

مقاومة الهواء

تصنف مقاومة الهواء ضمن نوعين من القوى اشرح ذلك: (دورة 2013 الثانية)

- 1- **قوى الاحتكاك**: تنتج عن لزوجة الهواء وتكون مماسة للسطح المعرض للهواء حيث تنزلق جزيئات الهواء عند تصادمها مع السطح وذلك من أجل السرعات الصغيرة.
 - 2- **قوى ضغط**: تنتج عن تجمع جزيئات الهواء في مقدمة الجسم وتسبب له انضغاطاً وتخلل جزيئاته من الخلف هذا ما يسمى مقاومة الشكل ولذلك نلجأ إلى الشكل الانسيابي كما في مقدمة الطائرات والصواريخ وقوى الضغط تظهر من أجل السرعات الكبيرة.
- قارن بين هاتين القوتين في حالة السرعات الصغيرة والسرعات الكبيرة**

- 1- في حالة السرعات الصغيرة من رتبة بضعة أمتار في الثانية تكون قوة الاحتكاك هي المسبب الرئيسي لنشوء مقاومة الهواء ، كما في دقات التوجيه أو جسم الطائرة
- 2- في حالة السرعات الكبيرة تصبح قوى الضغط (مقاومة الشكل) المسبب الرئيسي لنشوء مقاومة الهواء وتهمل قوى الاحتكاك أمامها ، كما في أجنحة الطائرة ومصدات الريح والمظلي عند فتح مظلته

الدراسة التحريكية لمقاومة الهواء:

اذكر العوامل المؤثرة في مقاومة الهواء واكتب دستور مقاومة الهواء؟ (دورة 2014 الثانية)

- 1- **عامل السطح**: تزداد مقاومة الهواء بازدياد السطح الظاهري للجسم وتتناسب معه طردياً بالنسبة للأجسام المتناظرة (السطح الظاهري: مساحة سطح مرتسم على مستو $\perp \vec{v}$).
- 2- **عامل السرعة**: تتناسب مقاومة الهواء طردياً مع مربع السرعة (من 1 إلى 280) $(m.s^{-1})$
- 3- **عامل الكتلة الحجمية للهواء**: تتناسب مقاومة الهواء طردياً مع الكتلة الحجمية للهواء.
- 4- **عامل الشكل**: تنقص مقاومة الهواء على عدة أجسام لها نفس السطح الظاهري باقتراب شكلها إلى الشكل المغزلي.

ولذلك مقاومة الهواء لحركة قرص أكبر منها على حركة اسطوانة **علل؟**

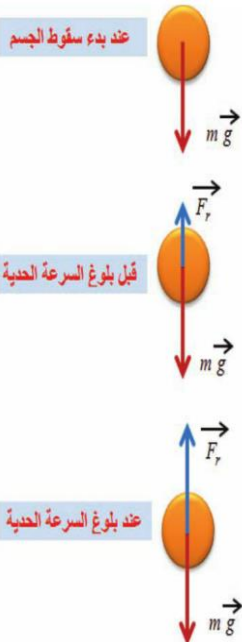
إن نقصاً مفاجئاً في الضغط يحصل خلف القرص تخفف منه جدران الاسطوانة.

$$\text{دستور مقاومة الهواء: } F_r = \frac{1}{2} k \rho s v^2 \quad \text{وتقاس بالنيوتن N}$$

K: لا واحدة له وتتوقف قيمته على شكل الجسم ونعومة سطحه

ρ : ($Kg.m^{-3}$) الكتلة الحجمية للهواء ، S : (m^2) مساحة سطح الجسم

استنتج عبارة السرعة الحدية لسقوط جسم كروي بدلالة (ρ_s, r) (دورة 2014 الأولى – 2013 الأولى)



جملة المقارنة: خارجية . الجملة المدروسة: الجسم الصلب

القوى الخارجية المؤثرة : \vec{W} ثقل الجسم , \vec{F}_r مقاومة الهواء

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{W} + \vec{F}_r = m \vec{a}$$

بالإسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل: $w - F_r = m a$

قبل بلوغ السرعة الحدية: تزداد السرعة وينقص التسارع $w > F_r$ فالحركة مستقيمة متسارعة.

