ميكانيك السوائل

حالات المادة

- إن حالات المادة الأكثر تواجداً في حياتنا اليومية هي: الغازية، السائلة، والصلبة.
- إن قوى التماسك بين جزيئات المادة السائلة ضعيفة مقارنة بتلك الموجودة بين جزيئات المادة الصلبة .

فسر:السائل جزيئاته تملك حرية الجريان ويأخذ شكل الوعاء الذي يُوضع فيه و تتأثر بسهولة للقوى الخارجية.

لأن قوى التماسك بين جزيئات المادة السائلة ضعيفة مقارنة بالمادة الصلبة .

فسر الغاز : يملأ الحيز الذي يوضع فيه :

لأن جزيئاته بينها قوى ترابط متناهية في الصغر فتتحرك بشكل حر لتملأ الحيز الذي توضع فيه .

فسر : إن دراسة حركة السوائل أكثر تعقيداً من دراسة الأجسام الصلبة :

لأن جزيئات السائل تنتقل بالنسبة إلى بعضها البعض وذلك لضعف قوى التجاذب فيما بينها، وتكون لجسيمات السائل عند نقطة معينة خلال فترة زمنية قصيرة جداً قيم محددة للضغط والكثافة ودرجة الحرارة والسرعة. يمكن أن تتغيّر هذه القيم من لحظة إلى أخرى، ومن نقطة إلى نقطة أخرى .

تعاريف ومصطلحات

جسيم السائل : جزء من السائل، أبعاده صغيرة جداً بالنسبة لأبعاد السائل وكبيرة بالنسبة لأبعاد جزيئات السائل.

فمثلا إذا جرى السائل في أنبوبة قطرها $10cm$ نعدّ قطرة كرويّة من السائل قطرها $1mm$ جسيم السائل.

خط الانسياب:

هو خط وهمي يبيّن المسار الذي يسلكه جسيم السائل الجاري ، ويمسّ في كل نقطة من نقاطه شعاع السرعة في تلك النقطة.

فسر : عند جريان سائل لا يتقاطع خطا إنسياب :

لأنه لو تقاطع خطا انسياب كان لجسيم السائل في نقطة التقاطع شعاعي سرعة و هذا مستحيل .

أنبوب التدفق: أنبوب وهمي يحتوي على السائل نحصل عليه إذا أخذنا مساحة s عموديّة على اتجاه جريان سائل جريانهُ مستقر، ورسمنا على محيط هذه المساحة خطوط الانسياب.

الجريان المستقر: هو الجريان الذي تكون فيه سرعة كل جسيم من جسيمات السائل في نقطة ما من السائل ثابتة لا تتغير بمرور الزمن (مع الإشارة إلى أن هذه السرعة قد تختلف من نقطة إلى أخرى في السائل) وتكون خطوط الانسياب محددة وثابتة .

- الجريان المستقر المنتظم : جريان مستقر تكون فيه سرعة ثابتة في جميع نقاط السائل و خطوط الانسياب متوازية .
- الجريان المستقر غير المنتظم : جريان مستقر تكون فيه السرعة مختلفة من نقطة لأخرى و خطوط الانسياب ثابتة و لكنها غير متوازية .

ميزات السائل المثالي :

1. **غير قابل للانضغاط** :حجمه ثابت لا يتغير بتغيّر ضغطه وبالتالي كثافته ثابتة.
2. **عديم اللزوجة:** قوى الاحتكاك الداخلي بين طبقاته مهملة عندما تتحرك طبقة بالنسبة لأخرى - لذلك تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة أثناء الجريان.
3. **جريانه مستقر** : حركة جسيمات السائل لها خطوط انسياب محددة - وسرعة هذه الجسيمات عندً نقطة معينة تكون ثابتة مع مرور الزمن.
4. **جريانه غير دوراني:** لا تتحرك جسيمات السائل المثالي حركة دورانية حول أي نقطة في مجرى السائل

قوانين للتذكرة :

الكتلة الحجمية = هي حاصل كتلة الجسم على حجمه .

