَ = ؟

وهنا نوجّه نظر القارىء الى مسألة جوهرية وهي : في نظر ناظر المحطة القطار يبتعد عنهُ . وفي نظر سائق القطار المحطة تبتعد عنهُ ، كأنّ القطار ساكن والمحطة راحلة . فكلٌّ من ناظر المحطة وسائق القطار يحق له ان يعتبر نفسه ساكناً والآخر مبتعداً عنهُ . وما دامت المسافة بينهما تتسع وتتفرج فلا عبرة في ايهما السائر وايهما الساكن ، وانما العبرة في ان المسافة بينهما تتسع وان نظر كلٍّ منهما يختلف عن نظر الآخر كما سترى

ترى في ما تقدم ان مسألة الوقت دخلت حتماً في حساب انتقال القطار من المحطة الى نقطة (ط) كما ترى في المعادلتين الاولين من المعادلات الست السابقة . ولكن هل هذا الحساب صحيح وتام ؟ او هل هو كل شيء في مسألة البعد الرابع ، الوقت ؟ فلنرَ

ان الملمّ بنظرية النسبية لا يقتنع بهذا الشرح البسيط ، حتى ناظر المحطة ، ومثله سائق القطار ، اذا كان قد اطلع على تعليل مسألة تقلص الاجسام في اتجاه خط حركتها (كما شرحناها في فصلها الخاص) واقتنع بان هذا التقلص يتوقف على نسبة خاصة بين سرعة الجسم وسرعة النور كما تدل عليها عبارة لورنتز الرياضية (التي استخرجناها في ذلك الفصل) — اذا كان قد فهم جيداً هذه

القضية الخطيرة الشأن التي بنيت عليها نظرية النسبية فلا يقتنع بهذا الشرح البسيط

لا يقتنع الملم بنظرية النسبية بهذا الشرح البسيط لانه يعلم ان ناظر المحطة لما رأى القطار قد مرّ على نقطة (ط) — او لما بلغه بواسطة اشارة برقية او لاسلكية (راديو) ان القطار مرّ على نقطة (ط) — كان القطار قد تجاوز هذه النقطة الى نقطة (ل) (مثلاً) في أثناء انتقال الاشارة اليه، لان الاشارة استغرقت وقتاً . ولذلك اصبحت المسافة من (ل) الى (ع) تساوي في نظره المسافة من (ط) الى (ع) فكأنها تقلصت بقدر المسافة من (ل) الى (ط)

هـ — القيمة الرياضية للبعد الرابع

وقد فهمنا من مقال التقلص المشار اليه آنفاً ان مقدار هذا التقلص يساوي :

$$م \times \sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}} = م + س ق$$ وبالجبر لنا : $$م = \frac{م + س ق}{\sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}}}$$ هذا في نظر ناظر المحطة ع

وأما في نظر سائق القطار فان $$م = \frac{م - س ق}{\sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}}}$$

ومن هاتين المعادلتين يمكنك ان تستخرج بالجبر قيمة ق وق اي قيمة الوقت في نظر كلّ من ناظر المحطة وسائق القطار . فهي :

في نظر ناظر المحطة $$ق = \frac{ق + \frac{م س}{ن^2}}{\sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}}}$$

وفي نظر السائق $$ق = \frac{ق - \frac{م س}{ن^2}}{\sqrt{1 - \frac{س^2}{ن^2}}}$$

فترى في هذه المعادلات كيف ان الوقت يختلف عند الواحد عنه عند الآخر، كما ان المسافة

تختلف ايضاً (ولها بحث خاص تقدم شرحه) . ونرى ايضاً كيف ان الوقت اندمج مع المسافة فكوّن بُعداً رابعاً جعلتهُ سرعة النور وسرعة الجسم المتحرك يختلف في نظر الواحد عنه في نظر الآخر

***

ماذا نفهم مما تقدم ؟ لم نفهم مما تقدم ان الزمن بُعدٌ رابع فقط بل علمنا ايضاً امراً آخر عظيم الشأن . وهو ان الزمن او الوقت (او المدة) نسبيٌّ يتمدد في نظر المراقب البعيد كما ان المسافة نسبية تتقلّص في نظر المراقب البعيد

كان العلماء والفلاسفة قبل عهد « النسبية » يعتبرون الزمن او الوقت شيئاً مستقلاً قائماً بنفسه لا علاقة لهُ بالمكان او الحيز . وهو هو بعينه في نظر المراقبين للحوادث مهما تباعدت مواقعهم ومهما تراءت مواقع الحوادث عنهم . فكانوا يعتقدون ان الوقت الحادث في اي مكان بعيد هو نفس الوقت لراصد هذا الحادث أينما كان ومهما اختلفت ابعاد الحادث عنهُ

