Inertial Reference Frame
إطار المرجع القصوري

الإطار القصوري هو عبار عن إطار تتحقق فيه قوانين نيوتن

وتحديدا الإطار القصوري هو اي إطار يتحرك فية جسيم ما معزول في خط مستقيم بسرعة ثابتة

إفترض نيوتن أن إطار المرجع المعرّف بنجم ثابت عبارة عن إطار قصوري

سؤال: في أي من الإطارات المرجعية لاتتحقق قوانين نيوتن؟؟
جواب: في الإطارات المتسارعة.

Galileo's Transformations
تحويلات جاليليو

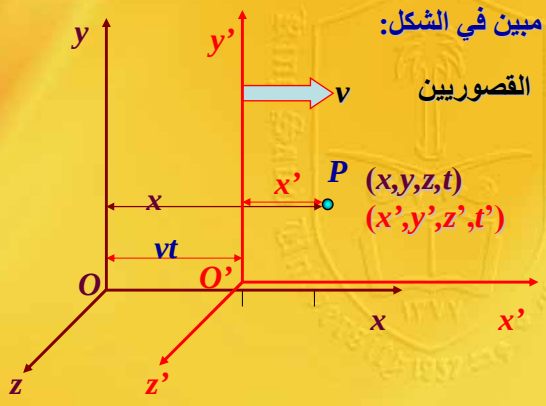
know what happened in one frame, can tell what happened in another

نفترض أننا عملنا قياسات في احد الإطارات المرجعية (مثل سرعة الرجل بالنسبة الى عربة القطار) ونريد أن نغيّر (نحوّل) هذه القياسات الى غطار مرجعي آخر (مثل سرعة الرجل بالنسبة لقضبان السكة الحديدية)

لنفترض كذلك أن الرجل يقف على سلم عربة القطار وقفز من العربة وهي تسير. تكون سرعته في هذه اللحظة بالنسبة لقضبان السكة الحديدية أكثر أهمية من سرعتة الصغيرة بالنسبة الى العربة

إن عمل هذه التحويلات سهلاً في فيزيا جاليلو ونيوتن وتسمي بالفيزياء التقليدية (classical physics)

نفترض أن أحد الإحداثيات (x,y,z) تقع في النظام القصوري S وكذلك إحداثيات أخرى (x',y',z') تقع في النظام القصوري S' والذي يتحرك بسرعة v في إتجاه xx' بالنسبة الى النظام S كما هو مبين في الشكل:



ملاحظة : O و O' للنظامين القصوريين تكون منطبقتان عند $t=t'=0$

نفترض أن أحد الإحداثيات لظاهرة ما تحدث عند النقطة P والتى لها إحداثيات (x,y,z,t) و (x',y',z',t') في النظامين القصوريين S و S' على التوالي

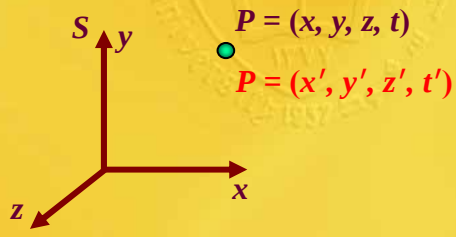
إشارة للشكل السابق نجد أن هذه الإحداثيات ترتبط بمعادلات تحويلات إحداثيات جاليليو:

للنقطة P في الإطار S :

$P=(x,y,z,t)$

وفي الإطار الآخر S' :

$P=(x',y',z',t')$



شروط تحويلات جاليليو:

- توازي المحاور
- S' له سرعة ثابتة (في إتجاه محور x) بالنسبة للراصد في الإطار S
- يكون الزمن (t) لجميع الراصدين قيمة غير متغيرة أساسية أي أن الزمن له نفس القيمة في جميع الإطارات القصورية

$$x = x' + vt \qquad y = y' \qquad z = z' \qquad t = t'$$

للحصول على التحويلات العكسية:
نستبدل v– ب v+
والكميات ذات الشرطة بكميات بدون شرطة
كذلك العكس

$$x' = x - vt \qquad y' = y \qquad z' = z \qquad t' = t \qquad (1)$$

مع ملاحظة أنه إذا كان t=0 و t'=0 فإن x=x'

