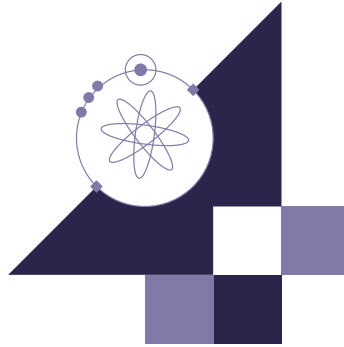


# أولمبياد العلوم والرياضيات الوطني "نسمو"

الحقيبة العلمية للمرحلة الرابعة  
نهائيات "نسمو" 2026



الفيزياء

## المحتويات

3	1. الفصل الأول: الجاذبية.....
4	1.1. قانون نيوتن للجذب العام.....
6	1.2. قوانين كبلر.....
9	1.3. طاقة وضع الجاذبية.....
13	1.4. أسئلة إضافية.....
15	1.5. الاختبار التجريبي.....
17	2. الفصل الثاني: التجارب العملية.....
17	2.1. الفيزياء كعلم تجريبي.....
18	2.2. الدقة والضبط والأخطاء في التجارب.....
19	2.3. تسجيل البيانات.....
20	2.4. تحليل البيانات والرسوم البيانية.....
25	2.5. بعض التجارب البسيطة.....
26	2.6. الاختبار التجريبي.....
29	مراجع الحقائق.....

## 1. الفصل الأول: الجاذبية

قبل عام 1687، قام الفلكيون بتدوين رصدتهم لحركة الكواكب والشمس والقمر لعدة قرون بعناية، ولذلك كان بإمكانهم التنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء، لكن سؤالاً جوهرياً ظل بدون إجابة: ماهي القوى التي تحكم هذه الحركة؟ في ذلك العام المحوري، تمكن إسحاق نيوتن من تحقيق ثورة علمية حولت فهمنا للكون.

أدرك نيوتن عبر قانونه الأول للحركة أن المسار المنحني للقمر يتطلب وجود قوة محصلة مؤثرة على القمر. بدون قوة كهذه، سينجرف القمر بعيداً للفضاء في خط مستقيم. اقترح نيوتن أن هذه القوة هي قوة تجاذب تثنائية بين الأرض والقمر. لكن عبقرية نيوتن كمنت في إدراك أعمق، وهو أن القوة التي تحكم حركة القمر حول الأرض ليست قوة فريدة من نوعها للقمر أو الأرض، لكنها قوة أساسية بين جميع الأجسام في الكون، وبالتالي فهي ظاهرة عامة وكونية.

كانت هذه الرؤية ثورية. لأول مرة في تاريخ البشرية، توحدت الظواهر "الأرضية" و"السماوية" تحت إطار واحد. الأجرام السماوية لم تكن محكومة بقوانين مختلفة عن الأرض، بل الكون الفيزيائي بأسره يعمل وفقاً لنفس المبادئ الفيزيائية. نشر نيوتن هذه الأفكار عام 1687 في عمله الضخم "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية".

في هذا الفصل، سنستكشف قانون نيوتن للجذب الكوني وتداعياته العميقة. سنحلل كيف يفسر هذا القانون الأنيق الوحيد حركة الكواكب، وسنرى كيف أن قوانين كبلر التجريبية لحركة الكواكب—التي اكتُشفت من خلال التحليل الدقيق للبيانات الفلكية—تنبثق بشكل طبيعي من قوانين نيوتن. أخيراً، سنطور مفهوم طاقة الوضع الجاذبية وسنستخدمه لتحليل حركة الكواكب والأقمار الصناعية.

وأنتم تدرسون هذه المادة، تذكروا أنكم تدرسون واحداً من أعظم الإنجازات الفكرية في تاريخ البشرية: قانون رياضي بسيط يحكم كل الظواهر من الأجسام الساقطة إلى الكواكب التي تدور في مداراتها إلى حركة المجرات نفسها.

في هذا الفصل، ستحتاج لبعض الثوابت الفلكية والتي سنذكر بعضها هنا كمرجع.

- كتلة الشمس:  $M_E = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
- كتلة الأرض:  $M_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- كتلة القمر:  $M_M = 7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$
- نصف قطر الأرض:  $R_E = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$
- نصف قطر القمر:  $R_M = 1.74 \times 10^6 \text{ m}$
- متوسط بعد الأرض عن الشمس:  $d_{ES} = 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$
- متوسط بعد القمر عن الأرض:  $d_{ME} = 3.83 \times 10^8 \text{ m}$
- ثابت الجذب العام:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

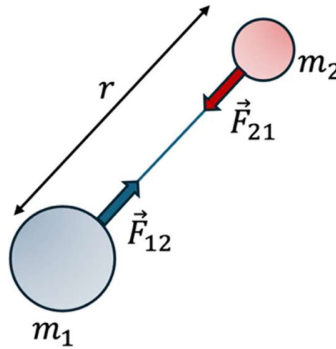
## 1.1. قانون نيوتن للجذب العام

### قانون التربيع العكسي للجاذبية الكونية:

كل جسم في الكون يجذب كل الأجسام الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

$G$ : ثابت الجذب العام  $6.673 \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$



#### ملاحظات:

- قوة الجاذبية هي قوة مجال. قوى المجال هي قوى لا تتطلب تلامس مباشر بين الجسمين مثل الجاذبية، على عكس قوى التلامس مثل الاحتكاك.
- هذا القانون ينطبق على الأجسام النقطية، بمعنى أن مقاسها (مثل الطول أو الشَّمك) أصغر بكثير من المسافة  $r$ . في هذه الفصل، يمكنك استخدام هذا القانون لجميع الأجسام، وستتعرف في المستقبل على طرق حساب قوة الجاذبية عندما يكون الجسم ممتداً.

#### مثال 1.1:

نُقل جسم كتلته  $20.0 \text{ kg}$  إلى ارتفاع  $160.0 \text{ km}$  فوق سطح الأرض. احسب النسبة بين وزنه الحالي ووزنه عندما كان على سطح الأرض.

**الحل:** الوزن هو نفسه قوة جذب الأرض للكتلة. الوزن على سطح الأرض هو

$$W_i = \frac{GM_E m}{R_E^2}$$

الوزن على ارتفاع  $h$  يحسب عن طريق البعد  $r = R_E + h$

$$W_f = \frac{GM_E m}{(R_E + h)^2}$$

النسبة بينهما هي

$$\frac{W_f}{W_i} = \frac{R_E^2}{(R_E + h)^2} = 0.952$$

لاحظ أن الإجابة لا تعتمد على كتلة الأرض أو كتلة الجسم لأنها نسبة بين وزنين.

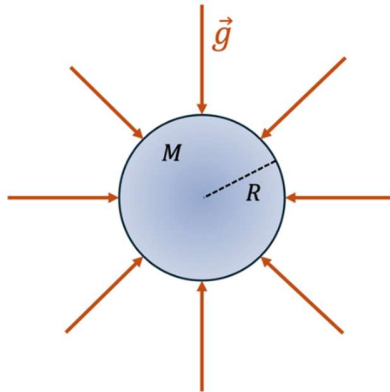
**تدريب 1.1:** احسب متوسط قوة الجذب بين الشمس والأرض. قارن هذا بمتوسط قوة الجذب بين الأرض والقمر.