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho V \Leftrightarrow V = \frac{m}{\rho}$$

الضغط :هو حاصل قسمة القوة الضاغطة على مساحة السطح .

$$P = \frac{F}{s} \Leftrightarrow F = P.s$$

عمل القوة الثابتة = القوة × الانتقال

$$W = \mp F.x$$

مع مراعاة الاشارة إن كان العمل محرك موجب(القوة بجهة الانتقال) و مقاوم سالب (القوة بعكس الانتقال)

حجم الجسم الأسطواني = مساحة المقطع × الارتفاع

$$V = s.x$$

معدلات التدفق :

تعبر معدلات التدفق عن غزارة تدفق السائل أي كميَّة السائل التي تعبر مقطع الأنبوب خلال وحدة الزمن .

معدل التدفق الكتلي - وحدته $kg.s^{-1}$ **:** كتلة كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب خلال وحدة الزمن .

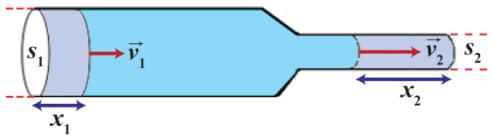
$$Q = \frac{m}{\Delta t}$$

معدل التدفق الحجمي (معدل الضخ)وحدته $m^3.s^{-1}$ **:** حجم كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب خلال وحدة الزمن .

$$Q' = \frac{V}{\Delta t}$$

معادلة الاستمرارية : علاقة السرعة بمساحة المقطع .

عندما يتحرك سائل داخل أنبوب ((السائل يملأ الأنبوب تماماً ، ولا يتجمع داخله، وإنّما يكون جريانه مستمراً)) مقطعا طرفيه مختلفان فإن :



خلال نفس الزمن :

كمية السائل الخارج من المقطع الثاني خلال وحدة الزمن = كمية السائل الداخل إلى المقطع الأول خلال وحدة الزمن

$$Q'_1 = Q'_2$$

$$\frac{V_1}{\Delta t} = \frac{V_2}{\Delta t}$$

$$\frac{s_1.x_1}{\Delta t} = \frac{s_2.x_2}{\Delta t}$$

$$\frac{s_1.v_1.\Delta t}{\Delta t} = \frac{s_2.v_2.\Delta t}{\Delta t}$$

$$s_1.v_1 = s_2.v_2$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{s_1}{s_2}$$

و هذه معادلة الاستمرارية

نستنتج سرعة الجريان تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنبوب

تعميم : معدل التدفق الحجمي عبر أنبوب متغير المقطع مقدار ثابت و تتناسب السرعة عكساً مع مساحة المقطع .

$$Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2 = .. = const$$

نفسر عدة ظواهر وفق معادلة الاستمرارية

- لمرشات الماء ثقوب صغيرة
- فوهة أنبوب الاطفاء ضيقة . (صغيرة المساحة)
- نغلق جزء من فوهة خرطوم الماء لدفعه مسافة أكبر.
- سرعة خروج الماء من ثقب من انبوب أكبر من سرعة خروجه من فوهته
- سرعة خروج السائل من ابرة محقن أكبر من سرعة اندفاع مكبس المحقن
- تكون فتحات خروج الغاز في موقد الغاز ضيقة (صغيرة المساحة)

جوابها : لأن سرعة الجريان تتناسب عكساً مع مساحة المقطع $Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2 = .. = const$ فالمقطع الضيق يسبب زيادة سرعة السائل(أو الغاز) فيندفع لمسافة أكبر .

تختلف السرعة من مكان لآخر في نهر أفقي .