عند بلوغ السرعة الحدية: ينعدم التسارع والسرعة ثابتة (حدية) $F_r = W$ فالحركة مستقيمة منتظمة

السرعة الحدية وهي أكبر سرعة يبلغها الجسم عندما تنعدم محصلة القوى ويكون :

$$w - F_r = 0 \Rightarrow w = F_r$$

$$\frac{1}{2} k \rho s v_t^2 = mg \Rightarrow v_t^2 = \frac{2 m g}{k \rho s}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2 m g}{k \rho s}} \quad \text{السرعة الحدية لسقوط جسم صلب}$$

من أجل جسم كروي: الكتلة الحجمية $\rho_s = \frac{m}{V}$

$$\Rightarrow m = V \cdot \rho_s$$

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_s \quad \left. \begin{array}{l} \\ s = \pi r^2 \end{array} \right\} v_t = \sqrt{\frac{2(\frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho_s) g}{k \rho (\pi r^2)}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{8 r \rho_s g}{3 k \rho}}$$

بالإختصار:

نستنتج أن: قيمة السرعة الحدية لجسم يسقط في هواء ساكن على كتلته الحجمية ρ_s وعلى نصف قطره r لذا من أجل كرتين لهما القطر نفسه ولكنهما من نوعين مختلفين فالكرة الأثقل تصل أولاً للأرض لو سقطتا من الارتفاع نفسه

$$r_1 = r_2 \quad \rho_{s1} > \rho_{s2} \Rightarrow v_{t1} > v_{t2} \quad \text{حيث} \quad \frac{v_{t1}}{v_{t2}} = \sqrt{\frac{\rho_{s1}}{\rho_{s2}}}$$

لذا من أجل كرتين من نفس النوع (نفس ρ_s) ولكنهما بقطرين مختلفين فالكرة الأكبر قطراً تصل أولاً للأرض لو سقطتا من الارتفاع نفسه

$$\rho_{s1} = \rho_{s2} \quad r_1 > r_2 \Rightarrow v_{t1} > v_{t2} \quad \text{حيث} \quad \frac{v_{t1}}{v_{t2}} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$$

لذلك تصل حبات البرد الكبيرة قبل حبات البرد الصغيرة بالرغم أنهما تشكلتا في اللحظة نفسها وسقطتا من نفس الارتفاع وبالشروط الابتدائية نفسها

أولاً: أجب عن الأسئلة الآتية :

1- اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي :

1. تسقط كرتان لهما القطر نفسه في هواء ساكن ، الكتلة الحجمية للأولى (ρ_{s1}) وسرعتها الحدية (v_{t1}) ، فإذا كانت الكتلة الحجمية الثانية (ρ_{s2}) حيث : ($\rho_{s2} = 9 \rho_{s1}$) . فإن سرعتها الحدية (v_{t2}) تكون :

$$v_{t2} = \frac{1}{9} v_{t1} \quad (D) \quad v_{t2} = \frac{1}{3} v_{t1} \quad (C) \quad v_{t2} = 9 v_{t1} \quad (B) \quad v_{t2} = 3 v_{t1} \quad (A)$$

2. تسقط كرتان من النوع نفسه في هواء ساكن نصف قطر الأولى (r_1) وسرعتها الحدية (v_{t1}) ، فإذا كان نصف قطر الثانية ($r_2 = 4r_1$) . فإن سرعتها الحدية (v_{t2}) تكون :

$$v_{t2} = \frac{1}{2} v_{t1} \quad (D) \quad v_{t2} = \frac{1}{4} v_{t1} \quad (C) \quad v_{t2} = 2 v_{t1} \quad (B) \quad v_{t2} = 4 v_{t1} \quad (A)$$

3. إن ترك جسم ليسقط في هواء ساكن من ارتفاع مناسب تكون طبيعة حركته بعد بلوغه السرعة الحدية مستقيمة :

