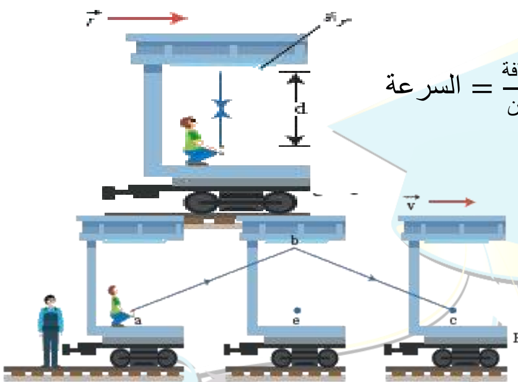
الدرس الخامس — النسبية الخاصة

أكتب فرضيتا اينشتاين في النسبية الخاصة

1. سرعة انتشار الضوء في الخلاء هي نفسها (ثابت) $c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ في جميع جمل المقارنة،
2. القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية

سؤال نظري (24) بفرض أن قطاراً يسير بسرعة ثابتة v، مثبت على سقف إحدى عرباته مرآة مستوية ترتفع مسافة d عن منبع ضوئي بيد مراقب يقف ساكناً في العربة ذاتها،
يرسل المراقب الداخلي ومضة ضوئية باتجاه المرآة، ويسجل الزمن الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع هو t_0
أما بالنسبة لمراقب خارجي يقف ساكناً خارج القطار على استقامة واحدة من المنبع الضوئي لحظة إصدار الومضة الضوئية فإن الزمن الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع هو t. **المطلوب** : برهن أن الزمن يتمدد بالنسبة للمراقب الخارجي أي أن $t > t_0$

الحل :



بالنسبة للمراقب الداخلي : والذي يسجل الزمن t_0 الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع الضوئي

قطع الضوء مسافة $2d$ خلال زمن t_0 بسرعة الضوء c

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \Rightarrow c = \frac{2d}{t_0} \Rightarrow \boxed{t_0 = \frac{2d}{c}} \ldots\ldots (1)$$

بالنسبة للمراقب الخارجي : والذي يسجل الزمن t الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع الضوئي

- قطع الضوء مسافة من $(a \to b$ ثم $b \to c)$ بالسرعة الثابتة (سرعة الضوء c)

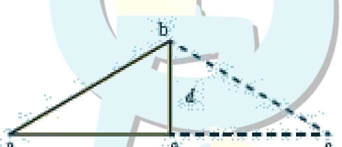
أي إن المسافة التي تقطعها الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع بالنسبة للمراقب الخارجي هي (ab + bc) أثناء حركة العربة خلال زمن t.

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \Rightarrow c = \frac{(ab+bc)}{t} \xrightarrow{\text{المثلث } (\overset{\text{متساوي الساقين}}{\widehat{abc}}) \Rightarrow (ab=bc)} c = \frac{2ab}{t} \Rightarrow ab = \frac{ct}{2}$$

- المنبع انتقل من النقطة a إلى النقطة c بسرعة العربة v خلال الزمن t

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \Rightarrow v = \frac{ac}{t} \xrightarrow{ac=ae+ec} v = \frac{ae+ec}{t} \xrightarrow{ae=ec} v = \frac{2ae}{t} \Rightarrow ae = \frac{vt}{2}$$

بتطبيق نظرية فيثاغورث في $\overset{\text{المثلث القائم}}{\widehat{abe}}$ نجد: $\boxed{(ab)^2 = (ae)^2 + (be)^2}$ نعوض العلاقات السابقة :



$$(ab)^2 = (ae)^2 + (be)^2 \begin{cases} ab = \frac{ct}{2} \\ ae = \frac{vt}{2} \\ be = d \end{cases} \Rightarrow \frac{c^2t^2}{4} = \frac{v^2t^2}{4} + d^2 \xrightarrow{t \text{ نعزل}}$$

$$\frac{c^2t^2}{4} - \frac{v^2t^2}{4} = d^2 \Rightarrow \frac{(c^2-v^2)t^2}{4} = d^2 \Rightarrow t^2 = \frac{4d^2}{(c^2-v^2)} \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} \boxed{t = \frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}}} \ldots\ldots (2)$$

بقسمة العلاقة (2) على (1) نجد:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{\frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}}}{\frac{2d}{c}} \Rightarrow \frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}} \xrightarrow{\text{نخرج في المقام } c^2 \text{ عامل مشترك}} \frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

$$\frac{t}{t_0} = \frac{c}{c\sqrt{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}} \Rightarrow \frac{t}{t_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}} \xrightarrow{\text{معامل لورنز } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}} \frac{t}{t_0} = \gamma$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{t}{t_0} > 1 \Rightarrow \boxed{t = \gamma\, t_0}$$

أي الزمن الذي يقيسه المراقب الخارجي أكبر من الزمن الذي يقيسه المراقب الداخلي أي تمدد الزمن وتباطئ بالنسبة للمراقب الخارجي $\gamma > 1 \Rightarrow \boxed{t > t_0}$

تطبيق (مفارقة التوأمان):

بفرض أن أخويين توأمين أحدهما رائد فضاء طار بسرعة قريبة من سرعة الضوء في الخلاء $v = \frac{\sqrt{899}}{30}c$ ، وبقي رائد الفضاء في رحلته سنة واحدة وفق ميقاتية يحملها، فما الزمن الذي انتظره أخوه التوأم على الأرض ليعود رائد الفضاء من رحلته ؟

الحل:

الزمن الذي سجلته الميقاتية التي يحملها رائد الفضاء (المراقب الداخلي) : $t_0 = 1\ year$.

