



GPhO

Muscat 2019

الأولمبياد الخليجي الثالث للفيزياء / المسابقة النظرية

مسقط – سلطنة عمان – الاثنين 7/10/2019 م

- مدة الامتحان خمس ساعات، ويحتوي ثلات مسائل، ومجموع علاماته (30) علامة ، توزع على الاسئلة توزيعاً غير متساوٍ.
- يجب أن لا تقوم بفتح المغلف الذي يحتوي الأسئلة قبل أن تسمع إشارة بدء المسابقة .
- لا يسمح لك بمغادرة مكانك المخصص بدون إذن ، إذا احتجت للمساعدة (آنفك الحاسبة لا تعمل ، حاجتك للذهاب إلى الحمام ،) الرجاء أن ترفع يدك لحين حضور أحد المنظمين .
- استخدم الوجه الأمامي من الورقة فقط.
- هناك أوراق إجابة محددة لكل مسألة (انظر ترويسة الصفحة لرقم السؤال والرمز المخصص له) اكتب إجاباتك في صفحات الإجابة الملائمة . صفحات الإجابة مرقمة لكل مسألة استخدم الصفحات حسب أرقام التسلسل .
- قم دائماً بتسجيل رقم السؤال الذي تقوم بإجابته ، وقم بنسخ الإجابة النهائية في المساحات المخصصة لها على أوراق الإجابة ، استخدم الأوراق الإضافية لكتابية الأشياء التي لا ترغب في أن تُصحّح . (مسودة) . إذا قمت بكتابة شيء لا ترغب في أن يُصحّح على أوراق الإجابة (مثل الحلول المبدئية أو الحلول الخطأة) فقم بشطبه .
- إذا احتجت أوراقاً إضافية لمسألة ما الرجاء أن ترفع يدك و تعلم المنظم (المراقب) برقم المسألة وسيقوم بإعطائك ورقة إجابة . (يمكنك تكرار ذلك طلب)
- استخدم أقل ما يمكن من النصوص الكتابية ؛ حاول تقديم إجاباتك على شكل معادلات ، أرقام ، رموز ، وأشكال توضيحية ، ومع ذلك فقد يلزمك كتابة نصوص كتابية في بعض الأحيان .
- بعد سماع إشارة انتهاء الامتحان يتوجب عليك التوقف عن الإجابة فوراً، وقم بوضع جميع الأوراق في المغلف على طاولتك ، لا يسمح لك بأخذ أي ورقة خارج غرفة المسابقة . إذا انتهيت من الحلول قبل إشارة النهاية فالرجاء أن ترفع يدك .



المؤلة (1) : انعدام الجاذبية (10 علامات)

يمكنك استخدام الثوابت الفيزيائية الآتية و قيمها العددية في حساباتك اللاحقة :

$$\text{نصف قطر الأرض } R_{\oplus} = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\text{تسارع السقوط الحر على مستوى سطح البحر } g = 9.81 \text{ m/s}^2 .$$

الجزء (A): رحلة طيران انعدام الجاذبية (3 علامات)

يشعر رواد الفضاء بانعدام الوزن خلال رحلاتهم الفضائية، وتوجد هناك طريقة أقل تكلفة من السفر في مركبات الفضاء للشعور بانعدام الوزن؛ حيث توجد طائرات مصممة خصيصاً لخلق حالة انعدام الجاذبية على متنها وذلك لمدة زمنية محددة وتشير الصورة طائرة من هذا النوع



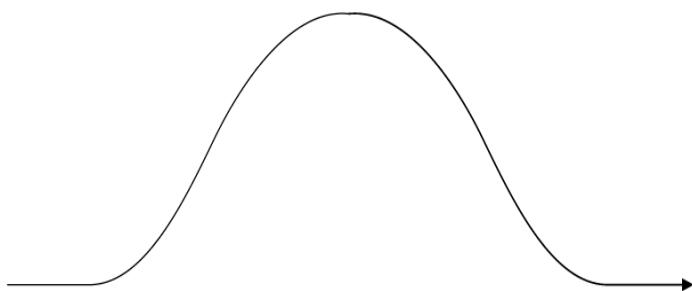
يمكنك استخدام القيم الآتية لهذا الجزء :

$$\text{سرعة الصوت على ارتفاع الطيران } c_s = 300 \text{ m/s}$$

ارتفاع الطيران (من مستوى سطح البحر) الذي تبدأ عنده الطائرة في رحلة انعدام الجاذبية (وهي المدة الزمنية التي تشعر فيها الأجسام على متن الطائرة بانعدام الوزن) $h_0 = 7600 \text{ m}$

$$\text{سرعة الطائرة عند بدء مرحلة انعدام الجاذبية } v_0 = 460 \text{ km/h}$$

الزاوية بين المستوى الأفقي ومتوجه السرعة في اللحظة التي تبدأ فيها مرحلة انعدام الجاذبية $\alpha_0 = 47^\circ$



(i) 0.5 نقطة يوضح الرسم مسار الطيران الذي يتخلله مرحلة انعدام الوزن (المسار الذي يوفر أطول فترة من انعدام الوزن قد يكون مختلفاً قليلاً). وضح على ذلك المسار النقطة التي تبدأ عنها مرحلة انعدام الوزن والنقطة التي تنتهي عنها.

