

المحتويات

5	1	الجسيمات الأولية والتفاعلات الأساسية
5	1.1	خصائص الجسيمات الأولية
5	1.1.1	الكتلة:
6	2.1.1	الزخم البرمي
6	3.1.1	التناظر.
7	4.1.1	الشحنة
7	5.1.1	الغربة
7	6.1.1	عمر الجسيمة
7	7.1.1	ضديد الجسيمة
7	2.1	القوى الأربعة او التفاعلات الساسية
7	1.2.1	القوى الثقالية
8	2.2.1	القوى الكهرومغناطيسية
8	3.2.1	القوى النووية القوية
8	4.2.1	القوى الضعيفة
9	2	الحقول والجسيمات الأولية
9	1.2	النسبة الخاصة
9	1.1.2	تجربة ميكلسون و مورلي
11	2.1.2	فرضيات النسبية الخاصة
11	3.1.2	تحويلات جاليليو
12	4.1.2	تحويلات لورنتز
14	5.1.2	إنكماش الطول
15	6.1.2	تمدد الزمن
16	2.2	المقاطع الفعالة
16	3.2	معادلات ديراك
16	4.2	حقول وجسيمات أولية

3	النواشر وقواعد فيمان	17
1.3	النواشر والنشر الإرتيائي	17
2.3	قواعد فيمان	17
3.3	تطبيق	17
4	التفاعل القوي	19
1.4	الظواهر الهيدرونية	19
2.4	التصادم المرن العميق	19
3.4	نموذج الأجزاء ونظرية الكهروديناميك	19
4.4	الحاجة الى اللون	19
5.4	الحرية المقاربة	19
5	نموذج الكوارك	21
1.5	...	21
6	التفاعل الكهروضعيف	23
1.6	من التفكك الى الجسم	23
2.6	جسيم الترينو ونظرية فرمي	23
3.6	طرق الإزدواجية	23
4.6	التفاعل كهر ضعيف	23

قائمة الأشكال

1.2	القارب الذي يعبر النهر	10
2.2	تجربة ميكلسون و مورلي	11
3.2	نظام الإسناد S و S' يتحركان بالنسبة إلى بعضهما بسرعة ثابتة v	11
4.2	إنكماش الطول	14

قائمة الجداول

1.1	الجسيمات الأولية في النموذج القياسي	5
-----	-------------------------------------	---

باب 1

الجسيمات الأولية و التفاعلات الأساسية

في النموذج القياسي ليس هناك طريقة نظرية لتحديد وحدات البناء لذلك فقد تم تحديدها افتراضيا. وفقا لهذا الافتراض فان لبنات بناء المادة هي اثنه عشر جسيما فيرميونيا ذات سبين $s = \frac{1}{2}$ يمكن لهذه الجسيمات ان تتفاعل مع بعضها البعض بتبادل جسيمات بوزونية. تنقسم هذه اللبنات الى مجموعتين تحتوي كل منهما على ستة جسيمات و كل مجموعة مقسمة الى ثلاثة اجيال او عوائل يحتوي كل جيل على جسيمين. المجموعة الاولى هي عبارة عن ستة لبتونات و هي جسيمات معروفة تجريبيا اما المجموعة الثانية فهي عبارة عن ستة كواركات و هي جسيمات تم افتراضها و لم يتم رصدها بشكل مباشر و هي تتميز بكونها تحمل شحنة كهربائية كسرية من شحنة الالكترن. تتميز جسيمات الجيل الاول من كل مجموعة بأنها غير قابلة للتفكك اما جسيمات باقي الاجيال فقد اثبت تجريبيا أنها تتفكك معطية جسيمات من الجيل الاول.

