المحاضره الخامسة – الفيزياء النسبية

ظاهرة علمية لم تفسر إلا من خلال التأخير الزمني

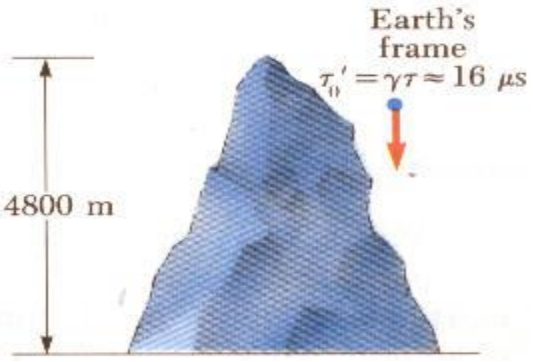
انحلال الميونات (الميزونات):

التأخير الزمني ظاهرة حقيقية وتم اختبار صحتها من خلال العديد من التجارب العملية. ونستشهد هنا بالتجربة التي جرت على جسيمات أولية تدعى ميونز muons (الجسيمات الأولية مثل الألكترون والبروتون والنيوترون والكوارك وجسيمات بيتا).

الميون (أو الميزون) هو جسيم غير مستقر من الجسيات الأولية يحمل شحنة تساوي شحنة الألكترون وكتلته تعادل 207 كتلة الألكترون (يتحول إلى الكترون بعد فترة زمنية محددة). تنتج هذه الميونات في طبقات الغلاف الجوي العليا نتيجة لامتصاص الغلاف الجوي الأشعة الكونية. هذه الميونات لها متوسط عمر يساوي ($t^{\backslash} = 2*10^{-6}$ s) كما قيست في المختبر وسرعة تقريبا بحدود ($2.994*10^{8}$ m/s) أي(0.998 c) ، أي أن المراقب (العالم في المختبر) الذي حدد زمن بقاء هذه الجسيمات كان ثابت بالنسبة لتلك الجسيمات.

فإذا علمنا أن هذه الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء ومن عمر بقائها يمكن حساب المسافة التي يمكن ان تقطعها في الغلاف الجوي باتجاه الكرة الارضية. وهذه المسافة تقدر بـ 600 متر وهذه المسافة قصير جدا بالنسبة لسمك الغلاف الجوي ولا يمكن بالتالي من أن تصل هذه الجسيمات إلى سطح الأرض.

$y = v\, t^{\backslash} = 2.994*10^{8}$ m/s X $2*10^{-6}$ s = 600 m



المراصد الأرضية رصدت وجود هذه الميونات على سطح الأرض.. السؤال الآن كيف وصلت هذه الميونات إلى سطح الأرض وهذا يعني أنها قطعت مسافة 4800 متر مما يتعارض مع كون عمرها ($2*10^{-6}$) ثانية تقريبا.

ظاهرة التأخير الزمني لديها الحل في تفسير وصول هذه الجسيمات لسطح الأرض حيث أن الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن زمن بقائها يكون أطول بالنسبة للمراقب على الأرض وبالتعويض في معادلة تقلص الطول (معادلة 4) يكون عمر الميونات بالنسبة للمراقب على الأرض 16 ميكروثانية. **وهذا يفسر وصول تلك الميونات إلى سطح الأرض.**

$$\frac{y}{y'} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow y' = \frac{y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{600m}{\sqrt{1-\frac{(0.998c)^2}{c^2}}} = \frac{600m}{\sqrt{1-\frac{0.996c^2}{c^2}}} = \frac{600m}{\sqrt{1-0.996}}$$

$$= \frac{600m}{\sqrt{0.004}} = \frac{600m}{0.063} = 9500m$$

وعليه بالرغم من قصر عمر الميونات يمكن لهذه الجسيمات ان تصل سطح الارض من ارتفاعات عالية جدا.

تجارب أخرى جرت على الميونات في العام 1976 في مختبرات CERN بجنيفا وذلك بتعجيل ميونات منتجة في المختبر إلى سرعات تصل إلى 99% من سرعة الضوء وتم قياس عمر بقاء هذه الميونات قبل أن تتحول إلى الكترونات وكانت نتائج القياسات منطبقة تماماً مع معادلة التأخير الزمني.