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 5

تحويلات السرعة والتسارع لجاليلو:

$$\frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} + v \qquad \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \qquad \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{dt}$$

Or

$$u'_x = u_x + v \qquad u'_y = u_y \qquad u'_z = u_z \qquad (2)$$

$$\frac{d^2x'}{dt'^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad \frac{d^2y'}{dt'^2} = \frac{d^2y}{dt^2} \qquad \frac{d^2z'}{dt'^2} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

Or

$$a'_x = a_x \qquad a'_y = a_y \qquad a'_z = a_z$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{a}' = \vec{a}} \qquad (3)$$

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 6

من الممكن إثبات أن المعادلات التي تصف ظاهرة في إطار مرجعي لاتتغير من حيث شكلها عند تحويلها الى إطار مرجعي آخر بإستخدام تحويلات جاليليو.

وكمثال على ذلك نفترض أن مركبات القوة F تؤثر على جسم كتلته m عند النقطة P في النظام S . يمكن كتابة القوة على الشكل :

$$F_x = m\frac{d^2x}{dt^2} \;,\; F_y = m\frac{d^2y}{dt^2} \;,\; F_z = m\frac{d^2z}{dt^2} \qquad (4)$$

وباستخدام النتيجة السابقة (على إفتراض أن الكتلة لاتتغير) نجد أن شكل القوة عند النقطة P في النظام S' تكون على الصورة :

$$F'_x = m\frac{d^2x'}{dt'^2} \;,\; F'_y = m\frac{d^2y'}{dt'^2} \;,\; F'_z = m\frac{d^2z'}{dt'^2} \qquad (5)$$

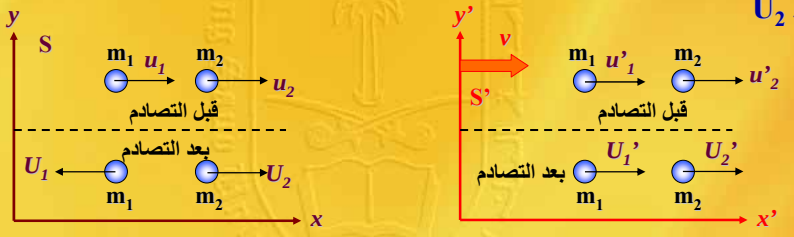
هذا يدل على أن القانون الثاني (شكل المعادلات) لنيوتن لم يتغيير بواسطة تحويلات جاليليو .

وينص مبدأ النسبية لنيوتن على أنه لجميع الأنظمة القصورية التى في حالة حركة نسبية منتظمة ، تكون معادلات الحركة ثابتة لاتتغير (invariant).

عموما فإن جميع القوانين في الميكانيكا التقليدية ثابتة ولاتتغير عند تطبيق تحويلات جاليليو.

مثال:

إفترض أن هناك تصادم بين كتلتين m_1 و m_2 تتحركان بسرعة u_1 و u_2 في إتجاه محور x في النظام القصوري S وبعد التصادم تكون سرعتيهما في إتجاه x هما U_1 و U_2



من قوانين حفظ كمية الحركة والطاقة الحركية نجد ان:

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1U_1 + m_2U_2 \quad (6)$$

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1U_1^2 + \frac{1}{2}m_2U_2^2 \quad (7)$$

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 9

كيف يلاحظ هذا التصادم من خلال النظام القصوري S' والذي يتحرك بسرعة v في إتجاه xx'

بإستخدام تحويلات جاليليو للسرعة:

$$u_1 = u_1' + v \ , \ u_2 = u_2' + v \quad (8)$$

$$U_1 = U_1' + v \ , \ U_2 = U_2' + v \quad (9)$$

بالتعويض في معادلتي (6) و (7) نجد أن :

$$m_1(u_1' + v) + m_2(u_2' + v) = m_1(U_1' + v) + m_2(U_2' + v) \quad (10)$$

$$\frac{1}{2}m_1(u_1' + v)^2 + \frac{1}{2}m_2(u_2' + v)^2 = \frac{1}{2}m_1(U_1' + v)^2 + \frac{1}{2}m_2(U_2' + v)^2 \quad (11)$$