**ابحث:** ابحث عن تجربة كافنديش، وهي أول تجربة عملية قامت بتحديد قيمة ثابت الجذب العام  $G$ .

### تسارع الجاذبية:

تسارع الجاذبية الناشئ عن الجسم هو ما يعبر عنه بمجال الجاذبية ويمكن التعبير عنه لجرم سماوي كتلته  $M$  ونصف قطره  $R$  على ارتفاع  $h$  عن سطحه يعطى بالعلاقة

$$g = \frac{GM}{(R + h)^2} \quad (2)$$



**مثال 1.2:** على أي ارتفاع من سطح الأرض يكون تسارع جاذبيتها ربع قيمته على سطح الأرض؟

**الحل:** التسارع عند سطح الأرض يعطى بالقيمة

$$g = \frac{GM_E}{R_E^2}$$

ونريد إيجاد الارتفاع الذي تصبح فيه قيمة التسارع ربع هذه القيمة

$$\frac{1}{4}g = \frac{GM_E}{(R_E + h)^2}$$

بقسمة المعادلتين، نجد أن

$$\frac{(R_E + h)^2}{R_E^2} = 4 \Rightarrow R_E + h = 2R_E$$

وبالتالي الارتفاع عن سطح الأرض هو

$$h = R_E$$

**تدريب 1.2:** وزن كتلة  $m = 1.0 \text{ kg}$  على القمر شدس وزنها على الأرض، احسب كتلة القمر من هذه المعلومات باستخدام نصف قطر القمر المعطى في بداية الفصل، وتحقق أن نتيجتك تتوافق مع كتلة القمر المعروفة.

**تدريب 1.3:** قمر صناعي كتلته  $m$  يدور حول الأرض في مسار دائري بسرعة ثابتة  $v$ . أثبت أن العلاقة الآتية صحيحة

$$v = \sqrt{\frac{GM_E}{R_E + h}}$$

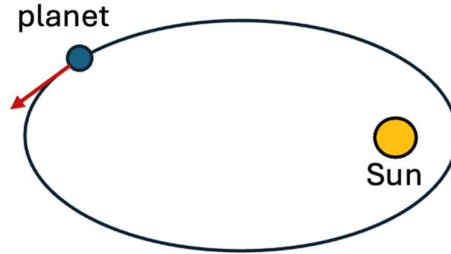
بحيث أن  $M_E$  هي كتلة الأرض،  $R_E$  هو نصف قطر الأرض، و  $h$  هو ارتفاع القمر الصناعي عن سطح الأرض.

## 1.2. قوانين كبلر

قبل قيام نيوتن بوضع قانون الجذب العام، اكتشف عالم الفلك والرياضيات الألماني يوهانس كبلر (1571-1630) اكتشافاً وضع الأسس لفهم حركة الكواكب. بعد سنين من الدراسات وتحليل الأرصاد الفلكية، طور كبلر ثلاثة قوانين رياضية دقيقة لوصف حركة الكواكب حول الشمس، على الرغم من أنه لم يعلم لماذا تتحرك الكواكب بهذه الطريقة.

## القانون الأول: قانون المدارات

جميع الكواكب تدور في مدارات على شكل قطع ناقص (إهليجية)، وتوجد الشمس في إحدى بؤرتيها.

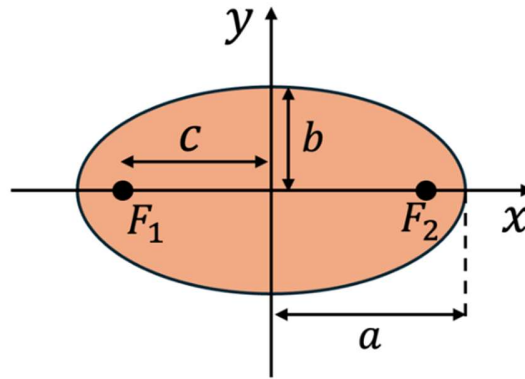


### ملاحظات:

- تدور معظم الكواكب في مدارات شبه دائرية حول الشمس.
- تتبع العديد من المذنبات قوانين كبلر مثل مذنب هالي.

### الوصف الهندسي للقطع الناقص:

يبين الشكل الوصف الهندسي للقطع الناقص.



$a$  هو نصف طول المحور الأكبر.

$b$  هو نصف طول المحور الأصغر.

توجد بؤرتان  $F_1$  و  $F_2$  على مسافة  $c$  من مركز القطع الناقص على طول المحور الأكبر.

توجد الشمس في إحدى البؤرتين.

$$a^2 = b^2 + c^2 \quad (3)$$

**تدريب 1.4:** الدائرة عبارة عن حالة خاصة للقطع الناقص. أوجد  $a$ ،  $b$  و  $c$  لدائرة نصف قطرها  $r$ . ماذا يحصل للبؤرتين في حالة الدائرة؟

ستقوم في المستقبل بإثبات هذا القانون باستخدام قانون نيوتن للجذب العام وقانون نيوتن الثاني.

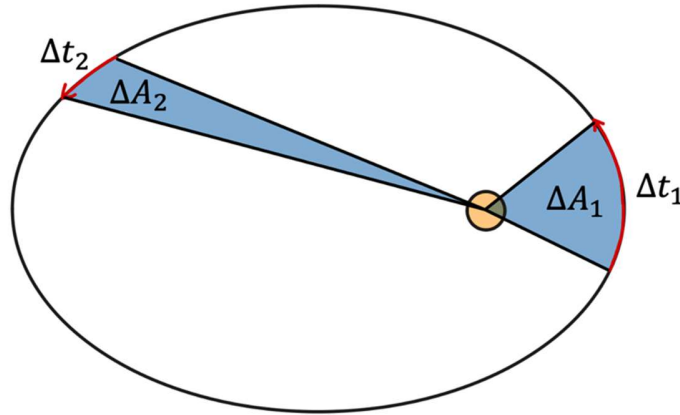
### القانون الثاني: قانون المساحات Law of Areas

المتجه الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية. رياضياً، يمكن التعبير عن هذا القانون كالآتي

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{constant} \quad (4)$$

أي أن النسبة بين المساحة المغطاة والمدة الزمنية ثابتة

$$\frac{\Delta A_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta A_2}{\Delta t_2} \quad (5)$$



**فكر:** لماذا تزداد سرعة الكوكب كلما اقترب من الشمس؟

**تدريب 1.5:** أوجد الثابت في قانون كبلر الثاني في حالة دوران كوكب كتلته  $m$  في مسار دائري نصف قطره  $R$  حول نجم كتلته  $M$ .

سترى في الملتقيات المستقبلية أن قانون كبلر الثاني ينتج عن قانون حفظ الزخم الزاوي.

### القانون الثالث: قانون الزمن الدوري

مربع الزمن الدوري لأي كوكب يتناسب طردياً مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره الإهليجي حول الشمس.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_S} a^3 \quad (6)$$

$T$  الزمن الدوري.

$M_S$  كتلة الشمس أو النجم الذي يدور حوله الكوكب.

$a$  هو نصف القطر الأكبر للمدار.