نسبية اللحظة

لاحظنا في الموضوع السابق أن الزمن نسبي ويعتمد على محاور اسناد المراقب بالنسبة للحدث كما وان المراقب المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء بالنسبة للحدث يجد أن الزمن المقاس يتباطئ عنه بالنسبة للمراقب الثابت بالنسبة للحدث. وهذا يعود إلى الفرضية الثانية للنظرية النسبية في ثبات سرعة الضوء في كافة الاتجاهات. في الموضوع الحالي سوف نتعرض إلى موضوع جديد وهو نسبية اللحظة أو الآنية.. فكثيرا ما نقول أن حدثين ما قد حدثا في نفس اللحظة وهذا لا يختلف عليه اثنان كان يرصدا هذين الحدثين. ولكن آينشتاين من خلال نظريته النسبية يبين لنا أن ذلك نسبياً أيضاً فحدثين آنيين بالنسبة لمراقب (الفارق الزمني بينهما صفر) قد يكون غير ذلك بالنسبة لمراقب متحرك. ولتوضيح ذلك نأخذ المثال التالي:

مثال

لنفترض قطار طويل جدا يبلغ طوله (5400000 كيلومتر) يسير في خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ (240000 كيلومتر في الثانية). ولنفترض ان مصباحاً ضوئيا اوقد في منتصف القطار في اللحظة الزمنية التي تقابل فيها المراقب O' داخل القطار والمراقب O على الرصيف. ولنفترض أنه يوجد باب الكتروني

في مقدمة القطار وباب آخر في مؤخرة القطار يفتحا تقائيا عند وصول النبضة الضوئية. ما الذي سيراه كلا من المراقب O' داخل القطار والمراقب O خارج القطار.

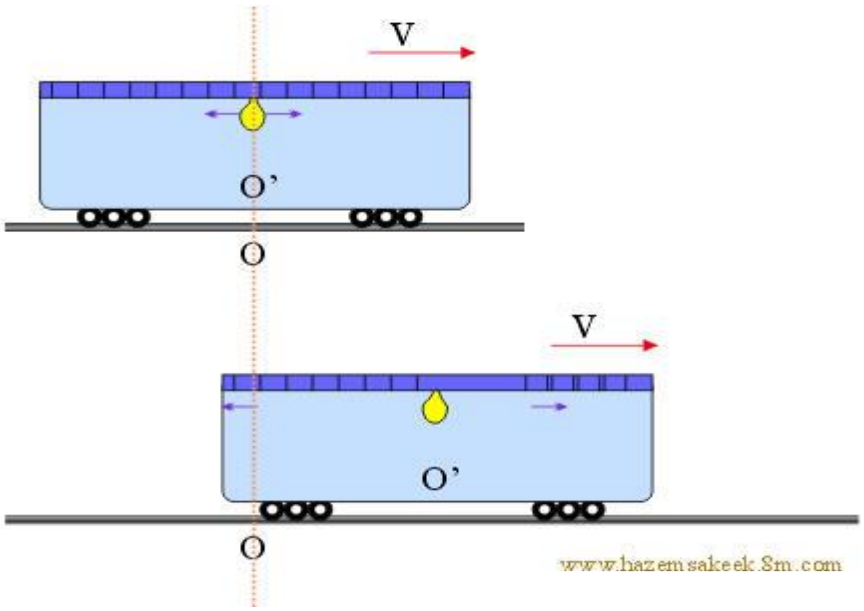
بما أن الضوء ينتشر في الفراغ بسرعة ثابتة وهي 300000 كيلومتر في الثانية لكل المراقبين مهما بلغت سرعتهم بالنسبة لبعضهم البعض أو بالنسبة للضوء.

بداية الحدث انطلاق الضوء من المصباح المثبت في وسط القطار.

نهاية الحدث وصول الضوء إلى باب القطار الأمامي والخلفي.

وصف ما يراه المراقب الثابت $O^{\backslash}$:

حيث أن المراقب $O^{\backslash}$ هو المراقب الثابت بالنسبة للحدث لأن مكانه لم يتغير بين بداية الحدث ونهايه، لذا فإنه سيرى أن الباب عند مقدمة العربة سيفتح في نفس الوقت الذي يفتح فيه الباب عند مؤخرة العربة أي ان البابين يفتحا في نفس اللحظة بالنسبة للمراقب $O^{\backslash}$. ويقيس الفترة الزمنية لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي بقسمة نصف طول القطار على سرعة الضوء فتكون النتيجة تسعة ثواني وكذلك الحالة للزمن المقاس للنبضة الضوئية لتصل إلى الباب الخلفي. وبهذا يرى المراقب $O^{\backslash}$ أن البابين يفتحا معا بعد 9 ثواني.....(لماذا؟)



قياسات المراقب المتحرك O :

المراقب O يرى الحدث بطريقة مختلفة فالضوء ينتشر بالنسبة له بسرعة ثابتة (300000 كيلومتر في الثانية) ولكن الباب الخلفي يقترب من الضوء في حين الباب الأمامي يبتعد عنه بسرعة القطار (240000

كيلومتر في الثانية). ولهذا يرى المراقب O أن الباب الخلفي يفتح أولاً ثم بعد فترة زمنية يفتح الباب الأمامي دلالة على أن الضوء وصله. وبالتالي لا يكون حكمه على الحدث أنه في نفس اللحظة.