لأن سرعة الجريان تتناسب عكساً مع مساحة المقطع

$$Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2 = .. = const$$

عندما يندفع سائل من خرطوم للأسفل مساحة المقطع تنقص : لأن سرعة الجريان تتناسب عكساً مع مساحة المقطع عند هبوط السائل تزداد السرعة فتنقص مساحة المقطع $Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2 = .. = const$

عندما يندفع سائل من خرطوم للأعلى مساحة المقطع تزداد : لأن سرعة الجريان تتناسب عكساً مع مساحة المقطع عند صعود السائل تنقص السرعة فتزداد مساحة المقطع $Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2 = .. = const$

ملاحظات للمسائل :

معدل التدفق الحجمي يعطى بالعلاقات :

$$Q' = s.v \quad \& \quad Q' = \frac{V}{\Delta t}$$

يفيد في حساب أي مقدار من العلاقات عند معرفة بقية المقادير .

- معادلة الاستمرارية بين مقطعين مختلفين :

$$Q' = s_1.v_1 = s_2.v_2$$

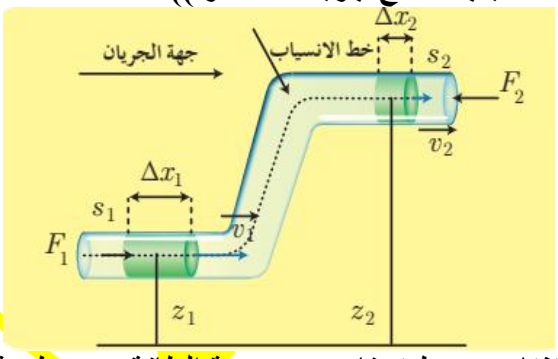
- معادلة الاستمرارية في أنبوب متفرع لفرعين مقطعاهما s_1, s_2 : $s.v = s_1.v_1 + s_2.v_2$
- معادلة الاستمرارية حين التفرع إلى N فرع لها نفس المقطع s_1 (مثل **رشاش ماء**) : $s.v = N.s_1.v_1$

Q'	معدل التدفق الحجمي	$m^3.s^{-1}$
V	حجم السائل المتدفق	m^3
Δt	زمن التدفق	N
s	مساحة المقطع	m^2
v	سرعة الجريان	$m.s^1$

نظرية برنولي للجريان المستقر:

تنتج معادلة برنولي من تطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة على سائل يتدفق بشكل منتظم من خلال أنبوب

نص نظرية برنولي : ((مجموع: الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجوم والطاقة الكامنة الثقالية لوحدة الحجوم تساوي مقداراً ثابتاً ولا يتغير في أي نقطة من خط الانسياب لمائع جريانه مستقر))



الاستنتاج : نطبق قانون مصونية الطاقة عبر نظرية الطاقة الحركية على جزء من السائل كتلته m الوضع الابتدائي المقطع 1 و النهائي المقطع 2

$$\Delta E_k = \Sigma W \quad : E_{k2} - E_{k1} = W_{Tot}$$

عمل القوى الضاغطة :عند المقطع الأول بجهة الجريان(عملها محرك) و عند المقطع الثاني تعاكسه (عملها مقاوم) :

$$W_1 = F_1.\Delta x_1 = P_1.s_1.\Delta x_1 = P_1.\Delta V$$

$$W_2 = -F_2.\Delta x_2 = -P_2.s_2.\Delta x_2 = -P_2.\Delta V$$

وعمل قوة الثقل : مقاوم بحالة صعود

$$W_{\vec{w}} = -mgh = -mg(z_2 - z_1)$$

ليكون العمل الكلي

$$W_{Tot} = W_1 + W_2 + W_{\vec{w}}$$

$$W_{Tot} = P_1\Delta V - P_2\Delta V - mg(z_2 - z_1)$$

نعوض العمل والطاقة الحركية ثم نرتب لنجد :

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = P_1\Delta V - P_2\Delta V - mg(z_2 - z_1) \Rightarrow$$

$$P_1\Delta V + \frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_1 = P_2\Delta V + \frac{1}{2}mv_2^2 + mgz_2$$