1.1 خصائص الجسيمات الأولية

1.1.1 الكتلة:

تصنف الجسيمات الأولية بالنسبة لكتلتها إلى:

الجسيمات عديمة الكتلة: و تشمل الفوتونات التي تكون وسيطة في التفاعلات الكهرومغناطيسية بحيث كتلتها السكونية $m_{\gamma 0} = 0$ و سرعتها $v_{\gamma} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ و هو في حالة حركة دائمة و كتلته الحركية هي $m_{\gamma} = \frac{E}{c^2}$ و زخمه هو $p_{\gamma} = \frac{E}{c}$

الكواركات			اللبتونات			
الشحنة	الكتلة	الإسم	الكتلة	الشحنة	الإسم	
$\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$	$1.5 - 3$ $3 - 7$	<i>up (up)</i> <i>down (dn)</i>	0.511 0	-1 0	<i>electron (e⁻)</i> <i>ν_e</i>	الجيل الأول
$\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$	1250 ± 90 95 ± 25	<i>charm (c)</i> <i>strang (s)</i>	105.7 0	-1 0	<i>muon (μ^-)</i> <i>ν_{μ}</i>	الجيل الثاني
$\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$	172×10^3 4200 ± 70	<i>top (t)</i> <i>beauty (b)</i>	-1 0	1777 0	<i>tau (τ^-)</i> <i>ν_{τ}</i>	الجيل الثالث

جدول 1.1: الجسيمات الأولية في النموذج القياسي

الجسيمات الخفيفة (اللبتونات) : وتشمل الإلكترون والبزوترون والنيوترينو والميون وضديد الميون. وقد افترض ان لكل جسيمة خفيفة عددا كيميا يميزها يسمى العدد الكمي اللبتوني ($lepton quantum number$) ويرمز له بالرمز l وتكون قيمته :

$$l = +1 \text{ for } e^-, \mu^-, \nu^-$$

$$l = -1 \text{ for } e^+, \mu^+, \nu^+$$

و $l = 0$ للجسيمات المتوسطة الكتلة والجسيمات الثقيلة الكتلة.

الجسيمات المتوسطة الكتلة (الميزونات) : وتشمل على البايونات π^+, π^0, π^- وأصل كلمة بايون ($pion$) هو $Pi - meson$, و الكايونات K^+, K^0, K^{0-}, K^- وأصل الكلمة كايون ($Kaon$) هو $K - meson$ وليس لها عددا كيميا يميزها.

الجسيمات الثقيلة (الباريونات) : و اشهرها البرتون وضديده والنيوترون وضديده، وأخف الجسيمات الثقيلة هو البروتون. ولقد افترض أن لكل جسيمة ثقيلة عددا كيميا يميزها يسمى العدد الكمي الباريوني ويرمز له بالرمز B وتكون قيمته:

$$B = +1 \text{ for } n, p,$$

$$B = -1 \text{ for } n^-, p^-$$

وتكون قيمة $B = 0$ للبتونات والميزونات، وتشترك الميزونات والباريونات في كافة أنواع التفاعلات الربعة.

2.1.1 الزخم البرمي

تصنف الجسيمات من حيث زخمها الى قسمين هما:

الفيرميونات : هي جسيمات زخمها الزاوي البرمي عددا فرديا مضروبا في $\frac{1}{2}$ أي أن $S_F = \frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{5}{2}\hbar, \dots$ وهي تخضع لمبدأ الإستثناء لباولي والذي ينص على أنه لا يمكن لفيرميونين أن يتواجدا بنفس الحالة الكمية وتكون لهما نفس أعداد الكم الربعة (n, l, m_l, s) ، كما أنها تخضع لتوزيع فيرمي ديراك.

البوزونات : هي جسيمات زخمها الزاوي البرمي يساوي عدد صحيح $S_B = 0\hbar, 1\hbar, 2\hbar, \dots$ من هذه الجسيمات الفوتون $S_\gamma = 1\hbar$ ، والبايونات $S_\pi = 0\hbar$ ، والكايونات $S_K = 0\hbar$ والبوزونات لا تخضع لمبدأ الإستثناء لباولي ولهذا يمكن وجود أي عدد منها في نفس الحالة الكمية، وهي تخضع لقانون التوزيع لبوز-أينشتاين.