(ii) 0.5 علامة ما هو اتجاه ومقدار تسارع الطائرة الذي يضمن شعور الركاب بانعدام الوزن؟

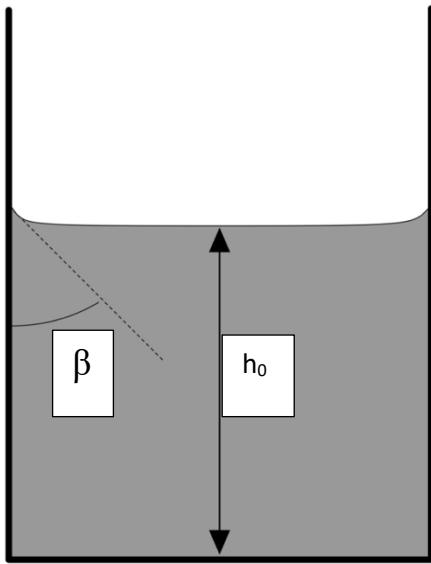


(iii) 0.5 علامة) احسب سرعة الطائرة عندما تكون في أعلى نقطة من مسارها.

(iv) 0.5 علامة) احسب الزمن اللازم لتصل الطائرة لأعلى نقطة في مسارها من اللحظة التي تبدأ فيها مرحلة انعدام الجاذبية.

(v) 0.5 علامة) احسب ارتفاع الطائرة من سطح البحر عندما تكون في أعلى نقطة في مسارها.

(vi) 0.5 علامة) تكون القيم الممكنة للسرعة الابتدائية v_0 وزاوية الصعود الابتدائية α_0 محدودة بمتانة هيكل الطائرة و قوة الدفع القصوى التي توفرها المحركات. يمكن اعتبار القيم العددية المعطاة سابقاً أنها قيم قصوى؛ أي أنها تعطي أطول فترة زمنية يشعر فيها الركاب بانعدام الوزن. بفرض أنه لا توجد قيود على زاوية التحليق النهائيه (الزاوية بين المستوى الأفقي ومتوجه السرعة في اللحظة التي تنتهي فيها الطائرة مرحلة انعدام الجاذبية) بينما يكون القيد الوحيد على السرعة أنها لا تتجاوز سرعة الصوت، ما هي أطول مدة زمنية ممكنة لمرحلة انعدام الجاذبية؟



الجزء B: كأس من الماء في مرحلة انعدام الوزن (3 علامات)

افرض وجود كأس مملوء جزئياً بالماء على متن هذه الطائرة. الكأس اسطواني الشكل بنصف قطر $r = 3\text{cm}$ وجداران الكأس رقيقه جداً بشكل يمكن إهمالها. يكون سطح الماء مستويأً في اللحظة التي تبدأ فيها الطائرة مرحلة انعدام الجاذبية باستثناء نتوء ذات ارتفاع مهملاً بجانب الجدار الزجاجي للكأس (انظر الى الشكل الذي يمثل مقطعاً عرضياً على طول محور الكأس)، يكون عمق الماء في الكأس $h_0 = 3\text{ cm}$ وتكون زاوية تلامس الماء مع الكأس (الزاوية بين المماس لسطح الماء وسطح الزجاج في النقطة التي يلامس فيها الماء الزجاج، انظر الشكل) هي $\beta = 0^\circ$

(i) 1 علامة) سيأخذ سطح الماء شكل اتزان جديد تحت شرط انعدام الوزن، ارسم شكل سطح الماء على المقطع العرضي على طول محور الكأس.

(ii) 1 علامة) ما هي أقل مسافة ممكنة بين سطح الماء و قاعدة الكأس الزجاجي في حال الازان الجديدة؟

(iii) 1 علامة) في الظروف الاعتيادية يمكن للكأس أن يتسع لغاية $V_0 = 200\text{ ml}$ من الماء. ما هو اقصى حجم من الماء يمكن للكأس أن يتسع له في حال انعدام الوزن؟ ارسم ايضاً شكل سطح الماء في تلك الحال على المقطع العرضي على طول محور الكأس.

