الابعاد الاربعة

معنى (الحيز — الوقت) في النسبية

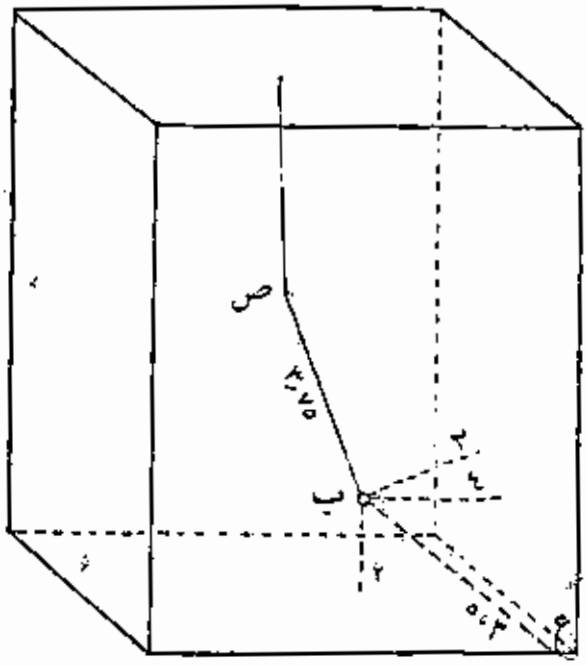
لفرنر الحراز

هوي الاستاذ فيرنر الحداد نظرية النسبية فقضى في دراستها سنتين . درس بضعة عشر مؤلفاً لكبار علمائها ، منها اثنان لاينشتين نفسه . ثم بسطها في كتاب بالعربية بسهل اسلوب مستطاع من غير استخدام الحسابات الرياضية الا عند الضرورة القصوى واضاف اليه ملحقاً رياضياً فريداً « النسبية الخاصة » من يشاء ان يطلع على النظرية من الوجهة الرياضية . ومن هذا المقال السهل التناول يرى القارىء ان الاستاذ حداد جعل نظرية النسبية الغامضة اوضح ما يمكن لافهام الجمهور

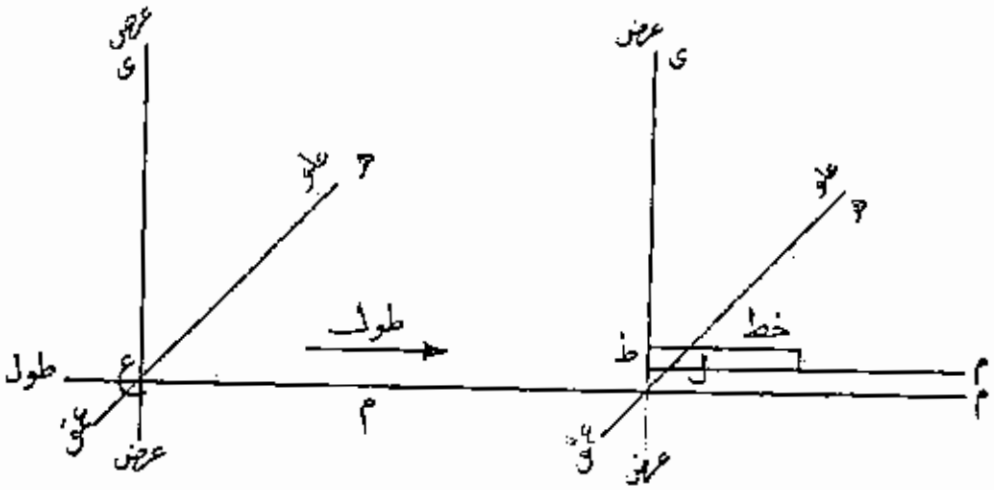
ربما كانت قضية الابعاد الاربعة اغرب قضايا النسبية وابعدها عن المألوف في اذهان البشر وادعاها للاستهجان . وقد زادها هُجنة الكتّاب الذين كتبوا عنها من غير ان يدرسوها ويفهموا المقصود منها فهماً صحيحاً . ففسّروا الابعاد بحدود الجسم الثلاثة : الطول والعرض والعمق (او الحيز او السماكة) . واضافوا الزمن اليها بعداً او حدّاً رابعاً باعتبار انه من رتبتها ، من غير ان يفسّروا سرّ هذه الاضافة . فبحسب هذا التفسير لابدع ان تبدو نسبة الوقت او الزمن (رابع الحدود) امراً مستهجناً يستنكره العقل وينبوعنهُ التصوُّر . ويمثلون على زعمهم هذا بقولهم : « لهذا الكتاب ، مثلاً ، حدود اربعة : طوله وعرضه وعمقه (او سماكتهُ) والوقت الذي هو فيه » . واذا سألتهم : مامعنى هذا الكلام وما علاقة الوقت الذي هو فيه بحدوده الثلاثة فلا يستطيعون ان يزيدوك تفسيراً . اجل . لا يستطيعون لان الصخافة لاتحتمل تفسيراً