**مثال 1.3:** قمران يدوران حول نفس الكوكب في مسارات دائرية. القمر الأول نصف قطر مداره  $r$  ويستغرق 20 يوماً لإكمال دورة كاملة، ونصف قطر مدار القمر الثاني  $4r$ ، فكم يستغرق لإكمال دورة كاملة؟

**الحل:** باستخدام التناسب بين  $T^2$  و  $r^3$ ، نجد أن

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3} = \left(\frac{4r}{r}\right)^3 = 64$$

$$\Rightarrow T_2 = 8T_1 = 160 \text{ days}$$

**تدريب 1.6:** أثبت قانون كبلر الثالث عندما يكون المسار دائرياً. افترض أن كتلة النجم أكبر بكثير من كتلة الكوكب الذي يدور حوله.

يمكن إثبات هذا القانون لحالة المدارات الإهليجية، وستقوم بهذا في ملتقيات مستقبلية.

### 1.3. طاقة وضع الجاذبية

طاقة الوضع بسبب الجاذبية بين أي جسمين تعطى بالعلاقة:

$$U = -G \frac{m_1 m_2}{r} \quad (7)$$

وهي قيمة سالبة لأنها تمثل طاقة ربط ناتجة عن قوة تجاذب.

### ملاحظات:

- طاقة الوضع تقترب من الصفر عندما يبتعد الجسمان كثيرا عن بعضهما البعض وتؤول  $r$  إلى المالا نهائية.
- يحتاج الجسم حتى يتحرر من طاقة الربط إلى طاقة خارجي تعادل طاقة الربط، والفائض يتحول لطاقة حركية.
- المعادلة  $U = -Gm_1m_2/r$  لا تنتج من ضرب القوة بالمسافة، لأن هذه القوة ليست ثابتة كدالة في المسافة، بل هي تنتج عبر عملية التكامل، والتي ستتدرج عليها في التدريبات المستقبلية.

**مثال 1.4:** يتحرك نيزك نحو الأرض بسرعة  $v_o = 12.0 \text{ km/s}$  عندما كان يبعد عن مركز الأرض مسافة تساوي عشرة أضعاف نصف قطر الأرض. احسب سرعته عندما يصل لسطح الأرض  $v_f$ ، بإهمال مقاومة الهواء.

**الحل:** سنستخدم حفظ الطاقة

$$E_i = E_f$$

$$\frac{1}{2}mv_o^2 - \frac{GM_E m}{10R_E} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{GM_E m}{R_E}$$

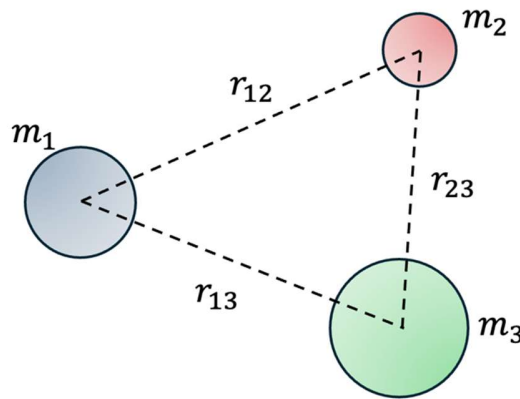
يمكن حل هذه المعادلة جبريا (لاحظ أن كتلة النيزك  $m$  تنحذف من جميع الحدود)

$$v_f = \sqrt{v_o^2 + \frac{9GM_E}{5R_E}} = 16.0 \text{ km/s}$$

### طاقة الوضع الكلية لمنظومة مترابطة بقوى جذب:

عندما يكون هنالك ثلاثة أجسام، فإن طاقة الوضع الكلية هي مجموع طاقات الوضع بين جميع الأزواج:

$$U_{total} = U_{12} + U_{13} + U_{23} = -G \left( \frac{m_1 m_2}{r_{12}} + \frac{m_1 m_3}{r_{13}} + \frac{m_2 m_3}{r_{23}} \right) \quad (8)$$



**فكر:** كيف ستعبر عن طاقة الوضع الكلية لو كان هناك أربعة أجسام؟

### الطاقة الكلية لحركة الكواكب والأقمار الصناعية:

لنعتبر نظاما معزولا يدور فيه جسم كتلته  $m$  حول جسم ثقيل  $M$  بحيث أن  $M \gg m$ . لو كان نصف طول المحور الأكبر  $a$ ، فإن الطاقة الكلية للنظام هي

$$E = K + U = -\frac{GMm}{2a} \quad (9)$$

**تدريب 1.7:** أثبت هذه المعادلة في حالة المسار الدائري.

### سرعة الإفلات من الجاذبية الأرضية:

بما أن هناك طاقة ربط جاذبة بين الأجسام، مثل المركبة الفضائية والأرض، فهذا يعني أننا لو أطلقنا المركبة الفضائية بسرعة عالية، فإنها ستنتجح في الإفلات من جاذبية الأرض. السرعة اللازمة للإفلات من مجال الجاذبية تسمى بسرعة الإفلات.

تعطى سرعة الإفلات من كوكب كروي نصف قطره  $R$  وكتلته  $M$  بالصيغة

$$v_{esc} = \sqrt{2GM/R} \quad (10)$$

والتي ستثبتها في تدريب قادم. لاحظ أن سرعة الإفلات لا تعتمد على كتلة الجسم.

**مثال 1.5:** احسب سرعة الإفلات من الأرض لمركبة فضائية كتلتها  $m = 5.0 \text{ Mg}$  واحسب طاقة الحركة التي يجب أن تكتسبها عند سطح الأرض لكي تفلت من جاذبية الأرض.

**الحل:** باستخدام صيغة سرعة الإفلات والبيانات المعلومة عن الأرض:

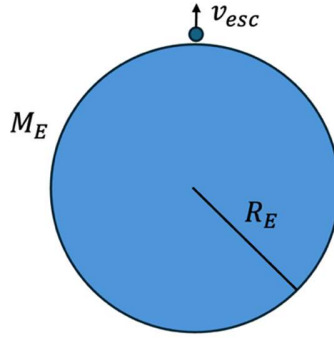
$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}} = 11.2 \text{ km/s}$$

ويمكن إيجاد الطاقة الحركية عبر التعويض في قانون الطاقة الحركية:

$$K = \frac{1}{2} m v_{esc}^2 = 3.1 \times 10^{14} \text{ J}$$

**تدريب 1.8:** جسم كتلته  $m$  قُذف عمودياً من سطح الأرض بسرعة ابتدائية  $v_i$ . أثبت أن أقل قيمة للسرعة الابتدائية يحتاجها الجسم حتى يفلت من الجاذبية الأرضية هي

$$v_{esc} = \sqrt{2GM_E/R_E}$$



**فكر:** هل توجد سرعة إفلات في حالة جسم مربوط بزنبك مثالي؟ ما الفرق بين هاتين الحالتين؟

**فكر:** لماذا لدى بعض الكواكب أغلفة جوية، ولكن بضعها الآخر ليس له غلاف جوي.

**فكر:** عند حساب سرعة الإفلات، قمنا بتجاهل عوامل تؤثر على القيمة الحقيقية لسرعة الإفلات. أذكر أحد العوامل الذي سيساعد الجسم على الإفلات، وأحد العوامل الذي سيصعب الإفلات على الجسم.

