



دراسة حركة السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء

I. الدراسة التجريبية لحركة السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء

1-1- طرح الاشكال :

ماذا تلاحظ عند ترك ورقة تسقط في الهواء ؟
نلاحظ أن الحركة معقدة (مسار غير مستقيم لمركز عطالة الورقة)

التعليل :

أكد أن الهواء أثر على حركة الورقة أثناء السقوط ، وهذا بين أن الورقة تخضع بالإضافة إلى ثقلها لقوى معرقة لحركتها نسميها قوى احتكاك الهواء .

1-2- نمذجة قوى احتكاك الهواء :

رأينا أن سقوط الورقة لم يكون شاقوليا ، وبالتالي لكي نحقق نمذجة بسيطة لقوى احتكاك الهواء نستعمل أجساما متميزة (ثقيلة نسبيا ، ذات حجم كبير) و هكذا نضمن سقوط شاقولي للجسم في الهواء .

أ- التحقيق التجريبي :

نأخذ مجموعة أربع بالونات مربوطة في ما بينها و مثقلة ببرغي ثم نترك المجموعة تسقط في الهواء .نقوم بتسجيل حركة السقوط بواسطة آلة تصوير فيديو في مكان مناسب .نعالج شريط الفيديو ببرنامج اعلام آلي مناسب :

-لدراسة تطور السرعة بدلالة الزمن $V=f(t)$ نتابع الخطوات التالية :

-نتابع الأوضاع المتتالية للجسم الساقط في لحظات مختلفة بواسطة برنامج (AVIMECA2) .

-حساب سرعة البالونات بواسطة برنامج REGRESSI .

-نرسم البيان $v=f(t)$ بواسطة برنامج Excel .



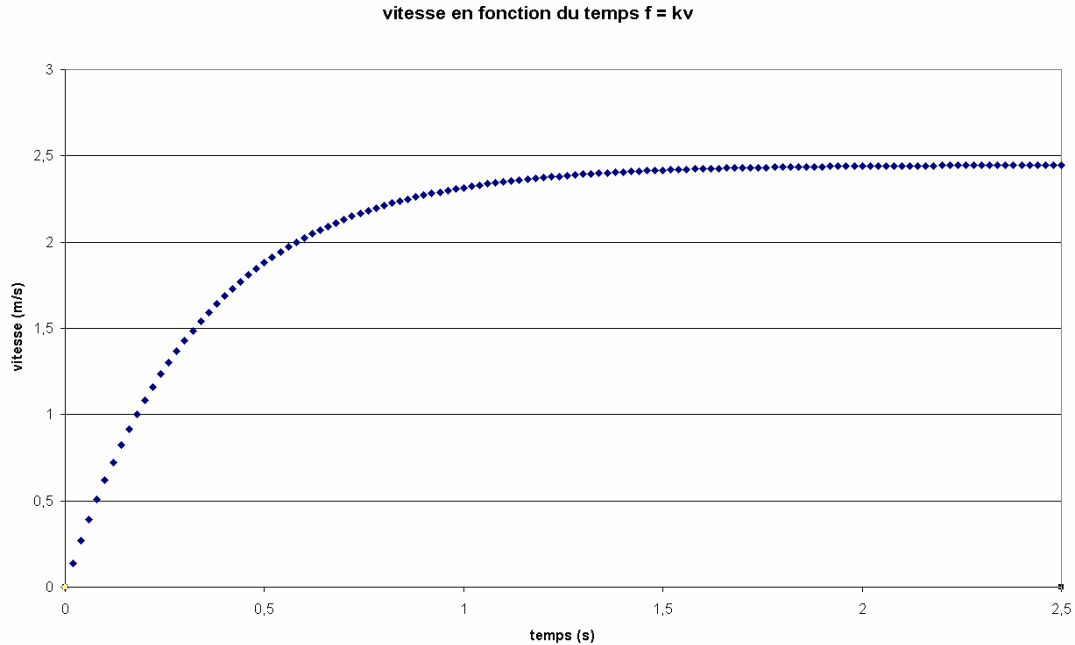
معطيات :

حجم الجملة (بالونات+برغي) $5.2L =$

الكتلة الجملة $22.2g =$

الكتلة الحجمية للهواء : $\rho_{air} = 1.3kg/m^3$

نحصل على البيان التالي :



الملاحظة: نميز من البيان مرحلتين :

النظام الانتقالي : السرعة تزداد بشكل غير منتظم

النظام الدائم :- نلاحظ أن قيمة السرعة أصبحت ثابتة عند حد معين نسميه السرعة الحدية $V = V_{limite}$.

- حركة الجملة مستقيمة منتظمة .

ب- السرعة الحدية (V_{limite})

السرعة الحدية هي أكبر سرعة يبلغها الجسم الذي يسقط شاقوليا في المائع (غاز أو سائل) و تكون عندها حركته مستقيمة منتظمة .