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 10

$$m_1u_1' + m_2u_2' = m_1U_1' + m_2U_2' \qquad (12)$$

$$\frac{1}{2}m_1u_1'^2 + \frac{1}{2}m_2u_2'^2 = \frac{1}{2}m_1U_1'^2 + \frac{1}{2}m_2U_2'^2 \qquad (13)$$

يلاحظ من معادلتي (12)و(13) في نظام S' هما نفس المعادلات (6) و (7) في النظام S

وهذا يثبت أن قوانين حفظ كمية الحركة والطاقة الحركية تحت تحويلات جاليليو تكون ثابتة

خلاصة:

غير متوافق	متوافق
الاحداثيات	التسارع
الموضع	الكتلة
السرعة	القوة
	الزمن
	قوانين الحركة

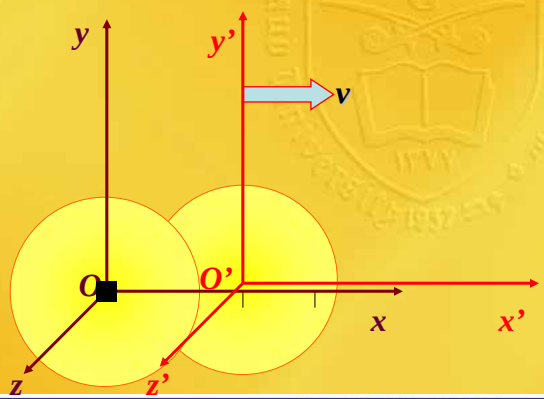
353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 11

سؤال

هل يمكن تطبيق تحويلات جاليليو علي الظواهر الكهرومغناطيسية كما هو الحال في حالة الظواهر الميكانيكية؟؟؟؟

الجواب : لايمكن ذلك

وبالتالي يكمن القول بأن قوانين الكهرومغناطيسية متغيرة أو غير ثابتة (not invariant) تحت تحويلات جاليليو



مثال:

نفترض موجة كروية كهرومغناطيسة تنتشر بسرعة ثابتة مقدارها c في النظام المرجعي S

معادلة هذه الموجة تكون علي الصورة:

$x^2+y^2+z^2-(ct)^2=0$ (14)

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 12

ولجعل هذه المعادلة ثابتة ، لابد أن تأخذ عند تحويلها في النظام S' شكلا على الصورة:

$$x'^2+y'^2+z'^2-(ct')^2=0 \qquad (15)$$

وحيث أن : $x = x' + vt$

بالتعويض في (14) نجد أن :

$$(x'+vt)^2+y^2+z^2-(ct)^2=0$$

مع العلم أن c ثابتة عند التحويل . وهذا يدل علي أن :

$$x^2+y^2+z^2-(ct)^2 \neq x'^2+y'^2+z'^2-(ct')^2$$

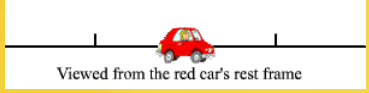
مثال آخر:

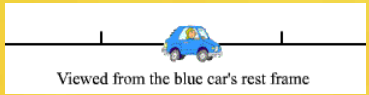
نفترض نبضة ضوئية تتحرك إلى اليمين بالنسبة للوسط التي تنتشر خلاله بسرعة v = c

ولقد عرف هذا الوسط تاريخياً بالأثير (ether) وبهذا يكون الإطار المرجعي الذي يوجد به هذا الوسط ساكناً هو S ويكون الراصد الوحيد الذي يقيس سرعة النبضة الضوئية على أنها c.

أما إذا حاول راصد آخر في مرجع آخر S' متحركاً إلى اليمين بسرعة نسبية v قياس السرعة فإنه سوف يسجل v' = c-v

وإذا كان S' متحركاً إلى اليسار فإنه يقيس السرعة v' = c+v هذا معناه أن سرعة الضوء ليست ثابتة تحت تأثير هذه التحويلات (تحويلات جاليو). وأنه يوجد مرجع قصوري وحيد الذي يوجد به الأثير ساكناً حيث سرعة الضوء به c.