الزمن الذي سجله المراقب الخارجي للرحلة (الاخ التوأم الذي بقي على الأرض): $t = ?$

$$t = \gamma\, t_0$$

لدينا $v = \frac{\sqrt{899}}{30}c$ نحسب γ

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma \frac{1}{\sqrt{1-\frac{(\frac{\sqrt{899}}{30}c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{899}{900}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{900}{900}-\frac{899}{900}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{900}}} = \sqrt{900} = 30$$

$$\boxed{t = 30 \times 1 = 30\ year}$$

أي أن الأخ التوأم انتظر ثلاثين عاماً حتى انتهت رحلة أخيه التوأم التي استغرقت بالنسبة له عاماً واحداً.

سؤال نظري (25) انطلقت مركبة فضاء من الأرض نحو الشمس بسرعة ثابتة بالنسبة لمراقب على سطح الأرض

تسجل العدادات في المحطة على الأرض (المراقب الخارجي) الآتي: المسافة المقطوعة L'_0 وزمن الرحلة t

وتسجل عدادات مركبة الفضاء (المراقب الداخلي) المعطيات الآتية: المسافة المقطوعة L' وزمن الرحلة t_0 **والمطلوب :**

1. برهن أنه تتقلص المسافة L' بالنسبة للمراقب الداخلي وتكون أقل من المسافة L'_0 التي يقيسها المراقب الخارجي
2. برهن أنه طول المركبة بالنسبة للمراقب الخارجي على الأرض L أقصر مما هو عليه L_0 بالنسبة للمراقب الداخلي في المركبة

الحل :

1. تسجل العدادات في المحطة على الأرض (المراقب الخارجي) الآتي: المسافة L'_0 والزمن t
   - المسافة التي تقطعها المركبة بين الأرض و الشمس بالنسبة للمراقب الخارجي L'_0
   - الزمن الذي استغرقته مركبة الفضاء في رحلتها بالنسبة للمراقب الخارجي: t

   فيكون : $L'_0 = v\, t$

   وتسجل عدادات مركبة الفضاء (المراقب الداخلي) المعطيات الآتية: المسافة L' والزمن t_0
   - المسافة التي تقطعها المركبة بين الأرض و الشمس بالنسبة للمراقب الداخلي L'،
   - الزمن الذي استغرقته مركبة الفضاء في رحلتها بالنسبة للمراقب الداخلي t_0

   فيكون: $L' = v\, t_0$

   بقسمة العلاقتين بعضهما على بعض فنجد: $\frac{L'_0}{L'} = \frac{t}{t_0}$

$$\xRightarrow{t=\gamma t_0} \frac{L'_0}{L'} = \frac{\gamma t_0}{t_0}$$

$$L' = \frac{L'_0}{\gamma} \Rightarrow \boxed{L'_0 = \gamma L'}$$

أي تتقلص المسافة L' بالنسبة للمراقب الداخلي وتكون أقل من المسافة L'_0 التي يقيسها المراقب الخارجي لأن :

$$L'_0 = \gamma L' \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{L'_0 > L'}$$

2. بالنسبة لطول المركبة الفضائية (وفق منحى سرعتها)
   - طول المركبة الفضائية بالنسبة للمراقب الأرضي (الخارجي) هو : L الموجود في المحطة لأن المركبة الفضائية متحركة بالنسبة له
   - طول المركبة الفضائية بالنسبة للمراقب (الداخلي) الموجود في المركبة الفضائية هو : L_0

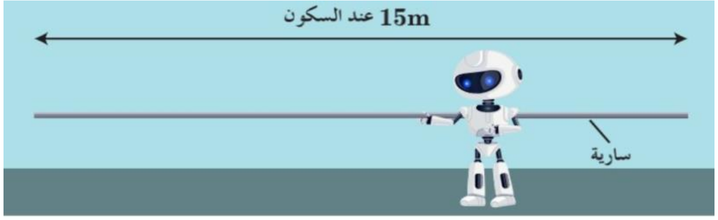
   فيكون طول المركبة بالنسبة للمراقب الخارجي على الأرض L أقصر مما هو عليه L_0 بالنسبة للمراقب الداخلي في المركبة لأن :

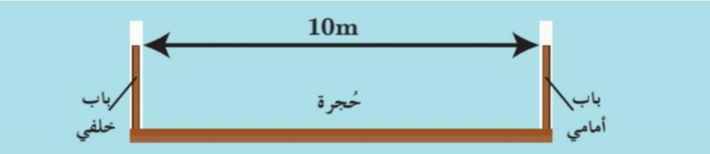
$$L_0 = \gamma L \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{L_0 > L}$$