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

واما نظرية النسبية فلا شأن لها بالحيز المفروض او الموهوم ولا بالجسم المادي الثابت . ولا تعترف بوجود حيّز معيَّن ثابت ولابوجود مادة ساكنة غير متحركة ، بل هي تذهب الى ان الحركة سُنّة اساسية في المادّة بمعنى ان كلّ ذرّة وكل جسم وكل جرم في الكون متحرك ولولا الحركة لكان عدماً . ولذلك لا معنى للحيز او المكان الاّ بما يشغله من المادة



الشكل الأول



الشكل الثاني

اصلاح خطأ جوهري

في مقال « الابعاد الاربعة » المنشور في متنطف ابريل الماضي صفحة ٤٤٤ للاستاذ نقولا الحداد وقع خطأ في رموز الشكل الثاني يجعل فهم شرح القضية متعذراً جداً على من يشاء ان يفهمها بجلاء . ولذلك نرجو من القارىء ان يصحح الرسم بقلمه فيضع فتحات على الحروف الرامزة عن « متعامدات » القطار التي الى اليمين في الرسم الاسفل الثاني هكذا :

يَ . هَ . مَ (ما عدا م السفلى)

خط . والصواب . قط . (رمز للقطار)

وصواب المعادلة الاخيرة في صفحة ٤٤٨

قَ — ق (الثانية بفتحة)

بعد هذا التصحيح يسهل على القارىء جداً فهم قضية الابعاد الاربعة

او من مفاعيلها كالتشمُّع والجو الكهربائي المغنطيسي والجو الجاذبي . وحيث لامادَّة ولا شيء من مفاعيل المادة فلا شيء يسمى حيِّزاً او مكاناً . وبعبارة اخرى (غير منطقية) اذا خلا الحيز من مادة او من مفاعيلها كان عدماً . قلت «غير منطقية» لانه لاوجود لحيز خال من المادة . هو العدم كما قلنا

يستفادمما تقدَّم ان النسبية لا تعنى بالاجسام ولا بالحيز الموهوم المفروض ، وانما هي تعنى بالحركات الحادثة (الحوادث) . ولذلك اذا حدَّدت موقع حادثة او اية حركة حدَّدتها بالابعاد الاربعة : ثلاثة منها مكانية (حيزية) والرابع زماني . باعتبار ان تحديده لا يتم الاَّ باقتران الزمان بالمكان . ولكي تنجلي هذه القضية النسبية لقارىء وتنقشع من ذهنه تلك الهجنة التي غشّى بها على الابصار الكتّاب المتسرّعون بلا تحقيق . نشرح القضية فيما يلي مبتدئين بابسط وجه من وجوهها

* * *

افرض او تصوَّر انك في غرفة مكعَّبة ، كلٌّ من طولها وعرضها وارتفاعها عشر اذرع ، وان هذه الغرفة هي كلُّ الكون . وتصوَّر ان في جانب منها (منضدة) طاولة ، وعلى الطاولة شمعدان ، وعلى قمة الشمعدان عند ب في الشكل الاول ذبابة او بعوضة : وافرض انك في زاوية الغرفة السفلى عند ع رقيباً يراقب البعوضة . فاذا يفعل الرقيب لتحديد موقع البعوضة ؟