## 1.4 أسئلة إضافية

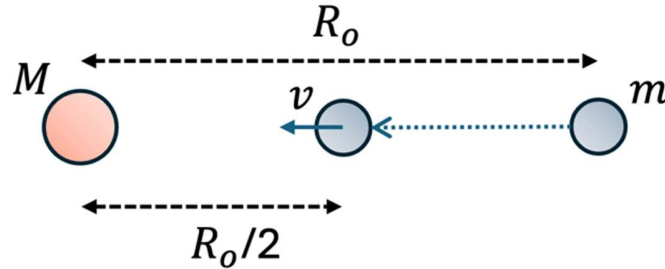
**سؤال 1.1:** تعادل كتلة المريخ 0.11 من كتلة الأرض، فإذا كان وزن جسم على الأرض  $2.0 \times 10^2$  N، فكم سيكون وزنه على المريخ؟ نصف قطر المريخ هو  $3.44 \times 10^6$  m.

**سؤال 1.2:** بعض الأقمار الصناعية تبدو وكأنها معلقة عند نقطة ثابتة بالنسبة لمراقب على سطح الأرض، أوجد ارتفاع هذه الأقمار من على سطح الأرض، وكذلك سرعتها المدارية.

**سؤال 1.3:** تُبَت جسمان كتلتهما  $m$  و  $4m$  على مسافة  $d$  من بعضهما البعض. أين يمكننا وضع جسم ثالث بحيث أنه سيظل ساكناً تحت تأثير قوى الجذب عليه؟

**سؤال 1.4:** يكمل مذنب هالي دورة في مداره الإهليجي حول الشمس كل 76 سنة. في عام 1986 كان في أقرب مسافة للشمس في مداره (بين كوكبي عطارد والزهرة)، وتساوي  $d_{min} = 8.90 \times 10^{10}$  m. أحسب أبعد مسافة لمذنب هالي عن الشمس.

**سؤال 1.5:** تنجذب كتلة  $m$  باتجاه كتلة أخرى مثبتة  $M$  ابتداءً من السكون وعلى بعد  $R_0$  منها. كم ستكون سرعة الكتلة  $m$  عندما تكون على مسافة  $R_0/2$ ؟

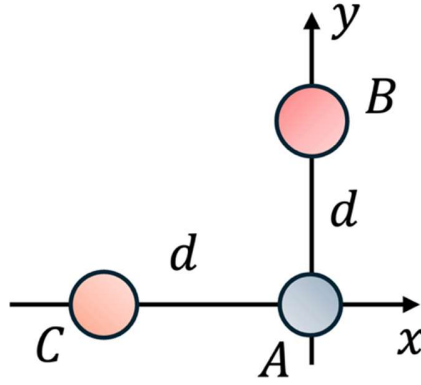


**سؤال 1.6:** كويكب كتلته تساوي  $2.0 \times 10^{-4}$  من كتلة الأرض يدور حول الشمس في مدار دائري على بعد يعادل ضعف بعد الأرض عن الشمس.

(أ) أوجد الزمن الدوري للكويكب بالسنوات.

(ب) ما نسبة طاقة الكويكب الحركية إلى الطاقة الحركية لدوران الأرض حول الشمس؟

**سؤال 1.7:** في الشكل تم وضع ثلاث جسيمات نقطية على المستوى  $xy$ . الجسم الأول  $A$  كتلته  $m_A$ ، والجسم الثاني  $B$  كتلته  $3m_A$ ، والجسم الثالث  $C$  كتلته  $4m_A$ . أين يجب وضع جسيم نقطي رابع  $D$  كتلته  $5m_A$  بحيث تصبح محصلة قوى الجاذبية المؤثرة على الجسم  $A$  تساوي صفراً؟



**سؤال 1.8:** قمر صناعي كتلته  $220.0 \text{ kg}$  يدور في مدار دائري حول الأرض على ارتفاع  $640.0 \text{ km}$  عن سطح الأرض. بافتراض أن القمر الصناعي يفقد طاقة ميكانيكية بمعدل  $1.4 \times 10^5$  لكل دورة مدارية. احسب نصف قطر المدار الجديد له بعد أن يتم 1500 دورة.

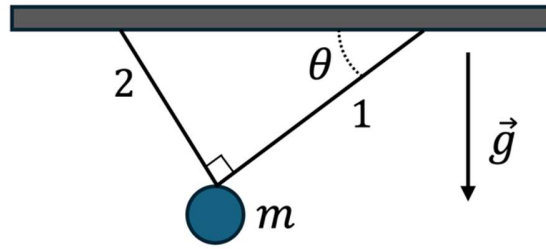
## 1.5 الاختبار التجريبي

**سؤال 1:** سيذهب فهد من الدور الأول إلى الدور السادس في بناية عمله. المصعد يقوم بالصعود بتسارع منتظم  $a$  لمدة زمنية  $T$ ، ثم يتوقف عن التسارع ويكمل حركته بسرعة ثابتة لمدة  $4T$ ، ثم يبدأ بالتباطؤ بنفس مقدار التسارع الأول  $a$  لمدة  $T$  حتى يتوقف. لو كان ارتفاع الدور السادس عن الأول  $H$ ، فأجب عن الآتي:

أ) ارسم رسمياً بيانياً لكل من تسارع  $a(t)$ ، سرعة  $v(t)$  وارتفاع  $h(t)$  المصعد كدالة في الزمن من  $t = 0$  حتى  $t = 6T$ .

ب) عبر عن  $a$  بدلالة  $H$  و  $T$ .

**سؤال 2:** علقت كتلة  $m$  بواسطة خيطين عديمي الكتلة معلقين من عند السقف. الخيطان يصنعان زاوية قائمة عند الكتلة، والخيط الأول يصنع زاوية  $\theta$  مع السقف. ما هو الشد  $T_1$  و  $T_2$  في كل من الحبلين؟

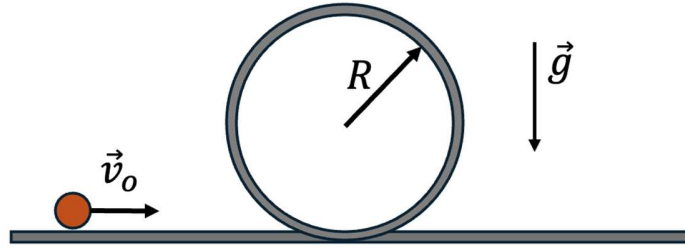


**سؤال 3:** أفلتت كرة صغيرة كتلتها  $m$  من على سطح مبنى مرتفع. تسقط هذه الكرة جراء تسارع الجاذبية الأرضية  $\vec{g}$ ، ولكنها تتأثر بمقاومة الهواء. لو افترضنا أن قوة مقاومة الهواء لحركة الكرة تتناسب خطياً مع سرعة الكرة  $\vec{v}$  بثابت تناسب موجب  $b$ ، فإن القوة تعطى كالتالي

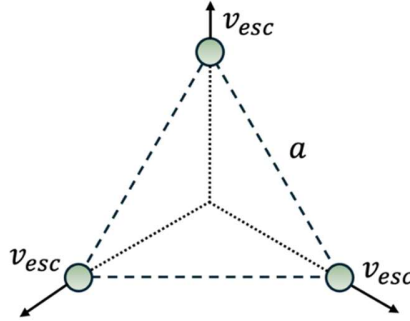
$$\vec{F}_a = -b\vec{v}$$

ما هي السرعة القصوى التي ستصل لها الكرة أثناء سقوطها؟ افترض أن  $g$  منتظمة.