نقسم الطرفين على الحجم مع ملاحظة أن الكتلة الحجمية : $\rho = \frac{m}{\Delta V}$

$$\boxed{P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2}$$

و تصبح بشكلها العام :

$$\boxed{P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho.g.z = const}$$

الطاقة الحركية لوحدة الحجوم: $\frac{\Delta E_k}{\Delta V} = \frac{1}{2}\rho v^2$

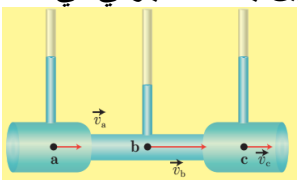
الطاقة الكامنة الثقالية لوحدة الحجوم: $\frac{\Delta E_k}{\Delta V} = \rho.g.z$

وتعد نظرية برنولي العلاقة الأساسية في تحريك السوائل و تربط تغيرات الضغط بالسرعة والارتفاع .

شرح الرموز :

ρ	**الكتلة الحجمية للسائل**	$kg.m^{-3}$
P	**ضغط السائل**	Pa
z	**الارتفاع**	m
v	**سرعة الجريان**	$m.s^{1}$

فسر : يتغير الضغط عند المصابين بانسداد جزئي في الشرايين أو ماذا تلاحظ في الشكل :



تزداد سرعة الجريان بنقصان المقطع :

$$Q' = sv = const$$

و بالتالي ينقص الضغط $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz = const$

ماذا يحدث لسرعة الدخان الخارج من فوهة أفقية لمدخنة حين تهب ريح أفقية ؟

تزداد سرعة الجريان لنقصان الضغط نتيجة الريح الأفقية حيث $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz = const$

فسر انطباق ورقتين متقاربتين عندما ننفخ بينهما بسرعة

لأن ازدياد سرعة الجريان يسبب نقصان الضغط بينهما $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz = const$ و الضغط الجوي الخارجي يدفع الورقتين ليسبب انطباقهما

فسر ينصح بفتح نوافذ البيوت الخشبية عند هبوب عواصف : لأن الضغط الخارجي ينقص بسبب ازدياد السرعة $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz = const$ لتنشأ قوة دافعة للأعلى فيسبب انتزاع السقف لذلك نفتح النوافذ لمعادلة الضغط .

فسر تخرج ستائرالنوافذ المفتوحة السيارة للخارج عند حركتها : لأن الضغط الخارجي ينقص بسبب ازدياد السرعة $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz = const$ فيدفع الضغط داخل السيارة الستائر للخارج.

تطبيقات نظرية برنولي :

1- الضغط في السوائل الساكنة – معادلة المانومتر

استنتج علاقة فرق الضغط بين نقطتين من سائل ساكن

نطبق نظرية برنولي

$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g z_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g z_2$$

لكن السائل ساكن

$$v_1=v_2=0$$

$$P_1+\rho g z_1=P_2+\rho g z_2$$

$$P_1-P_2=\rho g\left(z_2-z_1\right)=\rho g h$$

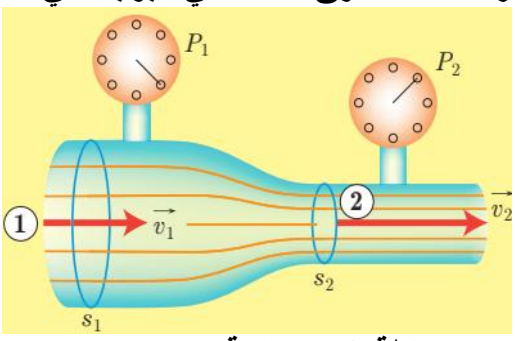
2- علاقة فرق الضغط بين مقطعي أنبوب أفقي و أنبوب فينتوري :

$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho.g.z_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho.g.z_2$$

$$z_1=z_2$$

$$\boxed{P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho.\left(v_2^2-v_1^2\right)}$$