3.1.1 التناظر

التناظر يشير إلى سلوك دالة الموجة الممثلة لحالة الجسم عند تغير إشارة الإحداثيات. وهي نوعين:

زوجية: رياضيا يشار إليها بـ:

$$P\psi(+x, +y, +z) = P\psi(-x, -y, -z)$$

$$P\psi(+x, +y, +z) = \psi(x, y, z)$$

أي ان التناظر زوجي $P = 1$

فردية: رياضيا يشار اليها بـ:

$$P\psi(+x, +y, +z) = P\psi(-x, -y, -z)$$

$$P\psi(+x, +y, +z) = -\psi(x, y, z)$$

أي ان التناظر فردي $P = -1$ لقد افترض أن كل جسيمة تتفاعل بقوة بارتي معينة، زوجية أو فردية. كما اعتبرت بارتي البرتون و النيوترون زوجية أما البايونات فلها بارتي فردية و هنا نشير إلى أن البارتي للبوزونات و أضدادها تكون فردية. دالة الموجة للبوزونات متناظرة بينما دالة الموجة للفيرميونات تكون غير متناظرة. أما البارتي لجسيم مكون من عدة جسيمات تساوي حاصل ضرب البارتي لمكوناته.

4.1.1 الشحنة

معظم الجسيمات الأولية ذات شحنة كهربائية و بعضها متعادل. تكون للجسيمة معاكسة لشحنة ضديدها و يشار لضديد الجسيمة بخط فوق الرمز.

5.1.1 الغرابة

6.1.1 عمر الجسيمة

7.1.1 ضديد الجسيمة

2.1 القوى الأربعة او التفاعلات الساسية

هي القوى التي تسلطها الأجسام بعضها على البعض و يوجد في الطبيعة أربعة أنواع القوي او أربعة أنواع من التفاعلات.

1.2.1 القوى الثقالية

هي قوى جذب بين الأجسام التي لها كتل، استنادا إلى قانون الجذب العام لنيوتن:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1.1)$$

و تتبادل هذه القوى جسيمات تسمى الكرافيتون (*gravitons*). القوى الثقالية هي أضعف القوى، و نسبتها إلى القوى النووية هي 10^{-39} و ذات مدى أطول، فهي تتحكم بحركة الكواكب و النجوم الساقطة و تأثيرها بالنسبة للجسيمات الولية مهمل لصغر كل هذه الجسيمات.

2.2.1 القوى الكهرومغناطيسية

هي قوى تجاذب أو تنافر بين الشحنات الكهربائية، بتبادل كمات من الطاقة و الزخم الكهرومغناطيسي و التي تسمى الفوتونات (*photons*). نسبة القوى الكهرومغناطيسية إلى القوى النووية هي 10^{-2} ، و مداها غير محدد.

3.2.1 القوى النووية القوية

هي القوى التي تربط مكونات النواة (البروتونات و النيوترونات) مع بعضها، و هي التي تتحكم بالتفاعلات النووية بين الجسيمات الأولية ذات الطاقة العالية. و تنصف هذه القوى بما يأتي:

1. مداها قصيرة جدا بحدود $10^{-15}m$ ، و ان زادت المسافة عن هذا المدى و لو قليلا لأصبحت القوى النووية بينهما مهملة تقريبا.

2. القوى النووية لا تعتمد على الشحنة، فالقوة بين بروتون و بروتون هي نفسها بين نيوترون و نيوترون أو بين نيوترون و بروتون.

$$F_{pp} \approx F_{nn} \approx F_{pn}$$

3. تعتمد على محصلة الزخم الزاوي البرمي للجسيمات، فالقوة بين بروتونين مثلا برميها بنفس الاتجاه هي غير القوى التي بينهما عندما يكون برميها متعاكسين.