**سؤال 4:** يستعد متزلج للقيام بدورة كاملة حول مسار دائري رأسي. بافتراض أن جميع الأسطح ملساء، ماهي أقل سرعة  $v_0$  يتوجب على المتزلج أن ينطلق بها حتى يكمل دورته حول المسار الدائري، لو كان نصف قطر المسار  $R$  وتسارع الجاذبية  $g$  منتظم واتجاهه للأسفل.



**سؤال 5:** وُضعت ثلاثة أجسام متطابقة كتلتها  $m$  على رؤوس مثلث متطابق الأضلاع طول ضلعه  $a$ . ما هي أقل سرعة  $v_{esc}$  يجب إعطاؤها لكل كتلة بالاتجاه المبين (امتداد متجهات السرعة تتقاطع عند مركز المثلث) حتى تفلت الأجسام من تأثير جاذبية بعضها البعض؟

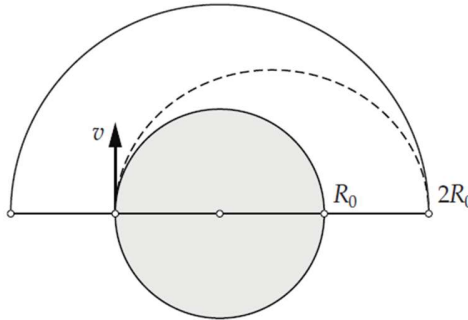


**سؤال 6:** يدور نجمان حول بعضهما البعض في مسار دائري. النجم A له كتلة  $M$  والنجم B له كتلة  $2M$ . لو كانت المسافة بينهما  $d$ ، فأوجد السرعة المدارية للنجم A،  $V_A$ .

**سؤال 7:** يرغب رواد الفضاء على القمر بالرجوع لمركبتهم الفضائية، والتي تدور حول القمر على ارتفاع يساوي نصف قطر القمر،  $R_0 = 1700 \text{ km}$ ، أنظر للشكل. مسار عودة الرواد سيكون مماسياً لسطح القمر ومماسياً لمسار المركبة الفضائية. المحرك الذي سيستخدم للعودة للمركبة سيستخدم مرة واحدة فقط عند بداية الرحلة. تسارع جاذبية القمر على سطح القمر هو  $g = 1.7 \text{ m/s}^2$ .

(أ) أوجد السرعة الابتدائية  $v$  لرواد الفضاء على سطح القمر بعد استخدام المحرك.

(ب) كما ستكون مدة الرحلة للوصول للمركبة الفضائية؟



## 2. الفصل الثاني: التجارب العملية

للعالم الفيزيائي اللورد كلفن مقولة شهيرة: "عادة ما أقول أنه عندما تقيس شيئاً وتعبر عنه بالأرقام، فإنك تعرف شيئاً عنه، وعندما تعجز عن قياسه، والتعبير عنه برقم، فإن معرفتك به محدودة وغير مرضية."

**فكر:** أعط مثلاً تنطبق عليه مقولة اللورد كلفن.

### 2.1. الفيزياء كعلم تجريبي

الفيزياء العملية Experimental Physics هي أساس علم الفيزياء الحديث. هي الطريقة التي نتحقق بها من صحة النظريات ونكتشف عبرها ظواهر جديدة. يتم هذا عبر بناء التجارب والقيام بالقياسات، والقياس هو مقارنة كمية مجهولة بكمية معيارية.

لماذا نحتاج التجارب؟

#### • التحقق من النظريات:

النظريات الفيزيائية تفسر الظواهر العلمية، ولذلك يجب أن تُختبر. فعلى سبيل المثال، تنبأت النظرية النسبية العامة لأينشتاين بأن الضوء ينحني تحت تأثير الجاذبية في عام 1915، وقد تم التحقق من ذلك في عام 1919. لاحظ أن المدة الزمنية بين التنبؤات النظرية والتأكيدات العملية قد تصل لعدة سنين أو العقود.

#### • لاكتشاف ظواهر جديدة:

كثير من الاكتشافات العلمية جاءت من ملاحظات عملية غير متوقعة، مثل اكتشاف الأشعة السينية X-rays من قبل العالم رونتنجن عام 1895.

#### • تطوير التقنيات:

التجارب تؤدي إلى تطوير تقنيات جديدة تفيد البشرية، مثل الليزر LASER الذي بدأ كتوقع نظري ثم أصبح تقنية أساسية في حياتنا.

**ابحث:** أعط أمثلة على تجارب مهمة عبر تاريخ الفيزياء. ما هي الكميات الفيزيائية التي قيست في هذه التجارب؟

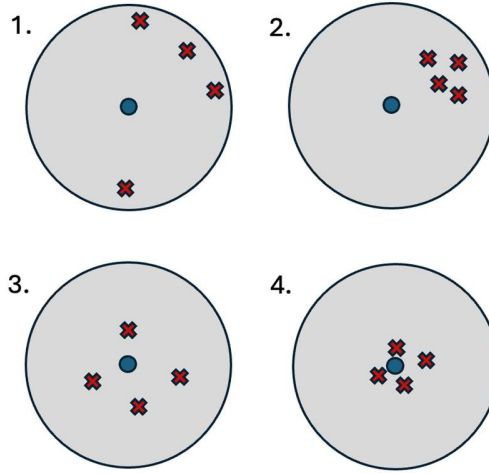
## 2.2 الدقة والضبط والأخطاء في التجارب

هنالك فرق بين هذين المفهومين الرئيسيين في التجارب:

**الدقة precision:** تشير إلى تقارب القياسات المتكررة من بعضها البعض. القياسات الدقيقة تعطي نتائج متقاربة، حتى لو كانت بعيدة عن القيمة الحقيقية أو المرجعية.

**الضبط accuracy:** يشير إلى قرب القياس من القيمة الحقيقية أو المقبولة للكمية المقاسة.

أنظر للشكل أدناه والذي يوضح الفرق في صورة استهداف مركز الدائرة بالأ سهم. حالة 1 ليست مضبوطة ولا دقيقة. حالة 2 دقيقة لقرب النتائج لكنها ليست مضبوطة لبعدها عن الهدف. حالة 3 مضبوطة نوعا ما لكنها ليست دقيقة. حالة 4 دقيقة ومضبوطة.



**تدريب 2.1:** قام أحمد وحسام بقياس سرعة الضوء، فحصل أحمد على  $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8 \text{ m/s}$ ، وحصل حسام على  $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8 \text{ m/s}$ . أيهما أكثر دقة ولماذا؟ وأيهما أكثر ضبطاً، علماً أن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

هنالك عموماً نوعان من الأخطاء التي نواجهها عند القيام بالتجارب. الأخطاء الإحصائية والأخطاء المنهجية. الأخطاء المنهجية تتبع من محدودية دقة أدوات القياس في التجربة وغيرها من العوامل التي تحد من دقة وضبط القياسات. الأخطاء الإحصائية تأتي من تغير نتيجة القياس عند تكرار القياس مرات عديدة، ويمكن التقليل منها عبر أخذ بيانات إضافية.

لن تقوم في هذه المرحلة بتقدير الأخطاء في نتائجك، لكنك ستعمل على استراتيجيات لتقليصها، مثل تكرار القياسات لتفادي الأخطاء الإحصائية والحرص على بناء وتنفيذ التجربة بشكل سليم لتفادي الأخطاء المنهجية.