الجزء C: إصابة الهدف على مدار ثابت بالنسبة للأرض (4 علامات)

يمكن الشعور بانعدام الوزن بالطبع على المركبات الفضائية التي تتحرك بشكل مغذوف (الحركة خلال إطفاء المحركات). دعنا نفترض وجود رائد فضاء في مدار ثابت بالنسبة للأرض. وهو عبارة عن مدار دائري حول الأرض يقع في مستوى خط الاستواء، ويكون الزمن الدوري فيه $T_0 = 24 \text{ h}$.

(i) (0.7 علامة) ما هو نصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض؟

(ii) (1.8 علامة) سيقوم رائد فضاء، ولأغراض بحثية ، بإصابة مركبة الفضائية برصاصية يقوم بإطلاقها من بندقية مجهزة على المركبة الفضائية تكون سرعته إطلاق الرصاصية لدى خروجها من فوهة البندقية $u_0 = 1200 \text{ m/s}$ وتقع سرعة الرصاصية في مستوى المدار. ما هي الزاوية التي يجب أن يصوب بها بندقيته مقاسه من المتجه الذي يشير إلى مركز الأرض إذا أراد أن يصيب بها المركبة الفضائية خلال 40 ساعة القادمة. (غير مطلوب منك إثبات عدم وجود أكثر من زاوية إطلاق واحدة). يمكنك استخدام التعبيرات الرياضية للطاقة الكلية للمدار البيضاوي (القطع ناقص)

$$E_{\text{total}} = -\frac{GM_{\oplus}m}{2a}$$

حيث إن a هي نصف المحور الطويل للقطع ناقص.

(iii) (1.5 علامة) قام أيضاً رائد الفضاء بتجربة بندقية أخرى يتم فيها تغيير سرعة الرصاصية من صفر إلى سرعة قصوى $u_m = 300 \text{ m/s}$ بشكل حر. باستخدام هذه البندقية، صوب باتجاه حركة مركبة الفضائية بشكل دقيق. ما هو أقصر وقت ممكن لحركة الرصاصية قبل أن تضرب المركبة الفضائية؟



GPhO

Muscat 2019



المسألة (2) : الاندماج النووي المسيطط عليه (11 علامة)

يمكنك استخدام الثوابت الفيزيائية الآتية وقيمها العددية في حساباتك اللاحقة.

$1.381 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	ثابت بولتزمان k_B
$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$	الشحنة الأساسية e
$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$	كتله الإلكترون m_e
$6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	ثابت بلانك h
$8.854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$	سماحية الفراغ ϵ_0

الاندماج النووي هو تفاعل تندمج فيه نوى خفيفة لتشكيل نواة أكبر. والفرق في طاقة السكون بين النوى المندمجة وناتج الاندماج يخرج على شكل طاقة حرارية. على سبيل المثال، فإن الديتيريوم (يتكون من نيوترون واحد وبروتون واحد ويرمز له D) و التريتيوم (يتكون من نيوترون عدد 2 وبروتون واحد ويرمز له T) يندمجان لتشكيل جسيم ألفا ، ونيترون و MeV 14 من الطاقة. وبالرغم من أن البشرية تمكنت من إشعال تفاعل الاندماج من خلال تفجير القابض الهيدروجينية، فهي لازالت تصارع للنجاح في إجراء اندماج مسيطط عليه. بمعنى أنه يتم السيطرة على الاندماج بحيث يتم الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة لتشغيل محطات إنتاج الطاقة. وأكثر تفاعل اندماجي مسيطط عليه قابل للتطبيق هو المذكور أعلاه تفاعل D-T وهو الذي سيتم تناوله في هذه المسألة.

الجزء A : اعتبارات عامة (0.5 علامة)

يمكن التعبير عن درجة الحرارة بوحدة الكترون فولت، وهذا الأمر اعتيادي لدرجات الحرارة العالية.

يمثل درجة حرارة T يكون لها طاقة حرارية $k_B T$ مساوية لطاقة الوضع للكترون في جهد كهربائي $V = 1 \text{ V}$.