4. في عام 1935 إقترض يوكاوا (*Yukawa*) المعادلة الآتية لتمثيل الطاقة الكامنة النووية:

$$E_P(r) = \pm \frac{E_0 \cdot r_0 \cdot e^{(-\frac{r}{r_0})}}{r} \quad (2.1)$$

حيث r_0 هو المدى، E_0 كمية ثابتة و r المسافة عن مركز النواة. كما افترض يوكاوا ان القوى النووية تتبادل مع بعضها جسيمات أسماها البايونات. تسمى الجسيمات التي تؤثر على بعضها بقوى نووية بالهادرونات و تشمل الجسيمات الثقيلة و الجسيمات متوسطة الكتلة مثل البايونات و الكايونات، أما الجسيمات الخفيفة كالإلكترونات و الميون و النيوتريينو فلا يمكن أن تشارك في التفاعلات القوية.

4.2.1 القوى الضعيفة

هي القوى التي تتحكم بتفاعل الجسيمات الخفيفة و بتحلل الجسيمات الأولية، اي ان تحلل أي جسيمة أولية هو تفاعل ضعيف او ينجز بتأثير قوة ضعيفة. زمن تأثير القوة الضعيفة بحدود $10^{-10}s$ و هو أطول بكثير من زمن تأثير القوى النووية القوية و القوى الكهرومغناطيسية. و تتبادل القوى النووية الضعيفة جسيمات تسمى *W - particles* كتلتها بحدود $800Mev$.

باب 2

الحقول و الجسيمات الأولية

1.2 النسبة الخاصة

ساد الاعتقاد في ميكانيك الكلاسيكية بأن الزمان و المكان شيثان مستقلان و منفصلان عن بعضهما . الى أن جاءت نظرية النسبية الخاصة و التي أعلن عنها الفيزيائي الشهير البرت انشتاين سنة 1905 و اثبتت أن حركة الأجسام توصف بالنسبة لبعضها البعض، و ان للزمان و المكان مفهوم واحد يعبر عنه بمصطلح جديد يسمى " الزمكان ". في أواخر القرن التاسع عشر سيطرت فكرة وجود وسط كوني، سمي بالأثير يملأ الفراغ، و أن موجات الضوء تنتشر خلال هذا الوسط، أدت هذه الفكرة إلى معضلة سنتعرف عليها من خلال تجربة ميكلسون و مورلي.

1.1.2 تجربة ميكلسون و مورلي

تمثل التجربة في دراسة أثر حركة الأرض عبر الفضاء في سرعة الضوء المقاسة على سطحها. تدور الأرض حول نفسها دورة واحدة كل 24 ساعة و بسرعة تقدر بـ $30km.s^{-1}$ تلخص تجربة ميكلسون و مورلي في قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء عندما ينتشر في اتجاه الرياح الأثيرية (المفترضة) ثم في اتجاه متعاود عليها. لتوضيح ذلك نستعرض فكرة " القارب في النهر" حيث ندرس حركة قارب يقوم برحلتين يعود في نهايتها الى نقطة البداية.

- الحالة التي يقوم فيها برحلته على طول النهر يكون القارب في رحلة الذهاب مع اتجاه التيار في النهر و تكون محصلة السرعة هي $(V + v)$ حيث أن V هي سرعة القارب بالنسبة للماء و v هي سرعة جريان الماء في النهر. حالة العودة يكون القارب يجري ضد التيار و تكون محصلة سرعته هي $(V - v)$. بفرض أن المسافة بين نقطة البداية و نقطة الرجوع هي L فإن الوقت اللازم للعودة t_1 يساوي:

$$t_1 = \frac{L}{V + v} + \frac{L}{V - v} = \frac{2L/V}{1 - \frac{v^2}{V^2}} \quad (1.2)$$

- الحالة التي يقوم فيها برحلته على عرض النهر نفرض أنه يبدأ رحلته من النقطة a ليصل الى النقطة b على عرض النهر مباشرة، نستنتج أنه على القارب أن ينحرف قليلا في بداية خط سيره ضد التيار حتى يعوض ما يحدث له التيار من إزاحة في اتجاه إنسيابه.