### 2.3 تسجيل البيانات

هنالك ثلاث مراحل أساسية لكل تجربة في أولمبياد الفيزياء. الأولى هي البناء، الثانية هي القياس، والثالثة هي التحليل. في مرحلة البناء، سيتوجب عليك اتباع خطوات معينة لبناء تجربتك، فمثلا في تجارب الدوائر الكهربائية سيتوجب عليك توصيل آلات القياس وغيرها من عناصر الدوائر الكهربائية ببقية الدائرة. في بعض الأحيان، ستعطى أغلب الخطوات لبناء التجربة، لكن في بعض التجارب، سيتوجب عليك التفكير بكيفية بناء التجربة ذاتيا. في بعض التجارب، من السهل القيام بهذه الخطوة، ولكن في بعضها الآخر قد تكون هذه المرحلة هي التحدي الأساسي في التجربة. في مرحلة القياس، ستبدأ بالقيام بالتجربة، وفي هذه الأثناء ستأخذ قياسات مختلفة والتي ستساعدك على إيجاد المطلوب.

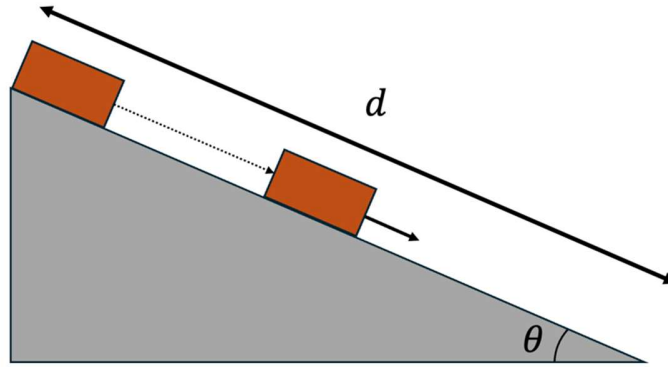
#### تنويه:

- يتوجب عليك مراجعة قواعد الأعداد المعنوية.
- تذكر أن دقة أداة القياس تساوي نصف قيمة أصغر تدرج على الأداة، لذا عند كتابتك لنتيجة قياساتك، تأكد من عدم استخدام أرقام معنوية تتخطى دقة قياس أدواتك.

**مثال 2.1:** تقوم ريمـا بتجربة انزلاق مكعب على سطح مائل أملس لقياس تسارع الجاذبية. ستستخدم النتيجة المعروفة من قوانين نيوتن وهي أن التسارع يرتبط بالإزاحة المقطوعة  $d$  والمدة الزمنية  $t$  كالتالي

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

وفي حالة السطح المائل الأملس  $a = g \sin \theta$ .



لنفترض أنها قاست الزاوية  $\theta$  وطول المنحى  $d$ . سيتوجب عليها تسجيل هذه القيم في جدول يوضح الوحدات ودقة القياس.

$\theta$ [degree]	$d$ [cm]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$t_4$ [s]	$t_5$ [s]
10.	150.0	1.38	1.28	1.33	1.20	1.34

السؤال الآن هو كيف نستخدم هذه البيانات للحصول على تسارع الجاذبية؟

## 2.4 تحليل البيانات والرسم البيانية

بعد أن قمت بجدولة بياناتك، ستبدأ بالمرحلة الثالثة، وهي مرحلة تحليل البيانات. في هذه المرحلة، يجب أن تقوم ببعض العمليات الحسابية على البيانات التي قمت بجمعها. في حال تكرار القياس، أحد أبسط العمليات هو أخذ المتوسط.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_i x_i \quad (1)$$

حساب المتوسط يساعدك على تقليل أثر الخطأ الإحصائي.

**مثال 2.2:** قم بحساب متوسط الأطوال في المجموعة {10,15,18,25}، بحيث أنها كلها مقاسة بوحدة الـ cm.

معادلة المتوسط تعطى بمجموع القيم قسمة عددها:

$$\bar{L} = \frac{10 + 15 + 18 + 25}{4} \text{ cm} = 17 \text{ cm}$$

**تدريب 2.2:** قم بحساب متوسط الزمن في تجربة ريما، ثم قم بحساب تسارع الجاذبية بناء على هذه النتيجة.

**تنويه:** لا يتوجب عليك دائما تكرار قياس كل البيانات. فمثلا سيتوجب عليك تكرار قياس زمن انزلاق المكعب عدة مرات، لكن لا يتوجب عليك تكرار قياس طول المنحنى المائل أو الزاوية عدة مرات.

عند القيام بتجربة مثل تجربة انزلاق المكعب على سطح مائل، من المفيد أن نقوم بتكرار التجربة مع مسافات وزوايا مختلفة حتى يمكننا استخراج المجاهيل عبر الرسم البياني. غالبا ما ستحتاج لرسم بياناتك على رسم بياني لإيجاد قيمة مجهول ما. في الحالات البسيطة، غالبا ما يكون التوقع النظري بين المتغير  $x$  والمتغير  $y$  تعطى بدالة مثل

$$y = ax^n + b \quad (2)$$

حيث  $n$  معطى والمطلوب هو إيجاد المجهولين  $a$  و  $b$ . أسهل طريقة للقيام بهذا هو تحويل المعادلة إلى معادلة خطية عبر حساب ورسم  $x^n$  على المحور الأفقي بدلا من  $x$ . فمثلا لو كانت  $n = 2$ ، ستقوم بحساب مربع قيم  $x$  من جدول البيانات، ثم سترسمها. وقتها ميل الخط المستقيم سيكون  $a$ ، والمقطع الصادي سيكون  $b$ .

**مثال 2.3:** تقوم سَمَا بتجربة انزلاق مكعب على سطح مائل خشن لحساب معامل الاحتكاك الحركي  $\mu$  بين المكعب والسطح الخشن. قامت بجمع البيانات الآتية، واستخدمت زاوية ميلان  $\theta = 30^\circ$ . من المعطى أن تسارع الجاذبية في مكان تنفيذ التجربة يساوي  $9.8 \text{ m/s}^2$ . قامت سَمَا بجمع بيانات زمن انزلاق المكعب لمسافات مختلفة ووضعتها في الجدول أدناه.