تطبيق (السارية و الحجرة):

بفرض أن روبوتاً رياضياً يحمل سارية أفقية طولها وهي ساكنة $15m$، يتحرك بسرعة أفقية $v = 0.75\,c$ وأمامه حجرة لها بابان أمامي وخلفي، البعد بينهما $10\,m$، يمكن التحكم بفتحهما، و إغلاقهما آنياً بالنسبة لمراقب ساكن ، هل يمكن أن تعبر السارية الحجرة بأمان إذا أغلق المراقب الساكن البابين وفتحهما آنياً (بالنسبة له) عند عبور الروبوت مع السارية للحجرة؟ (نعد $\sqrt{0.4375} \approx 0.66$).

الحل: يعد المراقب الساكن طول السارية المتحركة L وطولها وهي ساكنة L_0 فيكون:





يجب حساب $L = ?$ من :

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \xrightarrow{v=0.75\,c}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{0.75^2 c^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{0.4365}} = \frac{1}{0.66}$$

- نعوض فنجد:

$$L = \frac{15}{\frac{1}{0.66}}$$

$$L = 9.9\,m < 10\,m$$

- لذلك يمكن أن تعبر السارية بأمان.

سؤال نظري (26) انطلاقاً من العلاقة $m = \gamma m_0$ برهن أن الكتلة تكافئ الطاقة وفق الميكانيك النسبي

الحل : وفق الميكانيك النسبي فإن الكتلة تزداد بزيادة السرعة،

وفق العلاقة المعطاة : $m = \gamma m_0$ حيث m الكتلة عند الحركة، m_0 الكتلة عند السكون.

$$\Delta m = m - m_0$$

$$\xrightarrow{m=\gamma m_0 \text{ نعوض}} \Delta m = \gamma m_0 - m_0 \xrightarrow{m_0 \text{ عامل مشترك}} \Delta m = m_0[\gamma - 1]$$

تعيين γ بالاستعانة بدستور التقريب

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

ووفق دستور التقريب: $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$، بعدّ $\varepsilon \ll 1$ من اجل السرعات الصغيرة يكون: $\gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$

$$\xrightarrow{\Delta m \text{ نعوض في}} \Delta m = m_0\left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right) \Rightarrow \Delta m = m_0\left(\frac{v^2}{2c^2}\right) \Rightarrow \Delta m = \frac{\frac{1}{2} m_0 . v^2}{c^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta m = \frac{E_k}{c^2}}$$

نستنتج عندما يتحرك الجسم تزداد كتلته بمقدار يساوي طاقته الحركية مقسومة على رقم ثابت c^2، أي أن الكتلة تكافئ الطاقة.

سؤال نظري (27) انطلاقاً من العلاقة $\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$ برهن أن الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي هي مجموع طاقتين سكونية وحركية

الحل :

$$\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$$

إن $\Delta m = m - m_0$ حيث m الكتلة عند الحركة، m_0 الكتلة عند السكون. , فتصبح العلاقة : $m - m_0 = \frac{E_k}{c^2}$

نضرب طرفي العلاقة بالثابت (مربع سرعة الضوء) c^2 نجد : $m.c^2 - m_0.c^2 = E_k$

$$E = E_0 + E_k$$

إن الطاقة الكلية E في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية E_0 و الطاقة الحركية E_k :

- الطاقة السكونية: $\mathbf{E_0 = m_0.c^2}$
- الطاقة الحركية: $\mathbf{E_k = E - E_0}$
- الطاقة الكلية: $\mathbf{E = m.c^2}$

تطبيق 6: يتحرك إلكترون في أنبوب تلفاز بطاقة حركية $27 \times 10^{16} J$

1. احسب النسبة المئوية للزيادة في كتلة الإلكترون نتيجة طاقته الحركية.
2. احسب طاقته السكونية.

علماً أن: $c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ ، $m_e = 9 \times 10^{-31} kg$

الحل:

.1

$$E_k = E - E_0$$
$$E_k = m.c^2 - m_0.c^2$$
$$E_k = (m - m_0)c^2$$
$$m - m_0 = \frac{E_k}{c^2}$$
$$m - m_0 = \frac{27 \times 10^{16}}{(3 \times 10^{8})^2} = 3 \times 10^{-32} kg$$

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\Delta m}{m_0} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{3 \times 10^{-32}}{9 \times 10^{31}} \times 100 = 3.33\ \%$$

2. طاقة الإلكترون السكونية:

$$E_0 = m_0.c^2$$
$$E_0 = 9 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^{8})^2$$
$$\boxed{E_0 = 81 \times 10^{-15} J}$$

سؤال نظري (28) تعطى علاقة الطاقة الكلية في التحريك النسبي بالعلاقة $E = \gamma m_0.c^2$ استنتج منها عبارة الطاقة الحركية في التحريك الكلاسيكي $E_k = \frac{1}{2} m_0.v^2$

صيغة أخرى للسؤال : انطلاقاً من علاقات الميكانيك النسبي استنتج العلاقة المحددة للطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء أي $v \ll c$ فإن $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$