لقد حاول العلماء منذ نهاية القرن الماضي إثبات وجود هذا الوسط (الأثير) عملياً بفكره أساسية وهي قياس سرعة الضوء في أنظمة قصورية مختلفة وملاحظة اختلاف النتائج (إن وجدت) وهل يوجد نظام وحيد حيث سرعة الضوء هي c .

وأول من حاول عملياً إجراء مثل هذه التجربة هما مايكسلون ومورلي 1887م وذلك خلال الوسط الافتراضي (الأثير) حول محور دورانها وحركتها حول الشمس ولكن كل المحاولات قد فشلت في إثبات وجود مثل هذا الوسط وفي إثبات أن سرعة الضوء تتغير بتغير المرجع القصوري أو اتجاه انتشار الضوء .

ومن المدهش فإن هذه النتيجة العملية قد وضعها أينشتين على صورة فرضه الثاني في النظرية النسبية الخاصة.

تبلغ سرعة الضوء 300 ألف كيلو متر في الثانية الواحدة

وهذا يعني أنه يمكن للشعاع الضوئي أن يدور سبع مرات حول الكرة الأرضية في الثانية

أجرى العلماء العديد من التجارب لقياس سرعة الضوء

Date	Author	Method	Result (km/s)	Error
1676	Olaus Roemer	Jupiter's satellites	214,000	
1726	James Bradley	Stellar aberration	301,000	
1849	Armand Fizeau	Toothed wheel	315,000	
1862	Leon Foucault	Rotating mirror	298,000	+-500
1879	Albert Michelson	Rotating mirror	299,910	+-50
1907	Rosa, Dorsay	Electromagnetic constants	299,788	+-30
1926	Albert Michelson	Rotating mirror	299,796	+-4
1947	Essen, Gorden-Smith	Cavity resonator	299,792	+-3
1958	K. D. Froome	Radio interferometer	299,792.5	+-0.1
1973	Evanson *et al*	Lasers	299,792.4574	+-0.001
1983		Adopted value	299,792.458	

وهذه السرعة الكبيرة للضوء استخدمت في تقدير المسافات الفلكية بين النجوم والمجرات

السنة الضوئية وهي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة والتي تساوي 9460000000000 كيلومتر.

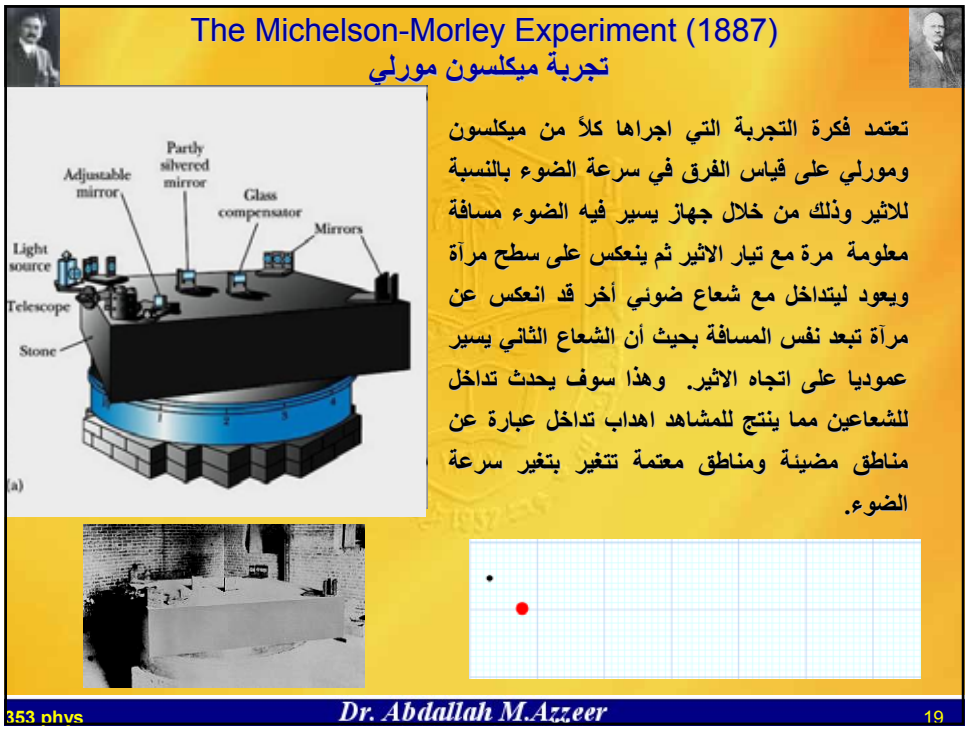
لاحظ هنا أن السنة الضوئية هي وحدة زمن ولكن استخدمت لتقدير المسافة أي أن الزمن بعد يضاف إلى الابعاد الثلاثة x,y,z ولهذا سمي بالبعد الرابع.