$d$ [cm]	$t_1$ [s]	$t_2$ [s]	$t_3$ [s]	$t_4$ [s]	$t_5$ [s]	$t_{avg}$ [s]	$t_{avg}^2$ [s <sup>2</sup> ]
40.	1.09	1.16	1.07	1.13	1.11	1.11	1.24

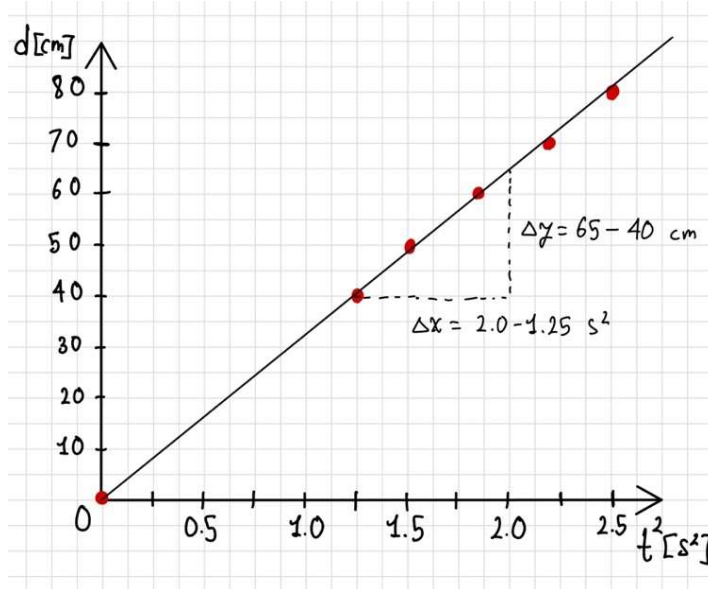
50.	1.28	1.21	1.24	1.17	1.27	1.23	1.52
60.	1.36	1.34	1.28	1.37	1.42	1.35	1.83
70.	1.56	1.45	1.42	1.61	1.40	1.49	2.22
80.	1.58	1.57	1.62	1.57	1.56	1.58	2.50

لاحظ:

- كل عمود في الجدول يبدأ بالكمية المقاسة أو المحسوبة ووحدتها.
  - العمودان الأخيران في الجدول تم حسابهما بالحاسبة.
- ستستخدم سَمًا معرفتها بقوانين نيوتن لاستنتاج أن المسافة مربوطة بالزمن عبر

$$d = \frac{1}{2}g(\sin \theta - \mu \cos \theta)t^2$$

لذا قامت برسم رسم بياني لـ  $t_{avg}^2$  مع  $d$ :



الميل سيكون

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.33 \text{ m/s}^2 = \frac{1}{2}g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

ومع حل المعادلة لـ  $\mu$ ، نجد أن

$$\mu = 0.50$$

### ملاحظات مهمة:

- لاحظ أن نقطة الأصل استخدمت في هذا التحليل لأنه من البديهي أن المدة الزمنية ستكون صفراً عندما تكون الإزاحة صفرية، لكن استخدام نقطة الأصل ليس ممكناً في جميع التجارب ويتوجب عليك تحديد ذلك.
- لا توجد نقاط بين  $t = 0.0s$  و  $t = 1.0s$  في بداية الرسم البياني، وهذا أمر ملائم لأن دقة قياس الوقت تصبح أسوأ عندما تكون المسافة المقطوعة صغيرة لأنها تصبح أقرب لزمن ردة الفعل.

**تدريب 2.3:** في إحدى التجارب، كان هنالك جسم يتحرك بتسارع ثابت  $a$  في خط مستقيم ابتداءً من السكون. قام سعود بهذه التجربة عدة مرات لقياس الزمن الذي يحتاجه الجسم ليقطع مسافات مختلفة. قام سعود بتدوين قياساته في الجدول الآتي

$d [m]$	$t_1 [s]$	$t_2 [s]$	$t_3 [s]$	$t_4 [s]$	$t_5 [s]$	$t_{avg} [s]$	$t_{avg}^2 [s^2]$
1.0	0.88	0.85	0.97	0.89	0.97		
2.0	1.32	1.23	1.24	1.21	1.24		
3.0	1.56	1.51	1.33	1.63	1.47		
4.0	1.80	1.84	1.70	1.84	1.75		
5.0	1.88	2.02	2.06	2.01	2.00		

أكمل الجدول للبيانات المعطاة، ثم استخدم ما تعرفه عن الحركة بتسارع ثابت لإيجاد قيمة التسارع  $a$ . أوجد قيمة  $a$  عبر رسم رسم بياني ملائم.

**تدريب 2.4:** تقوم كيان بتحليل بيانات جُمعت عن نجم جديد تدور حوله عدة كواكب. يوضح الجدول الآتي نصف القطر الأعظم لمدارات هذه الكواكب حول النجم والمدة الزمنية لدورتها الكاملة.

$a [10^7 km]$	$T [years]$
5.2	0.15
17.3	0.91

30.8	2.11
48.1	4.40
61.9	5.80
68.8	7.01
74.5	7.17

ارسم رسماً بيانياً ملائماً وقم باستخدام هذه البيانات لحساب كتلة النجم. يمكنك افتراض أن كتلة النجم أكبر بكثير من كتلة الكواكب.

**تنويه:** لاحظ أن في هذه البيانات، لا يمكنك استخدام نقطة الأصل  $(0,0) = (a, T)$  في التحليل لأنها ليست حالة يمكن الحصول عليها عملياً.

**ملاحظات مهمة:** سنذكر هنا بعض النصائح العامة المفيدة لتجارب الأولمبياد.

- أثناء قيامك بالتجارب، من المهم أن تفكر بعقلية فيزيائية التجريبي وليس عقلية الفيزيائي النظري. بناؤك للتجربة وأخذك للبيانات لا يتطلب فهماً نظرياً عميقاً وواضحاً عما يحصل في التجربة. لذلك تجنب أن تصرف الكثير من الوقت لمحاولة فهم الاشتقاقات النظرية للمعادلات المعطاة وما شابه.
- قبل بنائك للتجربة، قم بقراءة الخطوات وطابق أدوات التجربة. ستخسر الكثير من الوقت لو قمت بخطأ في بناء تجربتك.
- لا تنس الأرقام المعنوية.
- لا تنس الوحدات في الرسوم والجداول البيانية.
- دائماً اكتب الكميات التي قمت بقياسها أو اختيارها في التجربة بشكل واضح.
- عند أخذ قياسات متكررة، ابن جدولاً للبيانات، يتضح فيه الكميات المقاسة ووحداتها.
- دع مجالاً لتحليل البيانات في الجداول التي تقوم بها.
- فكر بكيفية تقليل الأخطاء في تجربتك.
- عند رسم رسمة بيانية، تأكد من أن رسمتك تغطي أكثر من ثلثي مساحة الرسمة البيانية.

## 2.5 بعض التجارب البسيطة

### تجربة 1: السقوط الحر

ستقوم في هذه التجربة بحساب تسارع الجاذبية عبر السقوط الحر. ستقوم بإفلات كرات صغيرة من على ارتفاعات مختلفة وستحسب زمن السقوط. هذه البيانات ستساعدك على إيجاد تسارع الجاذبية على سطح الأرض.

الأدوات المطلوبة:

- مُؤقت.
  - أداة لقياس الطول.
  - كرتان كتلتها مختلفة.
- قم بحساب تسارع الجاذبية للكرتين وقارن بين نتائجك.

### تجربة 2: الاحتكاك السكوني

ستقوم في هذه التجربة بحساب معامل الاحتكاك السكوني بين سطح خشن وجسم ما.

الأدوات المطلوبة:

- سطح مائل خشن يمكن تغيير زاوية ميلانه.
  - منقله لقياس الزوايا.
  - مكعب أو لوح صغير.
- عبر تغيير زاوية الميلان، قم بتحديد معامل الاحتكاك السكوني بين السطح المائل والجسم الذي اخترته.

### تجربة 3: قياس أبعاد مكعب

ستقوم في هذه التجربة بتحديد أبعاد جسم مجهول باستخدام القدمة ذات الورنية.

الأدوات المطلوبة:

- متوازي مستطيلات صغير مجهول الأبعاد.
  - قدمة ذات الورنية.
- تعلم كيفية استخدام القدمة ذات الورنية وسجل قياساتك لأبعاد متوازي المستطيلات.