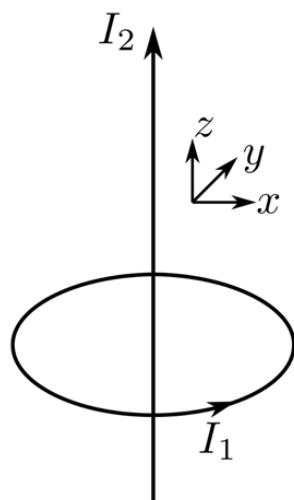
عند الحديث عن محطات إنتاج الطاقة، فلا بد ان تكون الطاقة الناتجة من الاندماج أكبر من الطاقة الكلية التي يتم فقدانها. يمكننا إثبات انه و من أجل تصميم مفاعل D-T (جهاز حيث يمكن اجراء اندماج مسيطط عليه) ذا كفاية قصوى يتوجب أن تكون درجة حرارة أنوية الديتيريوم و التريتيوم $T_0 = 14 \text{ keV}$ بينما تكون كثافة الجسيمات الناتجة n (وهي عدد الجسيمات لكل وحدة حجم) و زمن التقارب τ (الזמן الذي تكون خلاله

الكثافة n تقربياً ثابتة) يجب أن لا يكون أقل من $s/m^3 \times 10^{20} \times 2$. ويسمى هذا المتطلب بمعيار لونسون. والتحدي التقني الأكبر هو الوصول إلى حصر طويل الأمد للبلازما الساخنة.

(i) (0.5 علامة) عبر عن درجة حرارة الاندماج T_0 بالكلفن

الجزء B : مفاعلات التوكاماك (2.5 علامة)

أكثر التصاميم شيوعاً لمفاعلات الاندماج هو التوكاماك. تتحرك الجسيمات المشحونة في التوكاماك على خطوط مجال مغناطيسي و يتم حصرها، لأن خطوط المجال تنحصر في فراغ محصور صغير. بشكل وصفي، فإن خطوط المجال المغناطيسي هي نفس تلك الناتجة من موصل خطى لا نهائى في الطول يحمل تياراً كهربائياً و يمر هذا الموصل على امتداد محور حلقة دائريّة تحمل تياراً كهربائياً . يتطلب منك في المطلوبات المقبلة أن ترسم شكل مخطط ذي ثلاثة أبعاد كما يتضح في الشكل الآتي.



(i) (0.5 علامة) ارسم خطوط المجال المغناطيسي لموصل خطى لا نهائى في الطول يحمل تياراً كهربائياً.

(ii) (0.5 علامة) ارسم خطوط المجال المغناطيسي لحلقة دائريّة تحمل تياراً كهربائياً.

(iii) (0.75 علامة) ارسم خطوط المجال المغناطيسي لموصل خطى لا نهائى يمر في مركز حلقة دائريّة عمودياً على مقطعها، يحمل كلية تياراً كهربائياً.

(iv) (0.75 علامة) بالنسبة لنظام التيارات السابقة بوجود الموصل الخطى في مركز الحلقة عمودياً على مقطعها، ارسم خطوط المجال المغناطيسي عند نقطة بينهما قريبة من الموصل الخطى

الجزء C : الاندماج البارد (3.5 علامات)

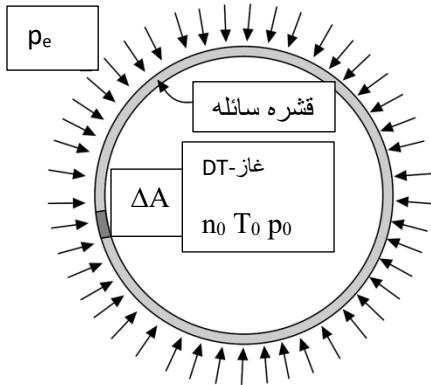
يعود مصطلح الاندماج البارد إلى اندماج يتم تحفيزه عن طريق جسيم (الميون)، حيث يتم الاستعاضة عن الإلكترون في جزيء الهيدروجين (والذي قد يحتوي نواة ديتيريوم ونواة تريتيوم) بالميون. حيث أن كتلته الميون أكبر بـ 207 مره من كتلته الإلكترون فإنه يعمل على تقريب الأنوية في الجزيء إلى بعضها. تم اقتراح فكرة الإنداجم المحفز عام 1947-1948 من العالمين أ. سخاروف و ف. فراتك وأدت إلى فقاعة

كبيرة من الابحاث عام 1989 لم تستمر طويلاً بعد تقرير خاطئ يدعى حدوث اندماج ناجح في درجة حرارة الغرفة قدمه م. فلتشمان و س. بونز. وتكون المشكلة في الاندماج المحفز بميون ان تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج ميون واحد تكون اكبر من الطاقة الكلية الناتجة من تفاعل الاندماج الناتج من ميون واحد.

وتكون الحلول الممكنة إما عن طريق خفض طاقة إنتاج الميون أو زيادة عدد الاندماجات التي يتم تحفيزها بميون واحد. فيما يلي، نقترح مقاربة سهلة لهم سبب صغر حجم الكرة إذا تم استبدال الإلكترونات بجسيمات الميون.