(A) متسارعة بانتظام (B) متباطئة بانتظام (C) منتظمة (D) متغيرة

4. إن ترك جسم ليسقط في هواء ساكن من ارتفاع مناسب تكون طبيعة حركته قبل بلوغه السرعة الحدية مستقيمة :

(A) متسارعة بانتظام (B) متباطئة بانتظام (C) منتظمة (D) يتناقص فيها التسارع

5. تسقط كرتان متساويتان حجماً إحداهما من الرصاص والأخرى من الخشب في هواء ساكن من ارتفاع مناسب عن سطح الأرض فتصل الأرض :

(A) الكرتان معاً (B) كرة الخشب أولاً (C) كرة الرصاص أولاً (D) الأقل كثافة

6. يسقط جسم في هواء ساكن من ارتفاع مناسب فنجد عند بلوغ السرعة الحدية :

(A) $W < F_r$ (B) $W > F_r$ (C) $W = F_r$ (D) $W - F_r > ma$

تانياً: حل المسائلين الآتيتين :

المسألة رقم (1) : (دورة 2017 الأولى) (المسألة رقم 2 في الكتاب)

تسقط كرة فارغة من الرصاص كتلتها (4 π g) قطرها (4 cm) في هواء ساكن من ارتفاع مناسب :

- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لسرعتها الحدية ، ثم احسب قيمتها بفرض أن مقاومة الهواء تعطى بالعلاقة : ($F_r=0.25 sv^2$) .
- أحسب تسارع حركة الكرة أثناء سقوطها لحظة بلوغها السرعة ($10 m.s^{-1}$) ، وما محصلة القوى المؤثرة في الكرة عندئذٍ :
(g=10 m.s⁻²) الحل :

$$W - F_r = 0 \rightarrow F_r = W$$

$$\frac{1}{4} sv_t^2 = mg$$

$$v_t^2 = \frac{mg}{\frac{1}{4}s} \rightarrow v_t = \sqrt{\frac{4mg}{\pi r^2}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{4 \times 4\pi \times 10^{-3} \times 10}{\pi \times 4 \times 10^{-4}}} = 20 m.s^{-1}$$

السرعة الحدية

حساب تسارع الكرة في السرعة $v = 10 m.s^{-1}$

$$W - F_r = ma \rightarrow a = \frac{W - F_r}{m}$$

$$a = \frac{mg - 0.25\pi r^2 v^2}{m}$$

$$a = \frac{4\pi \times 10^{-3} \times 10 - \frac{1}{4} \times \pi \times 4 \times 10^{-4} \times 100}{4\pi \times 10^{-3}}$$

$$a = 10 - 2,5 = 7,5 m.s^{-2}$$

حساب شدة محصلة القوى عندئذٍ.

$$\sum F = m.a = 4\pi \times 10^{-3} \times 7,5 = 30\pi \times 10^{-3} N$$

المعطيات : $m = 4\pi g = 4\pi \times 10^{-3} kg$

$$F_r = 0.25 sv^2 = \frac{1}{4} sv^2$$

$$2r = 4cm \rightarrow r = 2cm = 2 \times 10^{-2} m$$

1. جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: كرة فارغة

القوى الخارجية المؤثرة:

 \vec{W} : ثقل الجسم وهي قوة ثابتة \vec{F}_r : وهي قوة متغيرة بتغير السرعة

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a} \rightarrow \vec{W} + \vec{F}_r = m.\vec{a}$$

بالاسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل

$$W - F_r = m.a$$

قبل بلوغ السرعة الحدية: تزداد السرعة وينقص التسارع $w > F_r$ فالحركة

مستقيمة متسارعة.

عند بلوغ السرعة الحدية: ينعدم التسارع والسرعة ثابتة ($F_r = W$)

فالحركة مستقيمة منتظمة

المسألة رقم (2) : (المسألة رقم 1 في الكتاب)

تسقط كرة مصممة ، نصف قطرها (2.5 mm) ، كتلتها الحجمية ($3000 kg.m^{-3}$) في هواء ساكن من ارتفاع مناسب ، والمطلوب :

- ما طبيعة حركة سقوط الكرة قبل بلوغ السرعة الحدية؟ ثم ما طبيعة حركة سقوطها بعد بلوغ السرعة الحدية؟ موضحاً إجابتك باستخدام العلاقات الرياضية .
- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لسرعتها الحدية ، وأحسب قيمتها بإهمال دافعة الهواء علماً أن مقاومة الهواء تعطى بالعلاقة :
($F_r=0.25 sv^2$) . (g=10 m.s⁻²) الحل :

قبل بلوغ السرعة الحدية: تزداد السرعة وينقص التسارع $w > F_r$ فالحركة مستقيمة متسارعة.