## 2.6. الاختبار التجريبي

سؤال 1: حساب ثابت الزنبرك

الأدوات:

1. زنبرك مجهول الثابت.
2. شريط لقياس الطول.
3. أوزان صغيرة مختلفة معلومة الوزن للتعليق.
4. قاعدة لتعليق الزنبرك

قم بتعليق الزنبرك بشكل رأسي. بافتراض أن قوة ارجاع الزنبرك تتبع قانون هوك

$$\vec{F}_s = -k\Delta\vec{y}$$

بحيث أن  $\Delta\vec{y}$  هي الإزاحة عن نقطة الاتزان.

أوجد ثابت الزنبرك  $k$ , علماً بأن تسارع الجاذبية يساوي  $9.8\text{m/s}^2$  تقريباً.

سؤال 2: البندول البسيط

الأدوات:

1. بندول بسيط
2. شريط قياس
3. مؤقت

تأرجح البندول البسيط له زمن دوري  $T$  يرتبط بتسارع الجاذبية  $g$  وطول الحبل  $L$  عبر

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

قم بحساب زمن التأرجح للبندول البسيط حتى تحدد مقدار تسارع الجاذبية.

**تلميح:** حتى تقوم بتقليص الخطأ الناتج من تشغيل وإيقاف المؤقت، قم بحساب زمن عدة دورات.

**ملاحظة:** الصيغة الرياضية أعلاه للزمن الدوري للبندول البسيط تكون دقيقة عندما تكون زاوية التأرجح صغيرة.

## الأجوبة النهائية للمرحلة الرابعة

### حلول تدريبات الفصل الأول

تدريب 1.1:  $F_{ME} \ll F_{ES}$ ,  $F_{ME} \approx 2.00 \times 10^{20} N$ ,  $F_{ES} \approx 3.53 \times 10^{22} N$

تدريب 1.2:  $M_M \approx 7.4 \times 10^{22} \text{kg}$

تدريب 1.3: الجواب النهائي معطى

تدريب 1.4:  $c = 0$ ,  $b = r$ ,  $a = r$ . البؤرتان تندمجان عند مركز الدائرة.

تدريب 1.5:  $\Delta A/\Delta t = \sqrt{GMR}/2$

تدريب 1.6:  $T^2 = 4\pi^2 r^3 / GM$

تدريب 1.7:  $E = -GMm/2r$

تدريب 1.8: الجواب النهائي معطى

### حلول المسائل الإضافية للفصل الأول

سؤال 1.1:  $W_{Mars} = 75 N$

سؤال 1.2:  $h \approx 36000 \text{ km}$

سؤال 1.3:  $x = 2d/3$  هي المسافة عن الكتلة  $4m$  باتجاه الكتلة  $m$ .

سؤال 1.4:  $d_{max} = 5.3 \times 10^{12} \text{ m}$

سؤال 1.5:  $v = \sqrt{2GM/R_o}$

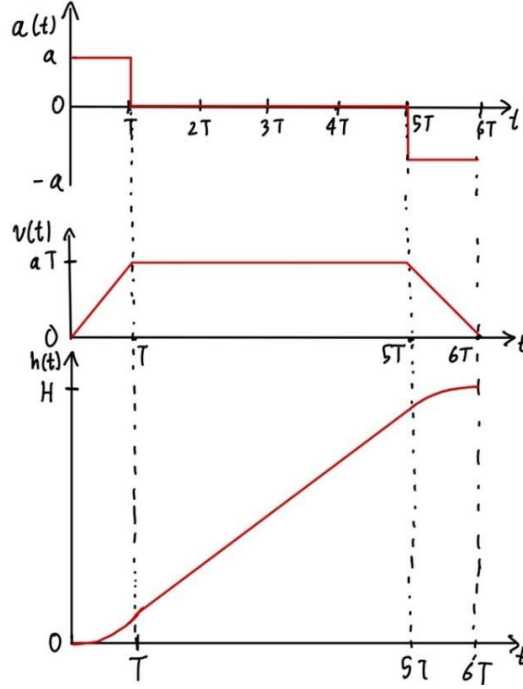
سؤال 1.6:  $T_a = 2.8 \text{ years}$ ,  $K_a/K_E = 10^{-4}$

سؤال 1.7:  $y_D = -3d/5$ ,  $x_D = 4d/5$

سؤال 1.8:  $r_f = 6.8 \times 10^6 \text{ m}$

## حلول الاختبار التجريبي للفصل الأول

سؤال 1:  $a = H/5T^2$



سؤال 2:  $T_2 = mg \cos \theta$ ,  $T_1 = mg \sin \theta$

سؤال 3:  $v_{terminal} = mg/b$

سؤال 4:  $v_o = \sqrt{5gR}$

سؤال 5:  $v_{esc} = \sqrt{2Gm/a}$

سؤال 6:  $V_A = \sqrt{4GM/3d}$

سؤال 7:  $T = 96 \text{ mins}$ ,  $v = 2.0 \text{ km/s}$

## حلول تدريبات الفصل الثاني

تدريب 2.1: أحمد أكثر دقة بينما حسام أكثر ضبطاً.

تدريب 2.2:  $\bar{t} = 1.31 \text{ s}$ ,  $g = 10.1 \text{ m/s}^2$

تدريب 2.3:  $a \approx 2.5 \text{ m/s}^2$

تدريب 2.4:  $M \approx 4.0 \times 10^{30} \text{ kg}$

## المراجع

- العوفي، طارق، والرشيدي، طلال. (2025). حقائب المستويات الأولية لتدريب فريق الفيزياء الأولمبي السعودي. مؤسسة الملك عبد العزيز ورجاله للموهبة والإبداع (موهبة).
- إيرودوف، إي. إي. (1982). مسائل في الفيزياء العامة. دار مير للنشر، موسكو.
- جيانكولي، دوغلاس سي. (2013). الفيزياء: المبادئ والتطبيقات (الطبعة السابعة). بيرسون للتعليم.
- غولدشتاين، هربرت، بول، تشارلز، وسافكو، جون. (2002). الميكانيكا الكلاسيكية (الطبعة الثالثة). دار أديسون-ويسلي.
- سيرواي، ريموند أ، وفيويل، كريست. (2017). فيزياء الكلية (الطبعة العاشرة). سينغيج ليرننغ.
- كليبنر، دانيال، وكولينكو، روبرت. (2014). مقدمة في الميكانيكا (الطبعة الثانية). مطبعة جامعة كامبريدج.
- هاليداي، ديفيد، ريزنك، روبرت، ووالمكر، جيرل. (2013). أساسيات الفيزياء (الطبعة العاشرة). جون وايلي وأولاده.

## References

- Al-Oufi, T., & Al-Rashidi, T. (2025). *Introductory-level training packages for the Saudi Physics Olympiad Team*. King Abdulaziz and His Companions Foundation for Giftedness and Creativity (Mawhiba).
- Giancoli, D. C. (2013). *Physics: Principles with applications* (7th ed.). Pearson Education.
- Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Irodov, I. E. (1982). *Problems in general physics*. Mir Publishers.
- Kleppner, D., & Kolenkow, R. (2014). *An introduction to mechanics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2017). *College physics* (10th ed.). Cengage Learning.