المراقب O يقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الخلفي =

زمن الوصول للباب الخلفي $= \frac{5400000/2}{300000+240000} = 5\sec$

ويقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي =

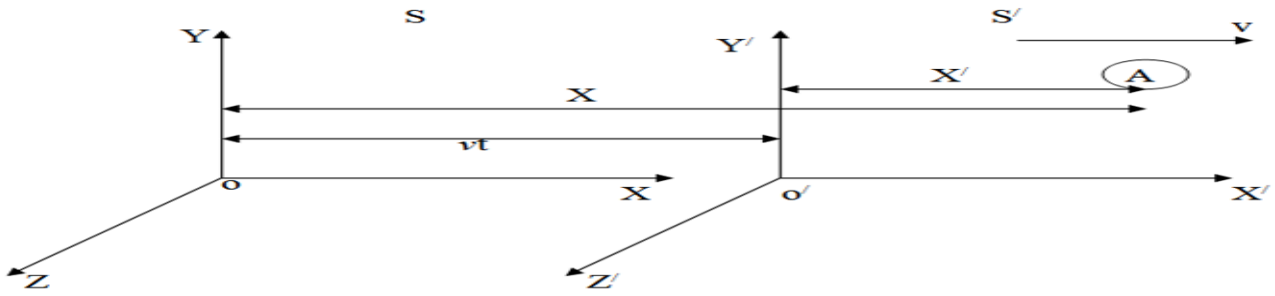
زمن الوصول للباب الأمامي $= \frac{5400000/2}{300000-240000} = 40\sec$

إذا فسيبدو للمراقب O على الرصيف أن بابي القطار لم يفتحا في نفس اللحظة. ففي البداية سيفتح الباب الخلفي للقطار بعد زمن 5 ثواني من انطلاق النبضة الضوئية بينما الباب الأمامي فلن يفتح إلا بعد مضي (45-5= 40) 40 ثانية.

وبهذا فإن الحدثين المماثلين، أي فتح بابي القطار الامامي والخلفي لمراقب يكونا في آن واحد. أما لمراقب آخر فإنهما يبدوان منفصلين بفترة زمنية.

تحويلات غاليلو

تسمى المعادلات التي تربط بين احداثيات البعد او الزمن في احداثيان يتحركان بالنسبة لبعضهما بسرعة ثابتة بتحويلات غاليلو او التحويلات النيوتنية.



نفترض اطاران مرجعيان ساكنان S و’S والنظام ’S يتحرك بسرعة منتظمة v في الاتجاه الموجب لمحور x كما موضح في الشكل. فاذا وقع حدث معين (انفجار مثلا) عند النقطة A وان هناك مراقبين رصدا هذا الحدث بحيث بدأ الزمن عندما كانت ’O منطبقة على O (t=0) وبذلك يمكننا كتابة المعادلات الاتية بين الاحداثيين S,S’

$$x' = x - vt \qquad (1)$$

$$y' = y \qquad (2)$$

$$z' = z \qquad (3)$$

$$t' = t \qquad (4)$$

وتسمى هذه المعادلات بتحويلات الاحداثيات لغاليلو. ويلاحظ ان احداثي الزمن واحد في الاطارين المرجعيين حيث ان الزمن في الميكانيكا الكلاسيكية ثابت ولا يتغير بتغير الاطر الساكنة ومن ثم فان الفترات الزمنية بين وقوع الاحداث تكون ثابتة ولا تتغير بتغيرالاطر. وقد يبدو ذلك منطقيا بالنسبة للسرعات العادية الا ان ذلك الافتراض يكون خاطئا اذا كانت السرعة تقترب من سرعة الضوء وهذا هواهم تعارض بين المفاهيم الكلاسيكية والمفاهيم الحديثة التي اقرتها النظرية النسبية لانشتاين.

$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - v \qquad (5)$$

$$\frac{dy'}{dt} = \frac{dy}{dt} \qquad (6)$$

$$\frac{dz'}{dt} = \frac{dz}{dt} \qquad (7)$$

ويلاحظ من العلاقة 5 ان السرعة كما يرصدها المراقب S هي نفس مقدار السرعة التي يرصدها المراقب S' مضاف اليها السرعة النسبية v بين الاطارين القصوريين. وقد تعد هذه النتيجة عادية في حياتنا اليومية، الا ان هذه النتيجة قد ادت الى تعارض كبير عندما استخدمت للموجات الكهرومغناطيسية. ويمكن القول ان تحويلات غاليلو لا تشترط وجود مكان مطلق او زمان مطلق لكنها تفصل وجود الزمان عن المكان. كما انها نجحت في برهنة العديد من القوانين مثل قانون بقاء كمية الحركة والطاقة وقانون نيوتن الثاني الا انها فشلت في تحقيق معادلات ماكسويل.