- (i) **علامة**) باستخدام الميكانيكا الكلاسيكية وباعتبار الكترون في مدار دائري بنصف قطر R حول نواة نقطية ذات شحنة $+2e$ ، أوجد علاقه تربط كمية حركة الإلكترون p بنصف قطر المدار R
- (ii) **علامة**) تكون طاقة الإلكترون الكلية في المستوى الأرضي أقل ما يمكن. و في الوقت نفسه فإن حال الإلكترون (أو جسيم الميون) لا يمكن أن تخرج مبدأ اللا-تحديد (أو اللا-يقين uncertainty principle)، وبأخذ هذه الأشياء بعين الاعتبار أوجد تقريب لنصف قطر المستوى الأرضي R .
- (iii) **علامة**) باستخدام إجابه الفقرة (i) نكون أهملنا المسافة بين النواتين في الجزيء، و هذا مسموح به لإيجاد تقريب لنصف القطر R . الآن نرغب في إيجاد تقريب للمسافة بين النواتين أيضاً. ومن أجل ذلك افترض نموذجاً بسيطاً آخر. تكون الإلكترونات (أو الميونات) في مساراتها على شكل غيمة بشكل كروي . نفرض ان هناك كرة بنصف قطر R تحمل شحنة $-2e$ - تتوزع بشكل متجانس على كل حجم الكرة. داخل تلك الكرة توجد نواتان يمكن اعتبارهما ككتل نقطية وشحنتان نقطية (كل منها شحنة $+e$) و يمكنها التحرك بدون احتكاك داخل الكرة . اوجد مسافة الازان d بين النواتين.
- (iv) **0.5 علامة**) بالاعتماد على النموذج أعلاه، كم مرة تصغر المسافة بين ذرات الديتيريوم والتربيتيريم عند استبدال الإلكترونات المدارات بميونات؟

الجزء D : اندماج القصور الذاتي (4.5 علامات)



طريقة ثلاثة لاجراء الاندماج المسيطر عليه ترتكز على فكرة أنه وبسبب الكتلة والقصور الذاتي سيلزم وقت، حتى ولو كان قصيراً، لأي فقاعة سائل ساخنة لتفجر وتنشتت. بهدف تحقيق معيار لوسون Lawson يمكن لنا زيادة زمن الحصر بالإضافة الى زيادة كثافة العدد n . في أجهزة اندماج القصور الذاتي، يتم استخدام الحزم ذات الطاقة العالية لخلق كرات مضغوطه جداً من الغاز ذات كثافة تزيد عن كثافة الرصاص مئات المرات. فيما يلي سنأخذ هذه المقاربة بتطبيق نموذج سهل: هناك قشرة كروية سائلة ذات كتلته كلية M ونصف قطر r تحيط بكرة من الغاز ذات كثافة عديمة n_0 ودرجة حرارة T_0 والضغط

$p_0 = k_B n_0 T_0$ (في الحقيقة تكون القشرة الكروية صلبة و ذات ضغط عالٍ جداً مما يؤدي إلى تحول المادة الصلبة إلى سائل) انظر إلى الشكل. يحتوي كل جزيء غاز على نواة ديتيريوم ونواة تريتيوم وإلكترونين. كثافة جدران القشرة الكروية السائلة δ أصغر كثيراً من r ($r \ll \delta$).

(i) **0.5 علامة**) خذ قطعة صغيرة من القشرة ذات مساحة سطح ΔA . عَبِّر عن كتلتها بدلالة الكميات المعرفة سابقاً.

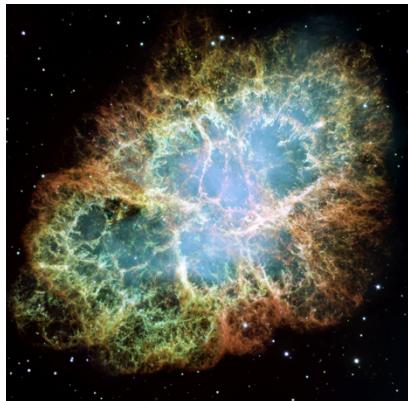
(ii) **1 علامة**) يتم تطبيق الضغط الخارجي p_e على القشرة. عَبِّر عن التسارع الابتدائي لقطعة صغيرة من القشرة بدلالة الكميات المعرفة حتى الآن .