ولكن من مجرد التأمل في المعادلات المذكورة آنفاً يتضح لك ان الوقت لا وجود له ولا هو بالشيء المستقل القائم بنفسه . ما هو الاّ نتيجة فعل الحركة (الحادث) في الحيز . فهو مقياس للحركة فقط . ولما كان نظر الرقباء للحادث يختلف باختلاف ابعادهم عنهُ لان النور (او اي امواج كهربائية مغنطيسية) هو الوسيلة لنقل خبر الحوادث اليهم ، صار الوقت (الذي هو مقياس الحركة) ، في نظر الواحد منهم يختلف عنه في نظر الآخر حتماً كما تدل عليه المعادلات المذكورة آنفاً

اذاً الوقت (الذي هو بُعد رابع كما تقدم تبيانه) هو شيء نسبي ايضاً . وتتضح نسبيته جيداً في نظرية « التواقت » اي حدوث حادثين متباعدين في وقت واحد . وقد تقدم شرحها في الفصل السابع

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)

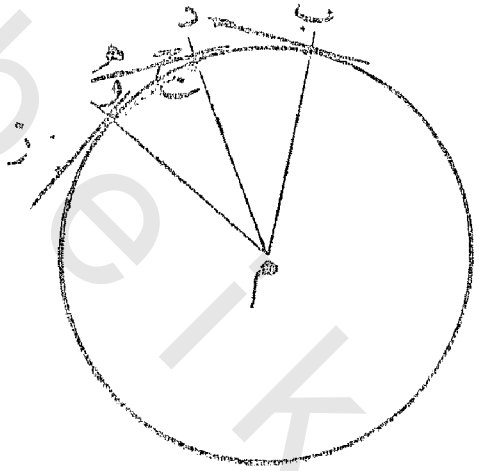
فحالته الاولى تسمى «الاستمرارية» Inertia. والقوة التي كانت له تسمى «قوة الاستمرار» والجسم نفسه يسمى المادة الاستمرارية Inertial Mass وحالته الثانية بعد طروء القوة الاخرى عليه تسمى «المسارعة» Acceleration والقوة الطارئة عليه تسمى «قوة المسارعة»

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

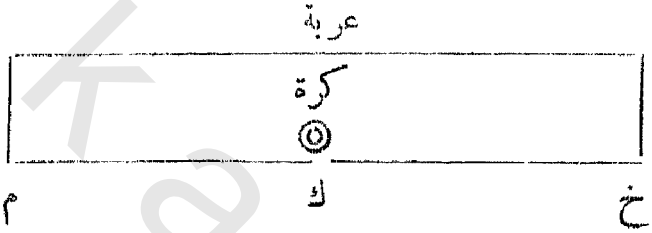
ب — هل يمكننا اكتشاف الاستمرارية او المسارعة

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

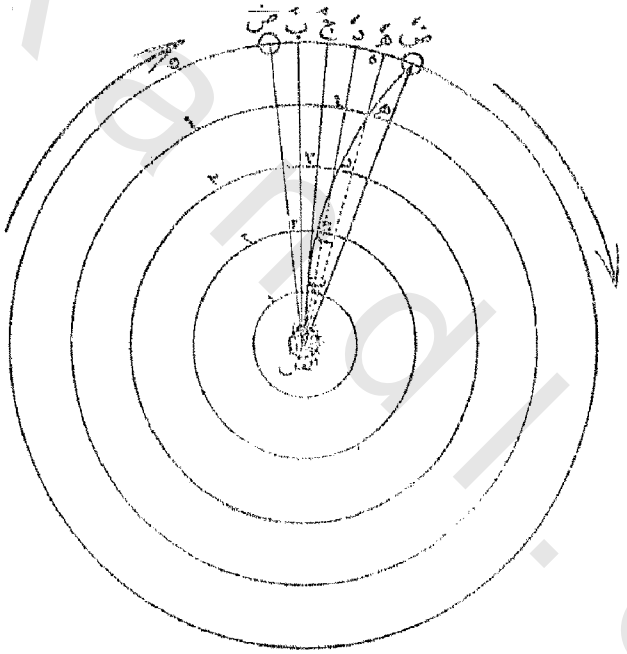
(وفي رأي هذا الضعيف ان الجاذبية ليست الا تموجاً اثيرياً كهرطيسياً والنور من جملة الامواج الكهرطيسية) ولتموج الاثير سرعة واحدة في كل مكان وزمان لان سرعة التموج تتوقف

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)

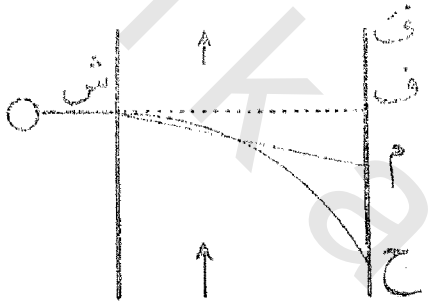
اذن يتضح مما تقدم ان تجذّب الجو الجاذبي يكون أشده على مقربة من المركز وأقله كلما كان أبعد عنهُ