الأثير

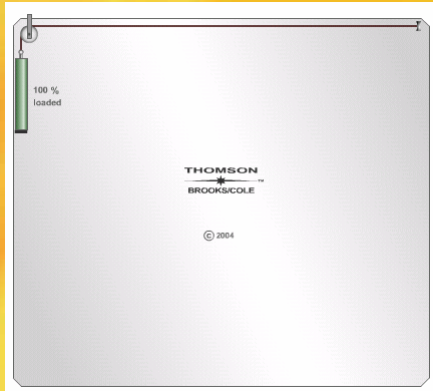
نعلم أن الصوت ينتقل من خلال موجات اهتزازية تحدث اضطراب في الهواء وبهذا فإن الصوت ينتقل خلال وسط الهواء كما أن الامواج التي يحدثها حجر اسقط في بركة ماء فإن الاضطراب الذي احدثه الحجر ينتقل في صورة امواج اهتزازية خلال جزيئات الماء.

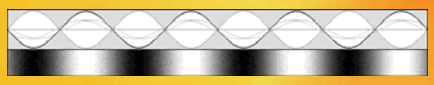
الآن ماذا عن الضوء؟ وما هو الوسط الذي ينقله؟ وما هو ذلك الشيئ المكون لأمواج الضوء؟.. هذه اسئلة حيرت العلماء وقادتهم افكارهم إلى افتراض وسط سموه الاثير يملء فراغ الكون وقد اعطى العلماء خصائص للاثير بما يناسب تجاربهم،

فالاثير له من الخصائص الكثير فمثلا الاثير يخترق جميع الاجسام والنجوم والكواكب التي تسبح فيه. الاثير ينسحب خلف الاجسام الصلبة وازدادت خصائص الأثير مع كل تجربة لا تتفق نتائجها العملية مع المتوقع من الاثير. بذلك اعتبر العلماء الاثير هو الشيء الثابت والمطلق الذي ينقل الضوء من خلاله وان كل جسم متحرك فهو متحرك بالنسبة للأثير (حتى الضوء) أي أن سرعة الأرض مثلا هي سرعتها بالنسبة للأثير وسرعة الضوء هي سرعته بالنسبة للأثير.

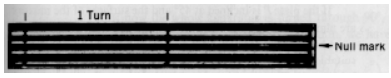

The Michelson-Morley Experiment (1887)
تجربة ميكلسون مورلي
Adjustable mirror
Partly silvered mirror
Glass compensator
Mirrors
Light source
Telescope
Stone
(a)
تعتمد فكرة التجربة التي اجراها كلاً من ميكلسون ومورلي على قياس الفرق في سرعة الضوء بالنسبة للاثير وذلك من خلال جهاز يسير فيه الضوء مسافة معلومة مرة مع تيار الاثير ثم ينعكس على سطح مرآة ويعود ليتداخل مع شعاع ضوئي أخر قد انعكس عن مرآة تبعد نفس المسافة بحيث أن الشعاع الثاني يسير عموديا على اتجاه الاثير. وهذا سوف يحدث تداخل للشعاعين مما ينتج للمشاهد اهداب تداخل عبارة عن مناطق مضيئة ومناطق معتمة تتغير بتغير سرعة الضوء.
353 phys
Dr. Abdallah M.Azzeer
19