من الشكل 1.2 نجد أن :

$$V^2 = V'^2 + v^2 \quad (2.2)$$

$$V' = V \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}} \quad (3.2)$$

حيث V' هي محصلة السرعة، و عليه فإن الزمن اللازم t_2 لحركة القارب من النقطة a مرة أخرى يعطى بالعلاقة الآتية :

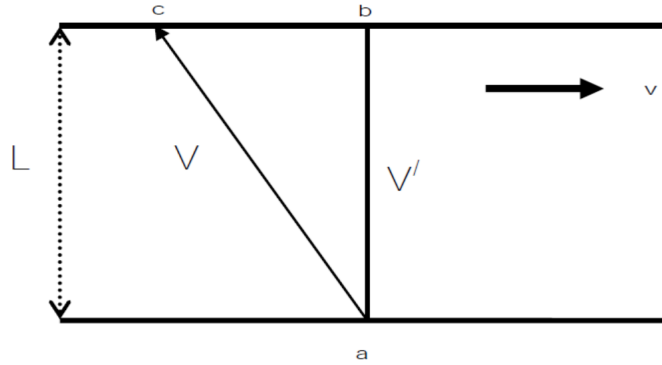
$$t_2 = \frac{2L/V}{\sqrt{1 - v^2/V^2}} \quad (4.2)$$

لكي تمثل أمامنا تجربة ميكلسون و مورلي، سوف نستبدل النهر الجاري بالرياح الأثيرية v و نستبدل سرعة القارب المتحرك بسرعة الضوء c ، و عليه فإن الزمن المستغرق من النقطة a إلى النقطة b و العودة مرة أخرى إلى a يعطى من المعادلتين (1 و 4) على التوالي :

$$t_1 = \frac{2L/c}{1 - v^2/c^2} \quad (5.2)$$

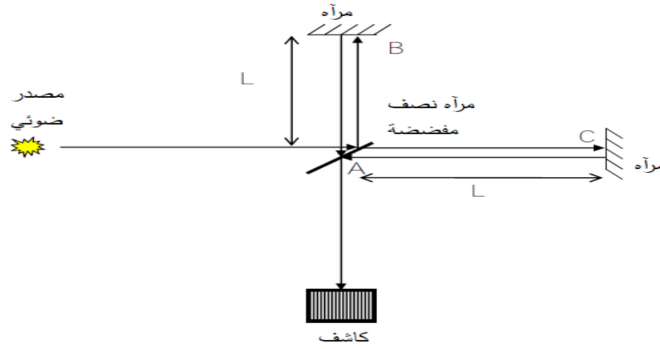
$$t_2 = \frac{2L/c}{1 - v^2/c^2} \quad (6.2)$$

حيث v تمثل سرعة الأثير و c هي سرعة الضوء في الفراغ. بالنظر إلى الشكل 2.2 إذا سقطت حزمة ضوئية من المصدر الضوئي على



شكل 1.2: القارب الذي يعبر النهر.

المرآة نصف المفضضة إنعكست الحزمتان مرة أخرى بواسطة المرآتين المستويتين و الموضعتين على بعدين متساويين من المركز. عند وصول الحزمتان إلى المرآة المفضضة نفذ جزء من الشعاع المرتد من المرآة C ، بعد ذلك سار الشعاعان ووصلوا الكاشف. تمت دراسة نمط التداخل في الكاشف و لم يلاحظ أي تغيير عليه في حالة إدارة الجهاز في عدة إتجاهات، و عليه ليس هناك أي تغيير في t_1 و t_2 . نستخلص من هذه التجربة أن سرعة الضوء ثابتة في جميع الإتجاهات، و أدى هذا إلى إستبعاد فكرة الأثير.



شكل 2.2: تجربة ميكلسون و مورلي.