الاسس والمضامين المفاهيمية لميكانيك نيوتن:

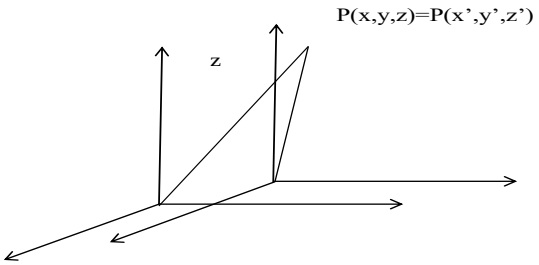
يقوم ميكانيك نيوتن على جملة من الأسس المفروضة ضمنيًا . وأول هذه الأسس وجود زمان مطلق ومكان مطلق. فالقوانين الثلاثة للحركة تتحدث عن سرعة و تسارع ومعدل زمني للتغير لكنها لم تحدد مرجع المكان ولا مرجع الزمان الذي يدخل في حساب هذه السرع وذلك التسارع. وهذه القوانين لا تقول لنا ماذا يحصل لو كان لدينا جسيم واحد فقط في فضاء خالي تماما من أية مادة. وهل لوجود مثل هذا الجسم معنى؟ والحقيقة أن قوانين نيوتن في الحركة تفترض وجود مكان ساكن سكونًا مطلقًا وهو مواضع النجوم البعيدة (الثابتة نسبيا). ثم افترضت لاحقا أن الأثيرالكوني هوالذي يصلح أن يكون بمثابة المكان المطلق. كما وتفترض قوانين نيوتن وجود زمن مطلق يجري بالتساوي في أرجاء الكون دون أن يتأثر بأي شيء آخر حوله. هذه المسألة تثير قضية الإطرالمرجعية Frame of Referenceللحركة .

معنى الحركة والسكون والاطار المرجعي:

من المعروف لدينا ان الجسم الذي لا تؤثر عليه قوى خارجية يكون في حالة سكون. الا ان الجسم الذي لا تؤثر عليه قوى خارجية يمكن ان يوجد ليس فقط في حالة سكون بل ايضا في حالة حركة منتظمة على خط مستقيم. وتسمى هذه القاعدة في الفيزياء بقانون القصور الذاتي (القانون الاول لنيوتن) والذي ينص على ان الجسم الساكن يظل ساكنا او متحركا بسرعة منتظمة ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تؤثر على حالته. الا ان هذا القانون يبدو غير واضح في حياتنا اليومية بسبب وجود قوة الاحتكاك التي تؤثر على الاجسام المتحركة.

اما الاطار المرجعي فهو الاطار الذي يمكننا وصف حدث فيزيائي من خلاله، ومن خلال دراستنا السابقة نجد ان جميع قوانين الميكانيكا النيوتنية صالحة لكل الاطر المرجعية الساكنة. والاطار المرجعي الساكن عكسيا Inertial Frame of Reference هو من ينطبق عليه قانون نيوتن للحركة. ومعنى هذا ان اي نظام يسير بسرعة منتظمة بالنسبة لنظام اخر ساكن يعتبر ايضا نظاما ساكنا. ومن المستحيل عمليا الحصول على اطار مرجعي قصوري حقيقي تماما لان ذلك يتطلب فراغ خالي من المادة ومعزول عن اي كتلة. وعليه يمكن القول ان الاطر المرجعية هي أية نقاط في الفضاء معرَّ فة بدلالة الإحداثيات المكانية عند زمن معين . والإحداثيات المكانية هي التي يرمز لها بالمحاور المكانية المتعامدة (x, y, z) أما الزمان فيرمز له t. عند أي لحظة زمانية يمكن تعريف الاطار المرجعي Sبدلالة هذه المحاور المكانية الثلاثة والزمن t وأية نقطة يمكن تعريفها مكانيا وزمانيا بموجب هذا الإطارالمرجعي بالاحداثيات الاربعة (x,y,z,t).

الشكل 1: الاطار المرجعي



يمكن أن يكون هذا الاطار المرجعي Sرصيف الشارع. ويمكن تعريف احداثيات أية نقطة في هذا المرجع على أنها إطار مرجعي آخر. مثلا سيارة تتحرك في الشارع نفسه على خط مستقيم وبسرعة ثابتة vهذه السيارة يمكن أن تمثل إطارًا مرجعيًا آخر، نسميه ′ Sيتألف من المحاور (x', y', z', t). وهذا الاطار المرجعي المتحرك بسرعة ثابتة يسمى اطار قصوري Inertial Frame.