(iii) **1.5 علامة**) خلال انقباض القشرة بسبب الضغط الخارجي يزداد الضغط الداخلي، وفي لحظة معينة يصبح اكبر من الضغط الخارجي. عَبِّر عن أقل نصف قطر ممكناً للقشرة r_m وأعلى درجة حرارة ممكنة داخل القشرة T_m (والتي يمكن الوصول اليها عندما تتوقف القشرة المحيطة للحظة قبل عكس اتجاه حركتها) بدلالة الكميات التي تم تقديمها أعلاه. انتبه أن درجة الحرارة الداخلية تصبح عالية جداً بحيث ان الغاز يتتحول الى بلازما متأينة كلياً من أنوية وإلكترونات، يمكنك فرض أن (p_e) يبقى ثابتاً خلال العملية كاملة (هذا قد لا يكون صحيحاً بشكل كامل لكن بهذا الفرض سنتمكن من الحصول على إجابه قريبه من الواقع) تنقبض القشرة مستعيدة شكلها الكروي و يمكن إهمال الطاقة الحرارية المنقلة إلى القشرة.

(iv) **1.5 علامة**) يتم خلق الضغط الخارجي الهائل (p_e) بإضافة القشرة من الخارج بشكل منتظم من جميع الجهات بضوء ليزر ذو قدرة كلية P . نتتجه لذلك تبخّر الطبقات الخارجية من القشرة، و تتدفق الأنوية المتبخّرة بعيداً بمعدل سرعة u . قدر الضغط الخارجي (p_e) بدلالة (P, r, u) يمكن افتراض أن (u) أقل كثيراً من سرعة الضوء .

المسألة (3) : عدم استقرار رايلي-تايلور (9 علامات)

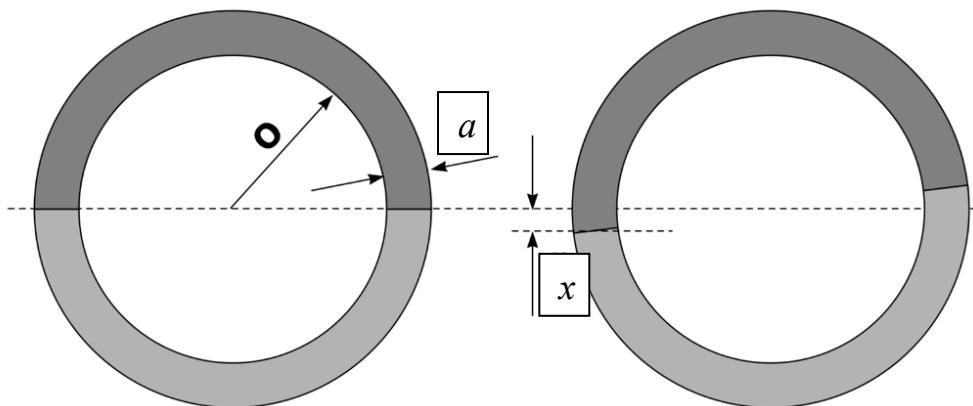
برهن اللورد رايلي في عام 1883 أن وضع طبقة من سائل كثيف فوق طبقة من سائل أقل كثافة يمثل حالة عدم استقرار، حتى وإن كان السطح الفاصل بين السائلين مسطحة تماماً وأفقياً في البداية، و ذلك لأن الاضطرابات الصغيرة في السطح الفاصل تنمو بشكل متزايد مع الزمن ويبدأ السائل الثقيل بالتدفق في بعض الأماكن للأسفل مُزيحاً السائل الخفيف من تحته، وفي أماكن أخرى، يبدأ السائل الخفيف بالتدفق لأعلى - ثُرُف هذه الظاهرة في الوقت الحالي بظاهرة (عدم الاستقرار) لرايلي-تايلور. و تلعب هذه الظاهرة دوراً هاماً في العديد من مجالات الفيزياء. على سبيل المثال، عقب انفجار المستعرات العظمى (السوبر نوفا)، تباطأً موجات الصدمة من البلازما الكثيفة بسبب تأكل مناطق البلازما الأقل كثافة. و هذا يعني أن قوة القصور الذاتي ، في إطار الإحداثيات المرجعي مشترك-الحركة ، هي بنفس اتجاه انتشار موجة الصدمة . و يحدد اتجاه قوة القصور الذاتي الاتجاه إلى الأسفل، بحيث تبدو البلازما الأكثر كثافة فوق البلازما الأقل كثافة. كما تتميز المراحل المتأخرة (غير الخطية) من عدم الاستقرار بتشكلات خيطية / شعرية رائعة، انظر لصورة سديم السرطان أدناه. بينما في التطبيقات التكنولوجية؛ قد تكون ظاهرة عدم الاستقرار لرايلي-تايلور غير مرغوبة، فهي على سبيل المثال، تجعل من الصعب للغاية تحقيق الاندماج عن طريق القصور الذاتي. فعندما يتم ضغط كرة ذات شكل كروي متقن، تصبح مشوهة على نحو غير منتظم - مثلاً يحدث لعلبة مياه غازية معدنية فارغة عند محاولة ضغطها.