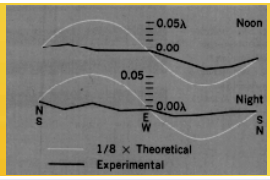
0.5 km/s
30 km/s
100 %
loaded
THOMSON
BROOKS/COLE
© 2004
وباجراء حسابات بسيطة نجد أن الشعاع الضوئي الموازي للأثير يستغرق زمن اطول لاكمال رحلة الذهاب والاياب من الزمن اللازم للشعاع الذي يسير عمودي على الاثير. هذا الاختلاف يتغير اذا اديرت الطاولة التي تحمل التجربة بحيث يصبح الشعاع الموازي للأثير عموديا والشعاع الذي كان عمودي يصبح موازيا للأثير.
353 phys
Dr. Abdallah M.Azzeer
20

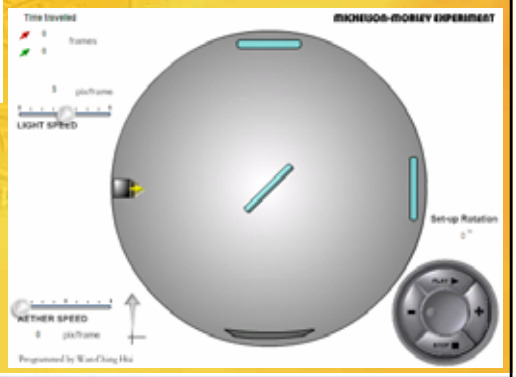




ما الفائدة من ذلك؟ توقع العلماء عند دوران التجربة بالنسبة للاثير ان يحدث تغيير في الاهداب المتكونة نتيجة للتداخل بين الشعاعين الضوئيين (للاختلاف في الزمن بينهما) بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان الهدبة المعتمة وهكذا..







353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 21

وباجراء حسابات بسيطة نجد أن الشعاع الضوئي الموازي للأثير يستغرق زمن اطول لاكمال رحلة الذهاب والاياب من الزمن اللازم للشعاع الذي يسير عمودي على الاثير. هذا الاختلاف يتغير اذا اديرت الطاولة التي تحمل التجربة بحيث يصبح الشعاع الموازي للأثير عموديا والشعاع الذي كان عمودي يصبح موازيا للأثير.

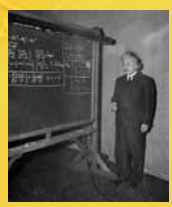
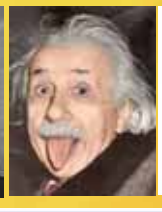
ما الفائدة من ذلك؟ توقع العلماء عند دوران التجربة بالنسبة للاثير ان يحدث تغيير في الاهداب المتكونة نتيجة للتداخل بين الشعاعين الضوئيين (للاختلاف في الزمن بينهما) بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان الهدبة المعتمة وهكذا..

ان الفارق الزمني لرحلة الذهاب والعودة للشعاعين يعود إلى فرضية أن الضوء ينتقل في وسط الأثير وبالتالي فإن سرعة الضوء سوف تعتمد على سرعة الارض بالنسبة للأثير وعلى اعتبار أن الارض تسير بالنسبة للأثير بسرعة مقدارها 30 كيلو متر في الثانية. وعليه يكون من المتوقع أن تختلف سرعة شعاع الضوء الذي يوازي اتجاه الاثير عن الشعاع العمودي عليه...

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 22

- كانت نتيجة التجربة على غير المتوقع ولم يحدث تغيير في مواقع أهداب التداخل. واعيدت التجربة مرات عديدة في مناطق مختلفة على الارض وفي اوقات مختلفة ولكن دائما لم يكن هناك تغيير في مواقع الاهداب الذي كان يتوقعه العالمين من نتائج التجربة او العلماء الآخرون الذين حاولوا تكرار التجربة.
- هذه النتيجة السلبية (عدم اتفاق النتائج العملية مع النظرية تسمى نتيجة سلبية) صدمت العلماء في صحة نظرياتهم الكلاسيكية وتمسك العلماء بفرضية الاثير وجعلتهم يقولون تارة ان الاثير ولا بد وانه يسير مع الارض وتارة يقولون أن الاجسام تنكمش في اتجاه حركتها خلال الاثير وغيره من الاعتقادات وذلك لرفضهم فكرة فشل فرضية الاثير وكل ما بني عليها لسنوات...

- وهنا جاء آينشتين ليبني اسس جديدة للفيزياء سماها النظرية النسبية.....

353 phys Dr. Abdallah M.Azzeer 23