افرض انه يقيس اقرب مسافة من موضع البعوضة الى الارض وهي الخط العمودي الساقط منها الى الارض ، ولنفرض انه وجده ذراعين . فهل يكفي لتحديد موضع البعوضة بالقول انه يعلو عن الارض ذراعين او يسفل عن السقف ٨ اذرع ؟ كلاَّ ، 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 ؟ كلاَّ ؛ 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 (المعامد 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 يتحدَّد موضع البعوضة حينئذٍ ؟ نعم . لانه ليس في تلك الغرفة الاَّ نقطة واحدة لها هذه الابعاد الثلاثة المتعامدة فيها عن جهات الغرفة . وهي موضع البعوضة

اذاً ، لابد لتحديد أي نقطة في أي حيّز من ابعاد ثلاثة (مكانية) متعامدة كل واحد منها عمودي على الآخرين في تلك النقطة . ولا يمكن تحديد موقعها ببعدين فقط . وبالاحرى لا يمكن ببعد واحد ، وهذا ما يسمونه في اصطلاح النسبية نظام المتعامدات الديكاري The Cartisian Co-ordinate System نسبة الى الفيلسوف ديكارت 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 . واما قبل الانتقال هذه الخطوة لابدَّ من شرح مسألة اخرى لا غنى عنها لتمام البحث في موضوع النسبية . وسيرى القارىء خطورتها

قلنا ان المراقب مقيم عند ع . ولابد 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 ← ب = $\sqrt{٢^٢+٣^٢+٤^٢}$ = ٥،٣ . نتقدم الآن الخطوة الاخرى في البحث

***

لنفرض ان في وسط الغرفة تماماً مصباحاً معلقاً على بعد ٥ اذرع من جميع الجهات، عند ص في الشكل الاول (فيكون بُعدهُ عن ع = $\sqrt{٥^٢+٥^٢+٥^٢}$ = 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 اشتمل مسافةً 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 مضطرٌّ ان يُدخل الوقت في الحساب لاستخراج موقع الانتقال هذا بالنسبة اليهِ . اذن . نعود الى الحساب ونحدد موقع قيام البعوضة عن الشمعدان وموقعه 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	١،٨٧	١٢
موقع قيام البعوضة عن الشمعدان	٤	٣	٢	٠٠٠	١٢
نطرح لنعرف فرق الابعاد بين القيام والوصول	١	٢	٣	١،٨٧	٠٠

ذراعاً معدل السرعة ثوان

اذن المسافة بين ب — ص = $\frac{٢١ + ٢٢ + ٢٣}{٧}$ = ٣٧٥ × ٢ × ١٧٨٧

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

بعد هذا الشرح البسيط صار في امكانك ان تتصوَّر المدَّة (الزمانية) والمسافة (المكانية) في كل حركة (حادثة) مرتبطتين ارتباطاً وثيقاً كأنهما لفظتان لمعنى واحد . لانك لا تستطيع ان تتصور اي حادث او اية حركة لجسم الاَّ وانت تمثل في ذهنك سرعة ذلك الجسم تستغرق وقتاً لعبور مسافة . فلا يحضر لذهنك انتقال ذلك الجسم اية مسافة الاَّ وتحضر في ذهنك ايضاً المدة التي قضاها ذلك الجسم في عبور هذه المسافة . لان الحركة تشغل المسافة والمدَّة (المكان والزمان) معاً . فهي الوثاق الذي يوثقهما . رأيت ان البعوضة في انتقالها من الشمعدان الى المصباح اشغلت مسافة ومدَّة 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 لهُ . واما الوقت الذي تدمجهُ الحركة بالمسافة هو البعد الرابع . ولذلك في كل حركة نعبّر عن المسافة بحاصل ضرب معدل السرعة في الثانية بعدد الثواني (او اي وُحدة من وحدات الوقت) فنقول م (المسافة) = س × ق (السرعة مضروبة بالوقت) . اذاً ، البعد الرابع هو «الحيز — الوقت» معاً كما سترانهُ في المعادلات الرياضية التي يفضي اليها توسعنا في البحث التالي