الحل:

$$E = \gamma m_0.c^2$$

إن الطاقة الكلية E في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية E_0 و الطاقة الحركية E_k : $E = E_0 + E_k$ نعوض :

$$E_0 + E_k = \gamma m_0.c^2 \Rightarrow E_k = \gamma m_0.c^2 - E_0 \xrightarrow{E_0 = m_0.c^2}$$

$$E_k = \gamma m_0.c^2 - m_0.c^2 \Rightarrow E_k = m_0.c^2[\gamma - 1]$$

تعيين γ بالاستعانة بدستور التقريب

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

ووفق دستور التقريب: $(1 + \bar{\varepsilon})^n \approx 1 + n\bar{\varepsilon}$ ، بعدّ $\varepsilon \ll 1$ من اجل السرعات الصغيرة يكون: $\gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$

$$\xrightarrow{\text{نعوض في } E_k} E_k = m_0.c^2\left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right) \Rightarrow E_k = m_0.c^2\left(\frac{v^2}{2c^2}\right) \Rightarrow E_k = c^2 \frac{\frac{1}{2} m_0.v^2}{c^2}$$

الطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي : $\boxed{E_k = \frac{1}{2} m_0.v^2}$

سؤال نظري (29) في الميكانيك النسبي انطلاقاً من العلاقة $E^2 = {E_0}^2 + P^2C^2$ حيث كمية الحركة P والطاقة السكونية E_0 والطاقة الكلية E استنتج العلاقة المحددة لكمية الحركة في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء أي $v \ll c$ فإن $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$

الحل:

$$E^2 = {E_0}^2 + P^2C^2 \Rightarrow P^2C^2 = E^2 - {E_0}^2 \xrightarrow{C^2 \text{ نقسم الطرفين على}}$$

$$P^2 = \frac{E^2 - {E_0}^2}{c^2} \xrightarrow{E_0 = m_0.c^2 \text{ و } E = m.c^2} P^2 = \frac{m^2.c^4 - {m_0}^2.c^4}{c^2} \xrightarrow{C^2 \text{ نختصر}}$$

$$P^2 = m^2.c^2 - {m_0}^2.c^2 \xrightarrow{c^2 \text{ عامل مشترك}} P^2 = c^2(m^2 - {m_0}^2) \xrightarrow{m = \gamma m_0}$$

$$P^2 = c^2(\gamma^2 m_0^2 - m_0^2) \xrightarrow{m_0 \text{ عامل مشترك}} P^2 = m_0^2 c^2(\gamma^2 - 1)$$

تعيين γ^2 بالاستعانة بدستور التقريب $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$

ووفق دستور التقريب: $(1+\bar{\varepsilon})^n \approx 1 + n\bar{\varepsilon}$، بعدِّ $\varepsilon \ll 1$ من اجل السرعات الصغيرة يكون: $\gamma^2 = \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$

$$\xrightarrow{P^2 \text{ نعوض في}} P^2 = m_0^2c^2\left(1 + \frac{v^2}{c^2} - 1\right) \Rightarrow P^2 = m_0^2c^2\left(\frac{v^2}{c^2}\right) \Rightarrow P^2 = m_0^2 v^2 \xrightarrow{\text{نجذر الطرفين}}$$

كمية الحركة في الميكانيك الكلاسيكي : $\boxed{P = m_0.v}$

فسر علمياً باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة (تعاليل خارجية)

1. وفق الميكانيك النسبي عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن زمنه يتمدد وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$t = \gamma\, t_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{t > t_0}$$

2. وفق الميكانيك النسبي عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن طوله يتقلص وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$L = \frac{L_0}{\gamma} \Rightarrow L_0 = \gamma L$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{L_0 > L}$$

3. وفق الميكانيك النسبي عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن المسافة التي يقطعها تتقلص وفقاً لقياساته

$$L' = \frac{L'_0}{\gamma} \Rightarrow L'_0 = \gamma L'$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{L'_0 > L'}$$

4. وفق الميكانيك النسبي عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن كتلته تزداد وفق قياس جملة المقارنة تلك

$m = \gamma m_0$ حيث m الكتلة عند الحركة، m_0 الكتلة عند السكون.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{m > m_0}$$

5. في الميكانيك النسبي لا تنعدم الطاقة الكلية النسبية لجسم يقف عند مستوي مرجعي

إن الطاقة الكلية E في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية E_0 و الطاقة الحركية E_k : $E = E_0 + E_k$
عندما يقف الجسم تنعدم طاقته الحركية $E_k = 0$
ولا تنعدم طاقته السكونية $E_0 = m_0.c^2 \neq 0$ لأن الجسم يملك كتلة سكونية أي لا تنعدم الطاقة الكلية النسبية $E = E_0 \neq 0$

- اختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. أفترض أن صاروخين في الخلاء يتحرك كل منهما نحو الآخر بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء، وفي لحظة ما أضاء الصاروخ الاول مصابيحه، إن سرعة ضوء الصاروخ الأول بالنسبة للصاروخ الثاني هي:

a- c b- أكبر من c c. أصغر من c d. معدومة

توضيح الإجابة: لأن سرعة الضوء ثابتة مهما تغيرت سرعة المراقب المنبع الضوئي

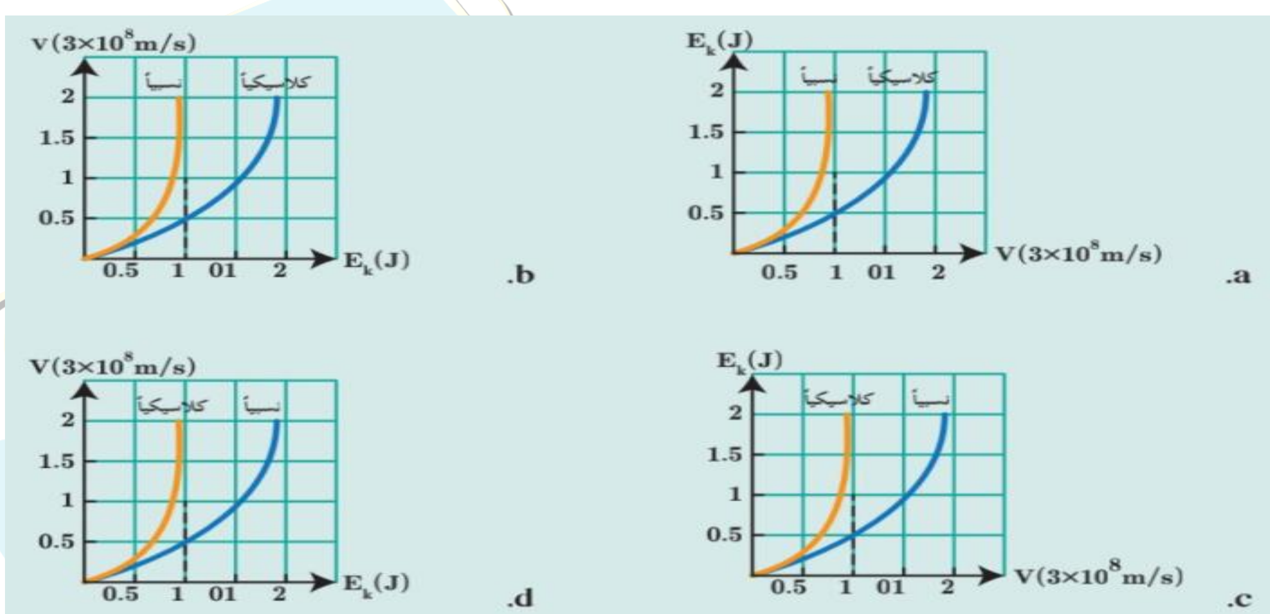
2. أفترض أن طاقم سفينة فضاء تطير بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء يشاهدون تسجيلاً لمباراة كرة قدم مدتها ساعة ونص، و يتابعهم مراقب أرضي بتلسكوب دقيق جداً، فيرى مدة المباراة:

a- هي نفسها   b- أكبر   c- أصغر   d- معدومة

توضيح الإجابة: لأن الزمن يتمدد بالنسبة للمراقب الخارجي (الأرضي) حسب العلاقة : $t = \gamma\, t_0$

$\Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow \boxed{t > t_0}$

3. المنحني البياني الذي يمثل العلاقة بين الطاقة الحركية لجسم ما، وسرعته هو: الإجابة الصحيحة a لأن السرعة يجب أن لاتتخطى سرعة الضوء .



ثانياً: أجب عن السؤالين الآتيين:

1. يحاول العلماء عند دراستهم خصائص الجسيمات تحريكها بسرعات كبيرة جداً باستخدام المسرّعات، هل يمكن أن تصل سرعة هذه الجسيمات إلى سرعة انتشار الضوء في الخلاء تماماً؟ لماذا؟

لا، بما أن الجسيم يمتلك كتلة سكونية فكلما اقتربت سرعته من سرعة الضوء في الخلاء زادت كتلته و بالتالي سيحتاج لقوة اكبر لدفعه فإذا تناهت سرعته إلى سرعة الضوء في الخلاء يحتاج إلى إعطاءه قوة لا نهائية وعذا غير ممكن.

2. يقف جسم ساكن عند مستو مرجعي (سطح الأرض مثلاً)، ما قيمة طاقته الحركية عندئذٍ؟ وما قيمة طاقته الكامنة الثقالية بالنسبة للمستوي المرجعي؟ هل طاقته الكلية النسبية معدومة؟ ولماذا؟

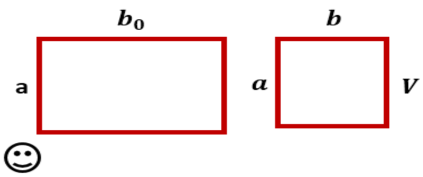
طاقته الحركية معدومة لإنعدام سرعته، طاقته الكامنة الثقالية معدومة بالنسبة للمستوى المرجعي لأن ارتفاع الجسم عنه معدوم، طاقته الكلية النسبية غير معدومة لأنها مجموع الطاقة الحركية و الطاقة السكونية، صحيح أن طاقته الحركية معدومة إلا أن طاقته السكونية موجودة مازال يمتلك كتلة سكونية.

$$E = E_0 + E_k = m_0c^2 + 0 = m_0c^2 \neq 0$$

ثالثاً: حل المسائل الآتية.