2.1.2 فرضيات النسبية الخاصة

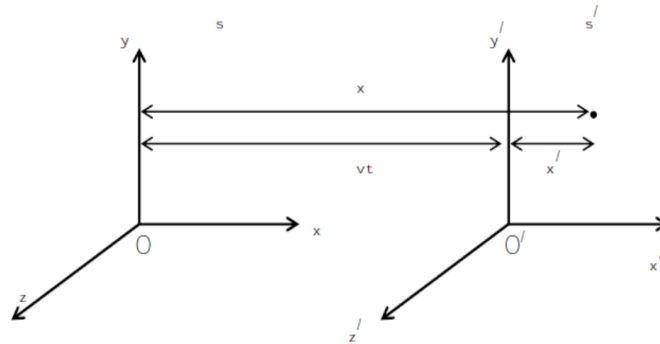
وضع أينشتاين فرضيتين لمعالجة قصور جاليليو ولتأكيد نتائج ميكلسون و مورلي

1. تتخذ القوانين و المبادئ الفيزيائية نفس شكلها الرياضي عندما يعبر عنها في محاور أي من نظم الإسناد القصورية.

2. سرعة الضوء في الفراغ ثابتة بالنسبة لكل المراقبين بغض النظر عن حالتهم من اسكون أو الحركة بالنسبة لمصدر الضوء.

3.1.2 تحويلات جاليليو

لتحديد موضع جسم في الفضاء نستخدم نظام إسناد ينسب إليه موضع الجسم كنظام الإحداثيات الكارتيزية (x, y, z) . وعند الحديث عن حركة الجسم يضاف إليه الزمن وعندها تسمى بالإحداثيات الرباعية (x, y, z, t) . يوضح الشكل 3.2 نظام الإسناد S الذي نحتاجه لوصف أي حدث من خلال الإحداثيات (x, y, z, t) . يمكن أيضا وصف نفس الحدث من خلال نظام الإسناد S' بالإحداثيات (x', y', z', t') والذي يتحرك بسرعة ثابتة v بالنسبة للنظام S في الاتجاه الموجب لمحور (x) وأن المحاور المتناظرة تكون متوازية. نفرض أنه يوجد مراقب O في النظام S و مراقب آخر O' في النظام S' . كلا المراقبين يحمل ساعة لقياس الزمن الذي يبدأ عندما



شكل 3.2: نظام الإسناد S و S' يتحركان بالنسبة إلى بعضهما بسرعة ثابتة v .

تكون نقطتا الأصل للنظامين منطقتان أي $t = t' = 0$. يعبر عن العلاقة التي تربط بين إحداثيات النظامين بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t\end{aligned}\quad (7.2)$$

مجموعة المعادلات (7.2) تسمى تحويلات جاليليو. يمكن إستخدام هذه التحويلات لوصف الأجسام التي تتحرك بسرعات عالية. تعارضت هذه المعادلات مع نظرية الكهرومغناطيسية للضوء، حيث أن القوة المؤثرة على شحنة كهربائية مقاسة بواسطة المراقب O في النظام S تكون مختلفة عما يقيسه المراقب O' في نظام الإسناد S' . هذا يعني أن قوانين الكهرومغناطيسية غير محفوظة في نظم الإسناد التي تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضها البعض، و اتضح أن تحويلات جاليليو لا تتسق مع فرضيتي أنشتاين حيث أن سرعة الضوء في الفراغ لن تظل ثابتة، و عليه باتت الحاجة لنوع آخر من التحويلات ينسجم نظرية أنشتاين.

4.1.2 تحويلات لورنتز

إستخدم اينشتاين فرضي النسبية للحصول على تحويلات لورنتز و انتأج المتحصل عليها أثبتت صحة الفرضيتين. معادلة الموجة الكروية في نظام الإسناد S و S' و الذي يتحرك بسرعة ثابتة v في اتجاه موازي لمحور (x) . تعطى معادلة الموجى التي سرعتها c بالعلاقة التالية:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0 \quad (8.2)$$

أما بالنسبة لمراقب متواجد في النظام S فإن معادلة الموجة تأخذ التعبير التالي:

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad (9.2)$$

بإستخدام المعادلتين (8.2) و (9.2) يمكن كتابة :