عند بلوغ السرعة الحدية: ينعدم التسارع والسرعة ثابتة (حدية)

 $F_r = W$ فالحركة مستقيمة منتظمة

$$W - F_r = 0 \rightarrow F_r = W$$

$$\frac{1}{4} sv_t^2 = mg$$

$$v_t^2 = \frac{mg}{\frac{1}{4}s} \rightarrow v_t = \sqrt{\frac{4mg}{\pi r^2}}$$

الكرة مصممة $\rho_s = 3000 kgm^{-3}$ تعين الكتلة m من ρ_s

$$s = \pi r^2 \quad \rho_s = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho_s \cdot V$$

$$m = \rho_s \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s$$

$$v_t = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g}{\pi r^2}} = \sqrt{\frac{16}{3} r \rho_s g}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{16}{3} \times 25 \times 10^{-4} \times 3000 \times 10}$$

$$v_t = 20 m.s^{-1}$$

الحل : $r = 2.5 mm = 2.5 \times 10^{-3} = 25 \times 10^{-4} m$

$$F_r = 0.25 sv^2 = \frac{1}{4} sv^2$$

$$W - F_r = m.a \quad 1$$

قبل بلوغ السرعة الحدية: تزداد السرعة وينقص التسارع $w > F_r$

فالحركة مستقيمة متسارعة.

عند بلوغ السرعة الحدية: ينعدم التسارع والسرعة ثابتة ($F_r = W$)

فالحركة مستقيمة منتظمة

$$W - F_r = 0 \rightarrow F_r = W$$

2. جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: كرة مصممة

القوى الخارجية المؤثرة:

 \vec{W} : ثقل الجسم وهي قوة ثابتة \vec{F}_r : وهي قوة متغيرة بتغير السرعة

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a} \rightarrow \vec{W} + \vec{F}_r = m.\vec{a}$$

بالاسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل

$$W - F_r = m.a$$

المسألة رقم (3) : (المسألة 9 عامة في الكتاب)

1. تسقط كرة فارغة من الألمنيوم نصف قطرها ($r = 2 \text{ cm}$) كتلتها ($m = \pi g$) بدون سرعة ابتدائية في هواء ساكن من ارتفاع كاف .
 2. أدرس مراحل وصول الكرة إلى سرعتها الحدية مستنتجاً العلاقة المحددة لسرعتها الحدية باعتبار أن ($F_r = 0.25sv^2$) ثم أحسب قيمتها .
 3. أحسب تسارع حركة الكرة في اللحظة التي تبلغ فيها سرعتها ($v = 5 \text{ m.s}^{-1}$) .
 3. ماذا تصبح قيمة السرعة الحدية إذا كانت الكرة مصمتة - بالقطر نفسه - والكتلة الحجمية لمادتها $\rho_s = 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$

2. حساب تسارع الكرة في السرعة $v = 5 \text{ m.s}^{-1}$

$$w - F_r = ma \rightarrow a = \frac{w - F_r}{m}$$

$$a = \frac{mg - 0.25\pi r^2 v^2}{m}$$

$$a = \frac{\pi \times 10^{-3} \times 10 - \frac{1}{4} \times \pi \times 4 \times 10^{-4} \times 25}{\pi \times 10^{-3}}$$

$$a = 10 - 2,5 = 7,5 \text{ m.s}^{-2}$$

3. الكرة مصمتة $\rho_s = 2,7 \text{ g.cm}^{-3} = 2,7 \cdot 1000 = 2700 \text{ kgm}^{-3}$

$$2700 \text{ kgm}^{-3}$$

نستنتج علاقة v_t من الطلب الأول :