المسألة الأولى (درس) : جسم مستطيل الشكل طوله وهو ساكن b_0 يساوي ضعفي عرضه a، يتحرك هذا الجسم بحيث يكون طوله موازياً لشعاع سرعته $\vec{v}$ بالنسبة لمراقب في الجملة الساكنة فيبدو له مربعاً، احسب قيمة سرعة الجسم.

الحل:



المسألة الثانية (درس) : يتحرك إلكترون بسرعة $v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$ ، **المطلوب:** احسب كمية حركة الإلكترون وفق قوانين الميكانيك الكلاسيكي، ثم وفق الميكانيك النسبي، أيهما أصح برأيك؟

المعطيات: $v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$ ، $C = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ $m_e = m_0 = 9 \times 10^{-31}\ kg$

المطلوب: كمية الحركة: $P_{\text{نسبيا}} = ?$ $P_{\text{كلاسيكيا}} = ?$

الحل:

المسألة الثالثة (درس) : تبلغ الكتلة السكونية لبروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27} kg$ ، وطاقته الكلية تساوي إلى ثلاثة أضعاف طاقته السكونية، **المطلوب:** احسب كلاً من طاقته السكونية، وطاقته الحركية في الميكانيك النسبي، وكتلته في الميكانيك النسبي.

المعطيات: فرضاً: $E_{كلية} = 3E_{0\,السكونية}$ $m_0 = m_p = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$

المطلوب: $m = ?$ $E_{k_{نسبيا}} = ?$ $E_0 = ?$

المسألة (8) عامة: تخيل أن مركبة فضاء لها شكل مستطيل تقوم برحلة إلى نجم وفق مسار مستقيم، بحيث يكون شعاع سرعة المركبة دوماً موازياً لطول المركبة، فتسجل أجهزة المركبة المسافرة القياسات الآتية:

طول المركبة $100m$ ، عرض المركبة $25m$ ، المسافة المقطوعة 4 سنة ضوئية، زمن الرحلة $\frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة، وتسجل أجهزة المحطة الأرضية قياساتها لتلك الرحلة باستخدام تيلسكوب دقيق. احسب كلاً من سرعة المركبة وطولها وعرضها في أثناء المرحلة، و المسافة التي قطعتها وزمن الرحلة وفق قياسات المحطة الأرضية (سرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\ m.s^{-1}$)

المعطيات : القياسات بالنسبة للمركبة المسافرة (المراقب الداخلي) سجلت القياسات الآتية

طول المركبة $L'_0 = 100m$ عرض المركبة $d_0 = 25\ m$ ، المسافة المقطوعة: $L' = 4C$ سنة ضوئية ، زمن الرحلة $t_0 = \frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة

المطلوب: إيجاد قيم القياسات الآتية بالنسبة للمراقب الخارجي (المحطة الأرضية)

نموذج مؤتمت في النسبية الخاصة

1- تنص فرضية اينشتاين الأولى في النسبية الخاصة على أن:

A	سرعة انتشار الضوء ثابتة في الأوساط المختلفة مهما اختلفتْ سرعة المنبع الضوئي أو سرعة المراقب	B	سرعة انتشار الضوء متغيرة في الوسط نفسه مهما اختلفتْ سرعة المنبع الضوئي أو سرعة المراقب	C	سرعة انتشار الضوء في الخلاءِ هي نفسها $3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ في جميع جمل المقارنة	D	السرعة مفهوم نسبيّ يختلف باختلاف جملة المقارنة

2- وفق الفرضية الأولى لأينشتاين أي من هذه العبارات غير صحيحة:

A	سرعة الضوء تبقى ثابتة ولو اختلفت سرعة المنبع الضوئي	B	سرعة الضوء تبقى ثابتة ولو اختلفت سرعة المراقب	C	سرعة الضوء تبقى ثابتة ولو اختلفت جملة المقارنة العطالية	D	سرعة الضوء تبقى ثابتة ولو اختلف وسط انتشار الضوء

3- يسير شخص على الرصيف ويشاهد سيارة تتحرك ليلاً وتصدر ضوءاً سرعته C فإن سرعة ضوء السيارة :

A	تختلف باختلاف سرعة السيارة	B	تختلف باختلاف سرعة الشخص	C	تختلف باختلاف نوع السيارة	D	لا تختلف أبداً

4- أفترض أن صاروخين في الخلاء يتحرّك كل منهما نحو الآخر بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء وفي لحظة ما أضاء الصاروخ الأول مصابيحه فإن سرعة ضوء الصاروخ الأول بالنسبةِ للصاروخ الثاني هي:

A	C	B	أكبر من C	C	أصغر من C	D	معدومة

5- يتحرك جسم بسرعة v بالنسبة لمراقب خارجي ويطلق شعاعاً ضوئياً بعكس جهة حركته فتكون سرعة الشعاع الضوئي بالنسبة للمراقب الخارجي وفق الميكانيك النسبي مساوية

A	c	B	v	C	$c+v$	D	$c-v$

6- لا تختلف قيمة تسارع الجاذبية تم حسابه بواسطة نواس ثقلي بسيط في مخبر المدرسة عنه ضمن باص يسير بحركة مستقيمة منتظمة لأن:

A	القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية	B	تسارع الجاذبية ثابت مهما كان موضع النواس	C	الخيط لا يمتط في النواس الثقلي البسيط	D	لأن درجة الحرارة نفسها فلا يحدث تغير في قيمة تسارع الجاذبية

7- معامل لورينتس γ يعطى بالعلاقة:

A	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$	B	$\gamma = (1-\frac{v^2}{c^2})^{\frac{1}{2}}$	C	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}}$	D	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v}{c}}}$

8- يأخذ معامل لورينتس γ قيماً:

A	$\gamma = 1$	B	$\gamma < 1$	C	$\gamma > 1$	D	$\gamma \geq 1$

9- مركبة فضاء تتحرك بسرعة c $v = \frac{\sqrt{624}}{25}$ فتكون قيمة معامل لورينتس γ عندئذ:

A	$\gamma = \frac{1}{25}$	B	$\gamma = \frac{1}{50}$	c	$\gamma = 25$	D	$\gamma = 15$

10- يتحرك جسم بسرعة v فيكون معامل لورينتس لحركته مساوياً $\gamma = 3$ فإن سرعة الجسم بالنسبة لسرعة الضوء هي

A	$v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$	B	$v = \frac{2\sqrt{3}}{2}c$	C	$v = \frac{3\sqrt{2}}{2}c$	D	$v = \frac{2\sqrt{3}}{3}c$

11- تقطع مركبة فضائية مسافة 4 سنة ضوئية وبزمن $\frac{8}{\sqrt{5}}$ سنة فتكون سرعة المركبة أثناء الرحلة مقارنة بسرعة الضوء هي:

A	$\frac{\sqrt{5}}{2}\,c$	B	$\frac{\sqrt{5}}{8}\,c$	C	$\frac{\sqrt{5}}{2}$	D	$\sqrt{5}\,c$

12- تقطع مركبة فضائية مسافة 4 سنة ضوئية وبسرعة $v = 0.4c$ فتستغرق زمناً في رحلتها هو:

A	20 سنة	B	10سنة	C	20 سنة ضوئية	D	10 سنة ضوئية

13- في الميكانيك النسبي إن t هو الزمن الذي يقيسه المراقب الخارجي ويكون مقارنة بالزمن t_0 الذي يقيسه المراقب الداخلي :

A	$t = t_0$	B	$t > t_0$	C	$t \approx t_0$	D	$t \ll t_0$

14- في النسبية الخاصة عند حركة جسم بالنسبة لجملة مقارنة فإن زمنه يتمدد بالنسبة لجملة المقارنة وفق المعادلة التالية

A	$t_0 = t.\gamma$	B	$t = \frac{t_0}{\gamma}$	C	$t = \gamma\, t_0$	D	$t = \frac{\gamma}{t_0}$

15- يحدث تمدد للزمن في الميكانيك النسبي $t > t_0$ عندما تكون قيمة معامل لورينتس:

A	$\gamma = 1$	B	$\gamma < 1$	C	$\gamma > 1$	D	$\gamma \geq 1$

16- أخوين توأمين أحدهما رائد فضاء يطير بسرعة قريبة من سرعة الضوء في الخلاء $v = \frac{\sqrt{15}}{4}\,c$ وبقي رائد الفضاء في رحلته أربع سنوات وفق ميقاتية يحملها فيكون الزمن الذي انتظره أخوه التوأم على الأرض ليعود رائد الفضاء من رحلته هو:

A	10 سنة	B	16 سنة	C	4 سنوات	D	15 سنة

17- بفرض أن رائد فضاء يشير بسرعة قريبة من سرعة الضوء ويشاهد تسجيلاً مصوراً لأحد دروس منصة طريقي التعليمية ومدته $t_0 = 2h$ ويتابعه طالب آخر موجود على الأرض بتلسكوب دقيق جداً فتكون مدة الدرس t التي يقيسها هذا المراقب

A	$\frac{1}{2}h$	B	$1h$	C	$2h$	D	$3h$

18- مركبة فضاء طولها L أثناء الحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء وطولها وهي ساكنة L_0 فإنه وفق الميكانيك النسبي :

A	$L < L_0$	B	$L = L_0$	c	$L = 2\,L_0$	D	$L > L_0$

19- مسطرة طولها $L_0 = 10m$ وهي ساكنة وعلى فرض أنها تحركت بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن طولها L أثناء الحركة وفق الميكانيك النسبي هو:

A	$L = 30m$	B	$L = 20m$	c	$L = 10m$	D	$L = 8m$

20- وفق الميكانيك النسبي عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن طوله يتقلص وفق قياس جملة المقارنة تلك وفق المعادلة