وهذه علاقة فرق الضغط في أنبوب أفقي



ومن معادلة الاستمرارية يكون :

$$s_1 v_1=s_2 v_2 \quad :v_2=\frac{s_1}{s_2}v_1$$

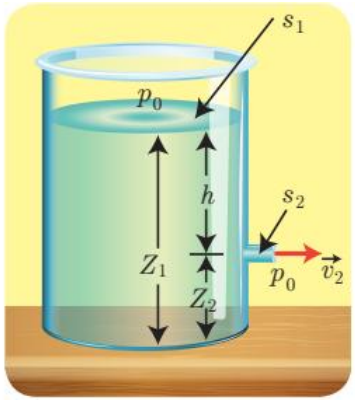
$$\boxed{P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho.\left(\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2-1\right)v_1^2}$$

وهذه معادلة أنبوب فينتوري لقياس سرعة الجريان

بقياس فرق الضغط يمكن قياس السرعة مع معرفة مساحات المقاطع .

ويمكن الكشف على الانسدادات في الشرايين عن طريق قياس الضغط الشرياني

3- سرعة تدفق سائل من فتحة صغيرة أسفل خزان واسع جدا –نظرية تورشيللي :



$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho.g.z_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho.g.z_2$$

$$P_1=P_2=P_0$$

$$s_1>>s_2\Rightarrow v_1=0$$

$$\rho.g.z_1=\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho.g.z_2$$

$$v_2^2=2g\left(z_2-z_1\right)=2.g.h$$

$$\boxed{v_2=\sqrt{2.g.h}}$$

نتيجة نظرية تورشيللي : ((سرعة خروج السائل من فتحة صغيرة بجانب أو بقعر خزان واسع تساوي سرقة سقوط جسيم مائع سقوط حر من ارتفاع h يساوي ارتفاع السائل عن الفتحة))

ملاحظات للمسائل :

- ✓ تستخدم نظرية برنولي في السوائل المتحركة بشكل عام .
- ✓ يجب تحديد المقدار المطلوب . و عزله وتعويض المعاليم .
- ✓ السرعة تحسب من قوانين الاستمرارية .
- ✓ عادة ما يطلب ضغط معين أو فرق ضغط .
- ✓ حاصل طرح z_1,z_2 هو فرق الارتفاع بين المقطعين و يرمز h . :

العمل الكلي = تغير الطاقة الحركية

$$\Delta E_k=W_{Tot}=\frac{1}{2}m\left(v_2^2-v_1^2\right)=\frac{1}{2}\rho V\left(v_2^2-v_1^2\right)$$

من أجل وحدة الحجوم :

$$\frac{\Delta E_k}{\Delta V}=\frac{W}{\Delta V}$$

- **إن كان المقطع ثابت و السرعة ثابتة :** $\Delta E_k=0$

النسبية الخاصة

نسبية السرعة

- بفرض مراقب ساكن تتحرك أمامه سيارة سرعتها v يطلق رامي منها سهم سرعته v' بالنسبة للسيارة **فما سرعة السهم بالنسبة للمراقب الساكن** إن كانت جهة السهم : أ- بجهة السيارة ، ب- عكس جهة السيارة ؟

أ- عندما تكون جهة السهم بجهة السيارة تكون سرعته بالنسبة للمراقب $v+v'$

ب- و عندما تكون عكس جهة السيارة السرعة $v-v'$

- بفرض انطلق شعاع ضوئي من السيارة بدل السهم في الحالتين السابقتين بسرعة c بالنسبة للسيارة **ما سرعة هذا الشعاع بالنسبة للمراقب كما في الحالتين ؟؟**

السرعة المقاسة للشعاع الضوئي هي c في الحالتين

- مركبتان تتحركان نحو بعضهما بسرعتين صغيرتين v,v' **ما سرعة كل منهما بالنسبة للأخرى ؟**

السرعة المقاسة هي $v+v'$

- لو أصبحت سرعة كل منهما قريبة من سرعة الضوء c **فما سرعة كل منهما بالنسبة للأخرى ؟**

السرعة المقاسة c سرعة الضوء .