سنقوم فيما يأتي ببناء نماذج رياضية بسيطة لإلقاء نظرة ثاقبة على فيزياء (عدم الاستقرار) لظاهرة رايلي-تايلور. افترض فيما يأتي أن هناك مجال جاذبية للأرض بشدة $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

الجزء A: معدل نمو عدم الاستقرار (4 علامات)

(i) **علامة** لدينا أنبوب دائري على شكل حرف O ممتليء نصفه السفلي بسائل ذي كثافة ρ_1 ، ونصفه العلوي بسائل ذي كثافة ρ_2 حيث $\rho_2 > \rho_1$ ، انظر الشكل. بفرض ان نصف قطر الدائرة R أكبر بكثير من قطر الأنابيب a (مهمل السمك). عندما يكون سطحي السائل على جانبي الأنابيب O في المستوى نفسه تماماً (انظر الرسم على اليسار)، تكون المنظومة في حالة اتزان. إلى أي مدى ستتغير طاقة الوضع للمنظومة عندما يتم خفض الجزء الأيسر من الأنابيب بمقدار x (كما هو موضح في الرسم على اليمين)؟ عبر عن الإجابة بدالة الكميات الموضحة أعلاه. وافرض هنا وفي ما يأتي أن $x < R$ واستخدم



التقديرات الناتجة.

(ii) **علامة** لنفترض الآن أن النظام سوف يتتطور من تلقاء نفسه بدءاً من الموضع الموضح في الرسم على اليمين. دعونا نعبر عن السرعة التي يتحرك بها السطح الفاصل في الأنابيب بـ $v = dx/dt$. عبر عن طاقة الحركة للنظام بدالة v والكميات الأخرى المعرفة أعلاه.

(iii) **علامة** اثبت أن تسارع السطح الفاصل يتناسب مع الإزاحة x وذلك بإجراء مشتقة (تقاضل بالنسبة للزمن) لقانون حفظ الطاقة، وأن الإزاحة يمكن أن تتمو بشكل أسي بالنسبة للزمن ، بحيث تتناسب مع e^{vt} . أوجد v .

(iv) **علامة** لنستبدل الأنابيب الدائري بقشرة كروية نصف قطرها R مليئة بكل السائلين، بحيث يشغل كل منها نصف الكرة (داخل تلك القشرة الكروية). لكي نحافظ على السطح الفاصل بين السائلين بشكل مستقر، يوضع غشاء دائري صلب ورقيق مهمل الكتلة نصف قطره R بين السائلين. يمكن للغشاء أن يدور بدون احتكاك



داخل الكرة لكن لا يمكن له أن ينحني. أوجد معدل نمو عدم الاستقرار γ (المعرف أعلاه) إذا كان السائل الأثقل يشغل النصف العلوي من الكرة.

مساعدة : يقع مركز الكتلة لنصف كرة صلبة متجانسة ذات نصف قطر R على بعد $3R/8$ من مركز الكرة.

عزم القصور الذاتي لكرة صلبة ذات كتلة M هو $I = (2/5)MR^2$

يمكن استخدام تقرير الزاوية الصغيرة :

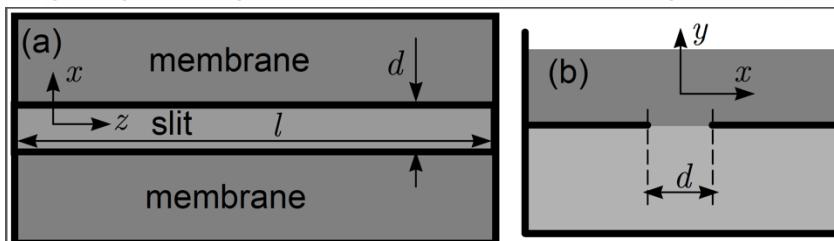
$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$$

$$\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2$$

الجزء B: خلق الاستقرار بسبب التوتر السطحي (3 علامات)

وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها أعلاه، فإن معدل نمو عدم الاستقرار لظاهرة رايلى-تايلور هو دالة تناظرية بالنسبة لنصف قطر (R) النطاق الذي يبدأ فيه السائل بالحركة. يعني ذلك أن الاضطرابات المحدودة النطاق في السطح الفاصل تنمو بشكل أسرع وتهيمن في المرحلة الأولى من عدم الاستقرار. ومع ذلك، وعلى نطاقات صغيرة للغاية، قد يعمل التوتر السطحي على خلق استقرار لحالة عدم الاستقرار الناشئة.