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 \quad (10.2)$$

لتحويل أي من المعادلتين (8.2) و (9.2) إلى الأخرى يجب معرفة العلاقة بين المتغيرات (x, y, z) و (x', y', z') . إفترض اينشتاين علاقة خطية بين المتغيرات للحركة في إتجاه x بحيث أن :

$$\begin{aligned}x' &= \alpha_1 x + \alpha_2 t \\t' &= \beta_1 x + \beta_2 t\end{aligned}\quad (11.2)$$

حيث $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ ثوابت. بفرض أنه عند $x' = 0$ فإن $x = vt$, باستخدام هذا الشرط في المعادلة (11.2) نجد أن :

$$\alpha_2 = -\alpha_1.v \quad (12.2)$$

بتعويض هذه العلاقة في (11.2) ينتج :

$$x' = \alpha_1(x - vt) \quad (13.2)$$

بإدراج المعادلتين (11.2) و (13.2) في المعادلة (8.2) نجد :

$$\alpha_1^2(x - vt)^2 + y^2 + z^2 = c^2(\beta_1.x + \beta_2.t)$$

بعد الترتيب نجد أن :

$$(\alpha_1^2 - c^2\beta_1^2)x^2 + y^2 + z^2 = c^2(\beta_2 - \alpha_1^2v)t^2 + 2xt(\alpha_1^2v - c^2\beta_1\beta_2) \quad (14.2)$$

بمقارنة المعاملات للمعادلتين (9.2) و (14.2) يتضح أن :

$$\begin{aligned} \alpha_1^2 - c^2\beta_1^2 &= 1 \\ c^2\beta_2 - \alpha_1^2v &= c^2 \\ \alpha_1^2v + c^2\beta_1\beta_2 &= 0 \end{aligned} \quad (15.2)$$

بحل المعادلات الثلاث الأخيرة نحصل على :

$$\alpha_1 = \beta_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (16.2)$$

$$\beta_1 = -\frac{v}{c^2}\alpha_1 = \frac{-\frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (17.2)$$

تصبح المعادلة (13.2) كالآتي :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (18.2)$$

و نحصل على تحويل الزمن بالتعويض في المعادلة (11.2)

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (19.2)$$

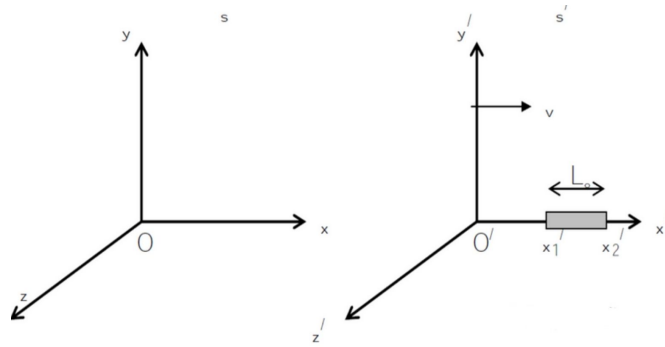
و عليه فإن مجموعة تحويلات لورنتز للحركة في اتجاه x تكتب كالآتي:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \quad (20.2)$$

وهذه التحويلات التي إشتقها اينشتاين هي نفسها تحويلات لورنتز حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$. وفي حالة السرعات المنخفضة بالنسبة إلى سرعة الضوء فإن تحويلات لورنتز تؤول إلى تحويلات جاليليو.

5.1.2 إنكماش الطول

نفرض أن لدينا قضيب طوله L_0 مقاسا في نظام الإسناد S' كما موضح في الشكل 4.2 المراقب في نظام الإسناد S' سيجد طول



شكل 4.2: إنكماش الطول

القضيب مساويا لـ :

$$L_0 = x'_2 - x'_1 \quad (21.2)$$

ما هو طول القضيب بالنسبة لمراقب آخر موجود في النظام الإسناد S ؟ نلاحظ أن نظام الإسناد S' يتحرك بسرعة ثابتة v في الاتجاه الموجب لمحور (x) . بالنسبة للمراقب الموجود في النظام S ان طول القضيب L يعطى بالعلاقة :

$$L = x_2 - x_1 \quad (22.2)$$

العلاقة بين L و L_0 تخضع لتحويلات لورنتز.

$$\begin{aligned} x'_1 &= \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ x'_2 &= \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \therefore L_0 &= \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ &= \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \quad (23.2)$$

أي أن :

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (24.2)$$

بما أن $v < c$ فإن قيمة الجذر التربيعي في المعادلة (24.2) تكون دائماً أصغر من الواحد الصحيح، يعني هذا أن طول القضيب مقاساً في نظام الإسناد S يكون دائماً أصغر من طوله في النظام S' أي أنه حدث إنكماش نسبي للطول.