A	$L_0 = L.\gamma$	B	$L = \frac{L_0}{\gamma}$	C	$L = \gamma\, L_0$	D	$L = \frac{\gamma}{L_0}$

21- مركبة فضائية طولها على الأرض وهي ساكنة $L_0 = 40m$ ويقوم مراقب ساكن في محطة أرضية بقياس طولها وهي متحركة بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء فيجد أنه يساوي $L = 10m$ فتكون قيمة معامل لورينتس مساوية

A	$\gamma = \frac{1}{4}$	B	$\gamma = 4$	C	$\gamma = 10$	D	$\gamma = 40$

22- مركبة فضائية لها شكل مستطيل طولها b_0 وعرضها a_0 وفق قياسات أجهزة المركبة تتحرك وفق مسار مستقيم و بحيث يكون شعاع السرعة موازٍ لطول المركبة فيكون عرض المركبة أثناء الرحلة هي:

A	$a = a_0$	B	$a > a_0$	c	$a < a_0$	D	$a = 2a_0$

23- مركبة فضاء لها شكل مستطيل طولها وهي ساكنة يساوي ستة أضعاف عرضها a ، تتحرك المركبة بحيث يكون طولها موازياً لشعاع سرعتها بالنسبة لمراقب خارجي فيبدو له أن طولها يساوي ضعفي عرضها a فتكون سرعة المركبة بالنسبة لسرعة الضوء هي :

A	$v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$	B	$v = \frac{2\sqrt{3}}{2}c$	C	$v = \frac{3\sqrt{2}}{2}c$	D	$v = \frac{2\sqrt{3}}{3}c$

24- في النسبية الخاصة عند حركة جسم بالنسبة لجملة مقارنة فإن كتلته تزداد بالنسبة لجملة المقارنة وفق المعادلة التالية

A	$m_0 = m.\gamma$	B	$m = \frac{m_0}{\gamma}$	C	$m = \gamma\, m_0$	D	$m = \frac{\gamma}{m_0}$

25- وفق الميكانيك النسبي عندما يتحرك الجسم بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن كتلته:

A	تزداد بالمقدار $\Delta m = \frac{E_k}{c}$	B	تنقص بالمقدار $\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$	C	تزداد بالمقدار $\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$	D	الكتلة مقدار ثابت دوماً

26- لا يستطيع العلماء تحريك الجسيمات بسرعات كبيرة جداً تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء لأن:

A	الجسيم عندئذ تزداد كتلته وتتحول إلى طاقة حركية	B	الجسيم عندئذ تنقص كتلته إلى أن تنعدم	c	الجسيم عندئذ يحتاج قوة لا نهائية لدفعه وهذا غير ممكن	D	الجسيم عندئذ تزداد كتلته وتتحول إلى طاقة كامنة

27- أي من العلاقات الآتية لا تعبر عن الطاقة الكلية وفق قوانين الميكانيك النسبي:

A	$E = m.c^2$	B	$E = E_0 + E_k$	C	$E = m_0.c^2$	D	$E = \gamma m_0.c^2$

28- في الميكانيك النسبي لا يمكن أن تنعدم الطاقة الكلية النسبية وذلك لأنه:

A	لا يمكن أن تنعدم الطاقة الكامنة الثقالية	B	لا يمكن أن تنعدم الطاقة الحركية	C	لا يمكن أن تنعدم الطاقة الكامنة السكونية	D	لا يمكن أن تنعدم الطاقة الكامنة المرونية

29- تعطى الطاقة الحركية وفق قوانين الميكانيك النسبي بالعلاقة:

A	$E_k = E_0 - E$	B	$E_k = (m_0 - m)c^2$	c	$E_k = \frac{1}{2}m_0 v^2$	D	$E_k = (\gamma - 1)m_0.c^2$

اقرأ النص الآتي وأجب عن الأسئلة (30 إلى 34)

في الميكانيك النسبي إذا كان الطاقة الكلية ثلاثة أضعاف الطاقة السكونية لجسيم متحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء

30- فإن معامل لورينتس

A	$\gamma = 9$	B	$\gamma = 6$	C	$\gamma = 3$	D	$\gamma = 2$

31- كتلة الجسيم أثناء حركته

A	$m = 9m_0$	B	$m = 6m_0$	c	$m = 3m_0$	D	$m = 2m_0$

32- سرعة الجسيم بالنسبة لسرعة الضوء هي

A	$v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$	B	$v = \frac{2\sqrt{3}}{2}c$	C	$v = \frac{3\sqrt{2}}{2}c$	D	$v = \frac{2\sqrt{3}}{3}c$

33- كمية حركة الجسيم

A	$P = 3m_0 v_0$	B	$P = 6mv$	c	$P = 3m_0 v$	D	$P_0 = 2m_0 v$

34- الطاقة الحركية للجسيم عندئذٍ

A	$E_k = 9E_0$	B	$E_k = 6E_0$	c	$E_k = 3E_0$	D	$E_k = 2E_0$