- في تجارب قياس سرعة الضوء **هل تختلف السرعة المقاسة باختلاف المراقب أو المنبع أو سرعتهما ؟**

لا تختلف السرعة المقاسة لانتشار الضوء باختلاف المراقب او المنبع أو سرعتهما .

النتيجة

✓ السرعة مفهوم نسبي يختلف باختلاف المراقب .

✓ سرعة الضوء هي السرعة القصوى لا يمكن تجاوزها و لها نفس القيمة بالنسبة لجميع المراقبين .

- سؤال : تجرى تجربة قياس تسارع الجاذبية الأرضية بواسطة قياس دور نواس ثقلي بسيط في مخبر :

1- أكتب العلاقة المستخدمة $T_0=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$

2- نعيد التجربة و هل تختلف النتيجة إن قمنا بالقياس على سيارة تتحرك بحركة مستقيمة منتظمة

لا يختلف القياس بين المخبر والسيارة .

✓ **نتيجة :** إن تطبيق قوانين الفيزياء يتم بالصورة نفسها في جمل المقارنة العطالية و هي الجمل التي تتحرك بالنسبة إلى بعضها بحركة مستقيمة منتظمة

أكتب فرضيتا أينشتاين في النسبية الخاصة

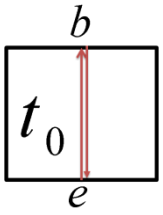
1- سرعة انتشار الضوء في الخلاء هي نفسها في جميع جمل المقارنة $c=3\times10^8 m.s^{-1}$

2- القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية .

تمدد الزمن

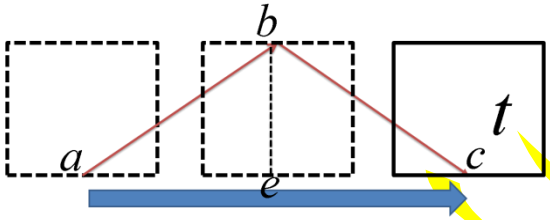
عربة تتحرك بسرعة v يرسل مراقب من أسفلها شعاع ضوئي ليعود منعكساً عن مرآة في سقف العربة إلى أسفلها يقيس هذا المراقب زمن حركة الشعاع فيكون t_0 و مراقب ساكن هذا الزمن فيكون t **اوجد العلاقة بين الزمنين و اكتب علاقة معامل لورنتس .**

بالنسبة للمراقب الداخلي لذي على القطار يكون طول مسار الشعاع



$$eb+be=2eb=ct_0$$

بالنسبة للمراقب الخارجي الساكن



يكون طول مسار الشعاع $ab+bc=2ab=ct$

وطول انتقال المنبع خلال ذلك $ae+ec=2ae=vt$

وبتطبيق نظرية فيثاغورث على المثلث القائم (abe)

$$ab^2=ae^2+be^2$$

$$\left(\frac{ct}{2}\right)^2=\left(\frac{vt}{2}\right)^2+\left(\frac{ct_0}{2}\right)^2$$

$$c^2t^2=v^2t^2+c^2t_0^2$$

نقسم الطرفين على c^2

$$t^2\left(c^2-v^2\right)=c^2t_0^2$$

نجذر

$$t^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)=t_0^2$$

نعزل t

$$t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=t_0$$

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

نعرف معامل لورنتس بالعلاقة $\gamma=\frac{t}{t_0}=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}>1$

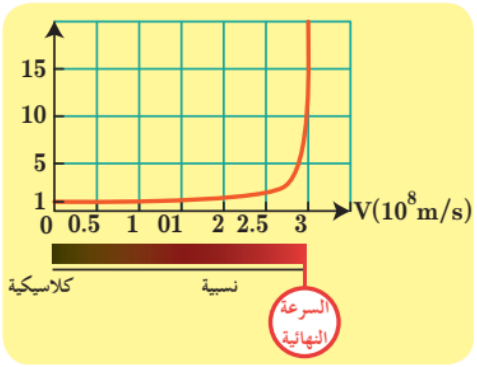
نلاحظ أن الزمن بالنسبة للمراقب الخارجي قد تمدد بالنسبة للمراقب الداخلي $t=\gamma t_0$