$$v_t = \sqrt{\frac{mg}{\frac{1}{4}s}}$$

$$s = \pi r^2 \quad \rho_s = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho_s \cdot V$$

$$m = \rho_s \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s$$

$$v_t = \sqrt{\frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g}{\frac{1}{4} \pi r^2}} = \sqrt{\frac{16}{3} r \rho_s g}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{16}{3} \times 2 \times 10^{-2} \times 2700 \times 10}$$

$$v_t = 24\sqrt{5} \text{ m.s}^{-1}$$

الحل:

$$F_r = 0,25sv^2 = \frac{1}{4}sv^2 \quad 1.$$

جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: كرة

القوى الخارجية المؤثرة:

\vec{W} : ثقل الجسم وهي قوة ثابتة

\vec{F}_r : وهي قوة متغيرة بتغير السرعة

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \rightarrow \vec{W} + \vec{F}_r = m \cdot \vec{a}$$

بالاسقاط على المحور موجه نحو الأسفل

$$F_r - W = m \cdot a$$

قبل بلوغ السرعة الحدية: تزداد السرعة وينقص التسارع $w > F_r$ فالحركة مستقيمة متسارعة.

عند بلوغ السرعة الحدية: ينعدم التسارع والسرعة ثابتة (حدية) $F_r = W$

فالحركة مستقيمة منتظمة $W - F_r = 0 \rightarrow F_r = W$

$$\frac{1}{4}sv_t^2 = mg$$

$$v_t^2 = \frac{mg}{\frac{1}{4}s} \rightarrow v_t = \sqrt{\frac{4mg}{\pi r^2}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-3} \times 10}{\pi \times 4 \times 10^{-4}}} = 10 \text{ m.s}^{-1}$$

السرعة الحدية

المسألة رقم (4) : (دورة 2017 الثانية)

تبلغ قيمة السرعة الحدية لمظلي ومظلته مفتوحة ($v_t = 4 \text{ m.s}^{-1}$) . المطلوب :

1. استنتج العلاقة المحددة لنصف قطر مظلته التي يجب أن يستخدمها إذا كانت بشكل نصف كرة ، وبفرض أن كتلة المظلي (80 kg) ، وكتلة مظلته (20 kg) ، ثم أحسب قيمته باعتبار أن مقاومة الهواء تعطى بالعلاقة : ($F_r = 0.8sv^2$)

2. استنتج العلاقة المحددة لقوة شد مجمل حبال المظلة أثناء السقوط الجملة

بسرعتها الحدية السابقة ، وأحسب قيمتها العددية . (باعتبار $16\pi = 50$)



$$r^2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{0,8\pi v_t^2} \Rightarrow$$

$$r = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)g}{0,8\pi v_t^2}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 10}{8 \cdot 10^{-1} \cdot \pi \cdot 16}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 10}{8 \cdot 10^{-1} \cdot 1,57}} = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 \text{ m}$$

2. ندرس جملة المظلي فقط:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{w}_1 + \vec{T} = m \cdot \vec{a}$$

بالاسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل

$$W_1 - T = ma$$

ولكن عند بلوغ السرعة الحدية: $a=0$

$$W_1 - T = 0 \Rightarrow T = W_1$$

$$T = m_1 g = 80 \times 10 = 800 \text{ N}$$

1. جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: (مظلي + مظلة)

القوى الخارجية: ثقل الجملة (\vec{W}_1) ثقل المظلي (\vec{W}_2) ثقل المظلة

مقاومة الهواء \vec{F}_r ،

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{W}_1 + \vec{W}_2 + \vec{F}_r = m \cdot \vec{a}$$

بالاسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل

$$w_1 + w_2 - F_r = m \cdot a$$

ولكن عند بلوغ السرعة الحدية ينعدم التسارع $a = 0$

$$\Rightarrow w_1 + w_2 - F_r = 0 \Rightarrow F_r = w_1 + w_2$$

$$0,8sv_t^2 = (m_1 + m_2)g \Rightarrow 0,8\pi r^2 v_t^2 = (m_1 + m_2)g$$