***

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

ولكي تنجلي حقيقة القضية للقارىء جيداً نضرب مثلاً آخر ونعدل عنهُ حساب الارقام لكيلا نعنت ذهنهُ . ونستعيض عنها برموز الحروف . لقد فهم القارىء ان الموقع المكاني

(الحيّزي) لا يمكن تحديده الاَّ بتعامد ثلاثة متعامدات فيهِ بين الجهات الست . الطول من الشرق الى الغرب مثلاً) ، والعرض من الجنوب الى الشمال ، والعلو من فوق الى تحت — فهم القارىء ذلك فلم يبقَ لزوم لتكرار الكلام فيهِ ولا لتمثيل بالغرفة او نحوها . يكفي بسط قضية اخرى بالرسم التالي

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

نرمز عن الوقت الذي قضاه القطار في رحلتهِ 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 عليهِ 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 م

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

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. وبناءً عليه اصبحت المسافة م = م + س قَ في نظر ناظر المحطة

و مَ = م — س ق في نظر سائق القطار

وبقيت هـ = هَ

« ي = يَ

« ق = ؟ ؟ سنرى

« قَ = ؟ ؟

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

هذه نظرية دقيقة من نظريات النسبية قد لا يطمئن لها تصوُّر القارىء الا بعد شرح كاف . وبالاسف ليس هنا متسع لهذا الشرح الآن . وربما عدت اليه في حين آخر

نرى فيما تقدم ان مسألة الوقت دخلت حتماً في حساب انتقال القطار من المحطة الى نقطة ط كما نرى في المعادلتين الاوليين 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 مقتطف فبراير ١٩٣٣) واقتنع بان هذا التقلص يتوقف على نسبة خاصة بين سرعة الجسم وسرعة النور كما تدل عليها عبارة لورنتز الرياضية (التي استخرجناها في ذلك المقال) — 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 اثناء 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

***

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

$$\text{م} \times \left| 1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ن}^2} \right|^{\frac{1}{2}} = \text{م}' + \text{س ق}' \text{ وبالجبر لنا م} = \frac{\text{م}' + \text{س ق}'}{\left| 1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ن}^2} \right|^{\frac{1}{2}}}$$

هذا في نظر ناظر المحطة ع

وأما في نظر سائق القطار فان م $= \dfrac{\text{م} - \text{س ق}}{\left| 1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ن}^2} \right|^{\frac{1}{2}}}$

ومن هاتين المعادلتين يمكننا (لو يسمح المقام) ان نستخرج قيمة ق وق اي قيمة الوقت في نظر كلّ من ناظر المحطة وسائق القطار . فهي :

$$\text{في نظر ناظر المحطة ق} = \frac{ق + \frac{م س}{ن^٢}}{\sqrt{١ - \frac{س^٢}{ن^٢}}}$$

$$\text{وفي نظر السائق ق}' = \frac{ق - \frac{م س}{ن^٢}}{\sqrt{١ - \frac{س^٢}{ن^٢}}}$$

فنرى في هذه المعادلات كيف ان الوقت يختلف عند الواحد عنه عند الآخر كما ان المسافة تختلف ايضاً (ولها بحث خاص) ونرى ايضاً كيف ان الوقت اندمج مع المسافة فكوّن بُعداً رابعاً جعلته سرعة النور وسرعة الجسم المتحرك يختلف في نظر الواحد عنه في نظر الآخر. (يتضح هذا جيداً في البحث في نسبية التواقت)

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 يتعدد في نظر المراقب البعيد كما ان المسافة نسبية تتقلص في نظر المراقب البعيد

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

ولكن من مجرد التأمل في المعادلات المذكورة آنفاً يتضح لك ان الوقت لا وجود له ولا هو بالشيء المستقل القائم بنفسه. ماهو 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 شرح نظرية «التواقت» اي حدوث حادثين متباعدين في وقت واحد. وهي من أهم قضايا النسبية وافكهها. وربما عدت اليها في مقال آخر