ملاحظات حول معامل لورنتس

- يعبر عن اختلافات القياسات بين المراقبين العطاليين
- علاقة معامل لورنتس $\gamma=\dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$
- قيمته تزداد بازدياد السرعة .
- قيمته $\gamma=1$ للجسم الساكن و للجسم المتحرك $\gamma>1$
- عندما تكون سرعة الجسم صغيرة يؤول للقيمة

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

- عندما تقترب السرعة من سرعة الضوء تزداد قيمته بشكل واضح وعندما $v=c\Rightarrow\gamma=\infty$
- يبين المنحني علاقة تغيره



مفارقة التوأمين :

توأمان عمر كل منها 20 سنة أحدهما رائد فضاء يسافر بمركبة فضائية تحلق بسرعة $v=\dfrac{\sqrt{899}}{30}c$ ويعود هذا الرائد بعد أن يقيس مدة سنة كاملة ما هي المدة التي انتظرها توأمه على الأرض وما عمر كل منهما بعد نهاية الرحلة .

نحسب معامل لورنتس

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{\frac{899}{900}c^2}{c^2}}}=$$

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{899}{900}}}=30$$

الزمن للمراقب الأرضي

$$t=\gamma t_0=30(1)=30years$$

عمر رائد الفضاء $20+1=21years$

عمر التوأم الأرضي : $20+30=50years$

تقلص الأطوال

مركبة فضائية تسافر بسرعة v من الأرض إلى كوكب آخر **أوجد العلاقة بين المسافة التي يقيسها مراقب داخلي على المركبة مع المراقب الخارجي الأرضي .**

المراقب الداخلي يقيس زمن t_0 و مسافة $L=vt_0$

المراقب الأرضي يقيس زمن $t=\gamma t_0$ و مسافة $L_0=vt$

بقسمة المسافتين نجد

$$\frac{L_0}{L}=\frac{vt}{vt_0}=\frac{t}{t_0}=\gamma$$

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

الحركة تسبب انكماش (تقلص) الطول

ملاحظات :1- بالنسبة لطول المركبة وفق شعاع السرعة بالنسبة للمراقب الداخلي L_0 و للمراقب الأرضي L

2- التقلص بالطول يحدث وفق حامل السرعة

3- المقدار المرمز بدليل (صفر0) يكون نسبياً ساكن للمراقب الذي يدرسه ، و الذي بدون صفر يكون متحرك نسبياً لهذا المراقب .. **لذلك يكون :**

المقدار	مسافة	طول	زمن
بالنسبة لمراقب داخلي	L	L_0	t_0
بالنسبة لمراقب أرضي	L_0	L	t

تطبيق السارية و الحجرة : سارية أفقية طولها $15m$ يحملها روبوت رياضي يتحرك بسرعة $v=0.8c$ ليصادف بطريقه حجرة لها بوابتان تعملان آلياً و حين تفتح أحدهما تغلق الأخرى آنياً :

A. هل تعبر السارية بسلام ؟

B. أعد الحل حين تكون سرعة الروبوت $v=0.6c$

نحسب معامل لورنتس و طول السارية بالنسبة للحجرة

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{0.64c^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{0.36}}=\frac{5}{3}$$

$L=\dfrac{L_0}{\gamma}=\dfrac{15}{\frac{5}{3}}=9m<10m$ تعبر السارية بأمان .

b. نعيد الحسابات للقيم الجديدة

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{0.36c^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{0.64}}=\frac{5}{4}$$

$$L=\frac{L_0}{\gamma}=\frac{15}{\frac{5}{4}}=12m>10m$$

لا تعبر السارية بسلام

الكتلة في الميكانيك النسبي (تكافؤ الكتلة و الطاقة)