• مثال 1 :

• مثال 2 :

6.1.2 تمدد الزمن

بالعودة إلى تحويلات لورنتز الموسومة بـ (7.2)، نجد أن الزمن نسبي هذا يعني أن الفترة الزمنية الفاصلة بين حدثين تختلف باختلاف حركة المراقب الذي يقوم بقياسها. نفرض أنه تم رصد حدث في نظام الإسناد S' و كانت لحظة بدايته بالنسبة لمراقب في هذا الإسناد هي t'_1 و t'_2 لحظة نهايته. أما بالنسبة للمراقب في الإسناد S فإنه يقيس t_1 و t_2 ، يمكن الحصول على العلاقة بينهما باستخدام تحويلات لورنتز كالآتي :

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (25.2)$$

و بنفس الطريقة نجد t_2 . المراقب في الإسناد S' يحسب الفترة الزمنية لتكون :

$$t_0 = t'_2 - t'_1 \quad (26.2)$$

أما بالنسبة للمراقب الآخر في الإسناد S فسيجد :

$$t = t_2 - t_1 \quad (27.2)$$

بالتعويض عن القيم t_1 و t_2 نحصل على قيمة t :

$$t = \frac{t'_2 + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t'_1 + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (28.2)$$

أي ان العلاقة بين t و t_0 تصبح

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (29.2)$$

تعرف هذه العلاقة بتمدد الزمن و تعني أن الفترة الزمنية t لساعة يد مثلاً تتحرك بالنسبة لمراقب تكون أطول من نفس الفترة الزمنية في حالة سكون الساعة بالنسبة للنفس المراقب.

بمقارنة تحويلات جاليليو مع تحويلات لورنتز يظهر الفرق جلياً بالنسبة للزمن، حيث افترض جاليليو أن الزمن مطلق أي أنه نفسه بالنسبة لجميع المراقبين و لا يتعلق بحركة الإسناد. أما تحويلات لورنتز فقد أثبتت غير ذلك، أي ان الزمن نسبي بالنسبة للمراقبين و حركة الإسناد و ليس مطلقاً.

• مثال 1 :

• مثال 2 :

• مثال 3 :

2.2 المقاطع الفعالة

3.2 معادلات ديراك

4.2 حقول و جسيمات أولية

باب 3

النواشر و قواعد فيمان

1.3 النواشر و النشر الإرتيائي

2.3 قواعد فيمان

3.3 تطبيق

باب 4

التفاعل القوي

1.4 الظواهر الهيدرونية

2.4 التصادم المرن العميق

3.4 نموذج الأجزاء و نظرية الكهروديناميك

4.4 الحاجة الى اللون

5.4 الحرية المقاربة

باب 5

نموذج الكوارك

... 1.5

$$\begin{aligned}a + b + c &= d \\e + f &= g \\h &= i\end{aligned}\tag{1.5}$$

$$\begin{aligned}a + b + c &= d \\e + f &= g \\h &= i\end{aligned}\tag{2.5}$$

باب 6

التفاعل الكهروضعيف

1.6 من التفكك الى الجسيم

2.6 جسيم النترينو و نظرية فرمي

3.6 طرق الإزدواجية

4.6 التفاعل كهر ضعيف

$$\begin{aligned}a + b + c &= d \\ e + f &= g \\ h &= i\end{aligned}\tag{1.6}$$

$$\begin{aligned}a + b + c &= d \\ e + f &= g \\ h &= i\end{aligned}\tag{2.6}$$