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

---

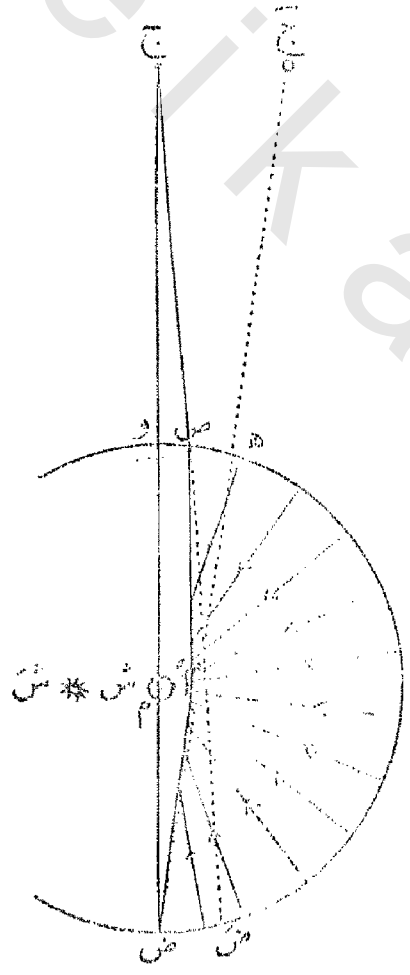
(١) هذه الظاهرة معروفة عند الفلكيين وتسمى « زيغاناً » Aberration

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

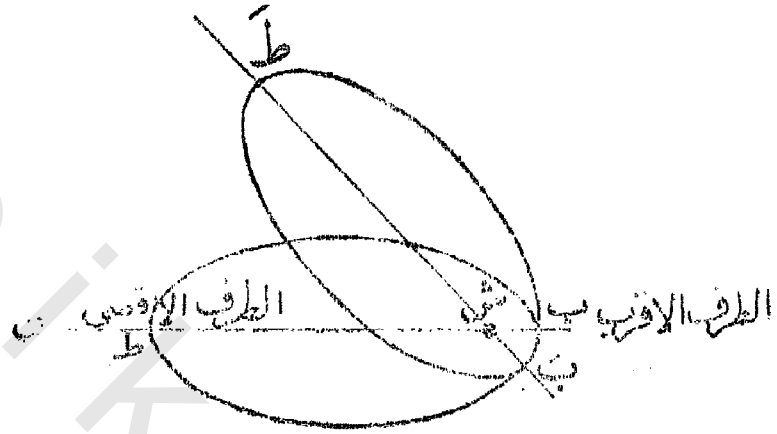
المسألة الثانية : هي مسألة حركة افلاك (مدارات) السيارات . فقد تقرر بناء على ناموس كبلر بشأن هذه الافلاك ان كل سيار يسير في فلك اهليلجي الشكل والشمس في احد محرقيه لا يتغير وضعه في الفضاء (l'Espace) . فهذا الناموس الذي وضعه كبلر استخرج نيوتن منه نظريته في الجاذبية (اي ناموسه) فكان هذا الاستخراج اعظم فوز 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

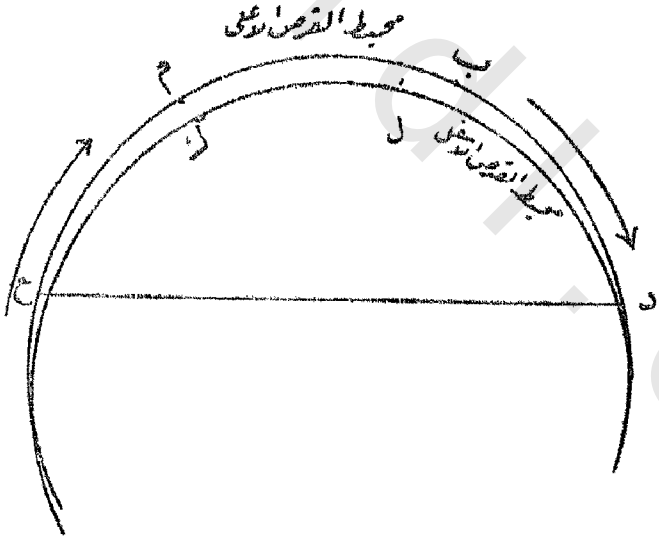
لنفرض نحن الارضيين ان هذا الشخص من عمالقة القرص الاسفل الثابت الذي لا يدور . ولكي يثبت قوله بالامتحان قاس كيلومتراً في محيط قرصه وجعل علامتين في طرفيه . ووقف عند طرفه الاول ورسم على القرص الاعلى الدائر علامة بواسطة طلاء ملون لكي يرى العلامة جيداً عن بعد كيلومتر . فلما رأى ان العلامة التي رسمها طابقت 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

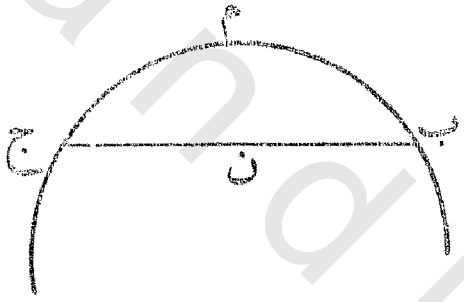
نحصر التمثيل في كرتنا الارضية بالرغم من انها لا تعد الاّ متناهية الصغر بالنسبة الى الكون الاعظم

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