وفق **الميكانيك الكلاسيكي** كتلة الجسم مقدار ثابت ،

ولكن وفق **الميكانيك النسبي** فإن كتلة الجسم تزداد بازدياد السرعة حيث نميز للجسم

- **كتلة سكونية** m_0 (بالنسبة لمراقب داخلي يكون الجسم ساكن بالنسبة له)
- **كتلة عند الحركة** m (بالنسبة لمراقب خارجي يكون الجسم متحرك بالنسبة له بسرعة v)

وتعطى العلاقة للكتلة في الميكانيك النسبي بالعلاقة

$$m = \gamma m_0$$

أي أن الكتلة تزداد بازدياد السرعة .

تكافؤ الكتلة و الطاقة

أثبت أن ازدياد الكتلة نتيجة الحركة يأتي من الطاقة الحركية للجسم (أي أن ازدياد الطاقة الحركية يتحول لازدياد في الكتلة)

إن ازدياد الكتلة بسبب الحركة هو :

$$\Delta m = m - m_0 = \gamma m_0 - m_0 = (\gamma - 1) m_0$$

لكن :

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

باعتبار السرعة صغيرة مقارنة بسرعة الضوء بالامكان التقريب ليصبح

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

$$\Delta m = \left(1+\frac{v^2}{2c^2}-1\right) m_0 = \frac{m_0 v^2}{2c^2}$$

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

أي أن الازدياد في الكتلة هو نسبة الطاقة الحركية إلى ثابت هو مربع سرعة الضوء . (مبدأ تكافؤ الكتلة و الطاقة)

الطاقة في الميكانيك النسبي :

انطلاقاً من مبدأ تكافؤ الكتلة و الطاقة اوجد علاقة الطاقة الحركية و الطاقة الكلية و الطاقة السكونية

$\Delta m = m - m_0 = \frac{E_K}{c^2}$ نضرب الطرفين بـ c^2

$$mc^2 - m_0 c^2 = E_K$$

$$E - E_0 = E_K$$

الطاقة الحركية حاصل طرح طاقتين **لذلك نعرف** :

فيكون في الميكانيك النسبي :

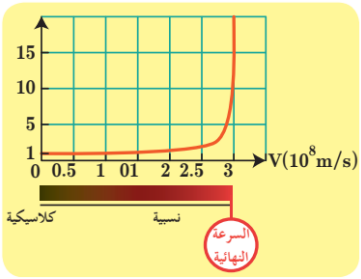
- **الطاقة الكلية** $E = mc^2$
- **الطاقة السكونية** $E_0 = m_0 c^2$
- **الطاقة الحركية** $E_K = E - E_0 = (\gamma - 1) m_0 c^2$

حدود النسبية

أقصى سرعة يسافر بها الانسان هي سرعة مكوك الفضاء التي تبلغ $27870 km.h^{-1} = 2.6\times10^{-8} c$

بالتالي يكون معامل لورنتس قريب جداً من الواحد بالتالي لا يمكن ملاحظة الفرق في القياسات الداخلية الخارجية للرحلات الفضائية في حدود السرعة الحالية .

ويظهر تغير معامل لورنتز للسرعة بالخط البياني



كيف تؤول قوانين النسبية إلى الكلاسيكية ؟؟

بين كيف تؤول الطاقة الحركيةالنسبية إلى الكلاسيكية ؟

الطاقة الحركية النسبية $E_K = E - E_0 = (\gamma - 1) m_0 c^2$

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

باعتبار السرعة صغيرة مقارنة بسرعة الضوء بالامكان التقريب ليصبح : $\gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$

$$E_K = \left(1+\frac{v^2}{2c^2}-1\right) m_0 c^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

و هي علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي

بين كيف تؤول كمية الحركة النسبية إلى الكلاسيكية ؟

كمية الحركة النسبية $P = mv = \gamma m_0 v$

بتقريب معامل لورنتز كما سبق:

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

$$P = m_0 v$$

و هي علاقة كمية الحركة الكلاسيكية