(i) (1 علامة) افترض أن وعاءً كبيراً مستطيل الشكل مقسم إلى قسمين، كما هو موضح في الرسم، يفصل بينهما غشاء رقيق مسطح. يحتوي الغشاء على شق طویل وضيق، طوله l أكبر بكثير من عرضه d ($l \gg d$). يمتلك القسم العلوي من الوعاء بسائل ذي كثافة ρ_2 ، والقسم السفلي بسائل ذي كثافة ρ_1 حيث $\rho_1 > \rho_2$.



في البداية، يكون الشق ضيقاً جداً إلى درجة أن التوتر السطحي σ المؤثر على السطح الفاصل بين السائلين يخلق حالة استقرار تمنع ظاهرة (عدم الاستقرار) لرايلي-تايلور بحيث يظل

السطح الفاصل مستوياً تماماً وأفقياً. يوضح الرسم أعلاه مقطعاً عرضياً في المستوى $y-z$ للوعاء، حيث يكون المحور y عمودياً، والمحور z موازياً للحافة الأطول للشق. ويزداد عرض الشق d ببطء إلى قيمة معينة d_0 ، تبدأ عندها حالات عدم الاستقرار في التطور، مع هذا لا يزال معدل نمو عدم الاستقرار γ صغيراً للغاية. يضمن التصميم الخاص لهذا النظام أن تظل التشوّهات الناتجة في السطح الفاصل بين السائلين ثانيةً للأبعاد بدقة عالية - لا يوجد اعتماد على الإحداثي z (يمكن أن يشمل هذا التصميم الخاص، على سبيل المثال،



على قضبان طويلة رفيعة موضوعة على الواجهة بين السائلين وموازية للشق لضمان ذلك). ارسم الشكل الجديد للسطح الفاصل في المستوى $y - x$ عند

$d = d_0$ ، ثم ارسمه عندما يصبح مشوحاً بشكل ملحوظ بسبب ظاهرة (عدم استقرار) رايلي-تاييلور.

(ii) علامة افترض النظام نفسه كما كان من قبل، لكن لا توجد الآن قيود على كيفية تشوّه السطح الفاصل، أي أن التشوّه يمكن أن يشمل الاعتماد على الإحداثي z . يصبح السطح الفاصل الآن غير مستقر عند قيمة أصغر من عرض الشق $d_1 = d$. ارسم شكل السطح الفاصل عند $d_1 = d$ عندما يصبح التشوّه ملحوظاً نتيجة ظاهرة (عدم استقرار) رايلي-تاييلور في المستوى $y - x$ وذلك مرة على مسافة $l/4$ من أحد طرفي الشق، ومرة أخرى على مسافة $l/4$ من الطرف الآخر للشق.

(iii) أوجد تعبير رياضي لـ d_1 بدلالة $\rho_1, \rho_2, \sigma, g$.

الجزء C : موجات جاذبية السطح (2 علامة)

على الرغم من أن وجود سائل ثقيل فوق آخر خفيف يكون غير مستقر، فإن الوضع العكسي لسائل خفيف فوق آخر ثقيل يكون مستتراً. وتنتقل اضطرابات شكل السطح على طول السطح الفاصل كموجات. تمثل حالة خاصة من هذه الموجات مثل الموجات على سطح الماء حرارة عندما يكون السائل الخفيف (الهواء في هذه الحالة) ذات كثافة ضئيلة بشكل يمكن إهمالها. فإذا كان الماء عميقاً (أعمق بكثير من الطول الموجي للموجات λ) ، فإن سرعة الأمواج الجاذبية تعتمد على الطول الموجي عن طريق العلاقة

$$v = \sqrt{g\lambda/2\pi}$$

لذلك، فيمكن لسرعة الموجات أن تأخذ أي قيمة بما في ذلك السرعات التي تتحرك بشكل متذبذب (رنين) مع القارب. وسيبقى القارب دائماً عند نفس قمة الموجة أو قاعها (في نقطة ذات نفس الطور). إذا كانت هناك موجات يمكن أن تتحرك بشكل رنيني مع جسم متحرك، فإن الجسم المتحرك سوف يقوم بانتاج وبث تلك الموجات - وتعبر هذه الظاهرة بإشعاع شيرينكوف. يسبب انتاج هذه الأمواج فقداً للطاقة، وينتج عن ذلك سحب خلفي تسببه الموجة يؤثر على الجسم المتحرك. كما ينموا بذلك السحب الخلفي الموجي مع تزايد السرعة بشكل كبير (ويتناسب السحب مع مكعب السرعة) ويشكل ذلك العامل الرئيسي الذي يتحكم في الحد الأعلى لسرعة القوارب. حدد سرعة القارب الظاهرة في الصورة الجوية أدناه (يمكنك أخذ قياسات من الصورة).



للمباد الفيزياء في الدول الأعضاء
مكتب التربية العربي لدول الخليج



GPhO

Muscat 2019