تجريبا تحدد قيمة السرعة الحدية بالخط المقارب الأفقي لمنحنى تطور السرعة $V = f(t)$.

في التجربة السابقة : $V_{lim} = 2.5m/s$.

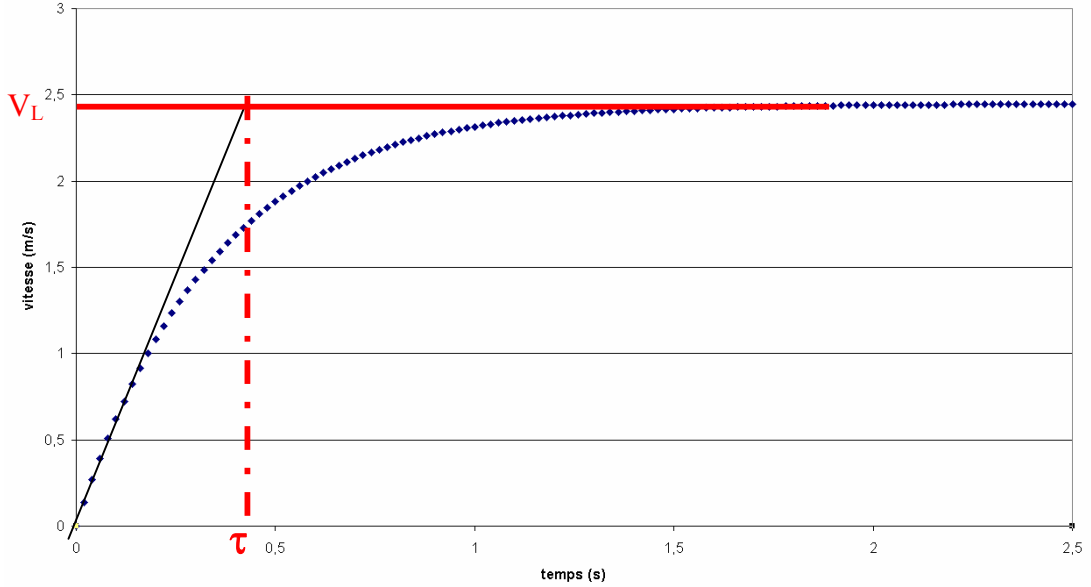
ج- الزمن المميز (τ)

هو الزمن الموافق للمرور من النظام الانتقالي إلى النظام الدائم .

تجريبا : يحدد هذا الزمن بفاصلة نقطة التقاطع الخط المقارب مع مماس المنحنى عند $t = 0s$.

في التجربة السابقة : $\tau = 0.4s$.

الأستاذ : بطاهر
محمد *مغنية*



II تفسیر حركة السقوط الشاقولي في الهواء

1-2 - القوى المؤثرة على الجسم الصلب :

يخضع الجسم أثناء السقوط إلى ثلاثة قوى هي :

- **الثقل** : قوة جذب الأرض للجسم و هي قوة شاقولية متجهة نحو الأسفل و قيمتها : $P=mg$.
- **قوة الاحتكاك** : تتعلق هذه القوة بطبيعة المائع ، شكل الجسم و خشونة السطح و تزداد قيمة هذه القوى بتزايد السرعة . ننمذج هذه القوى بقوة واحدة شاقولية و معاكسة لجهة الحركة .

قيمتها من الشكل : $f = kv^n$.

الثابت k يتعلق بطبيعة المائع و شكل الجسم .

نأخذ بشكل عام :

- من أجل السرعات الضعيفة : $n=1$ أي $f = kv$

- من أجل السرعات الكبيرة : $n=2$ أي $f = kv^2$

○ **دافعة أرخميدس** :

كل جسم مغمور في مائع (غاز أو سائل) يخضع إلى قوة شاقولية متجهة نحو الأعلى و قيمتها تساوي ثقل

0



المائع المزاح $\pi = m_0 g = \rho \cdot v \cdot g$.

ρ : الكتلة الحجمية للمائع (kg/m^3) .

V : حجم المائع المزاح (حجم الجسم الصلب) (m^3)

g : تسارع الجاذبية (m.s^{-2})

2-2 - المعادلة التفاضلية لحركة السقوط الشاقولي :

- الجملة المدروسة : البالونات الممتلئة

- المرجع : المرجع الأرضي الذي نعتبره غاليليا .

- تمثيل القوى : الشكل المقابل

Z

-تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{\pi} + \vec{f} = m \vec{a}_G$$

بالاسقاط على المحور (OZ) :

$$P - \pi - f = ma_G$$

$$a_G = g - \frac{\rho V g}{m} - \frac{kv}{m}$$

ف نحصل على المعادلة التفاضلية المميزة للحركة :

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{\rho_{air} V g}{m} - \frac{kv}{m}$$

$$\frac{dv}{dt} = g \left(1 - \frac{\rho_{air} V}{m} \right) - \frac{kv}{m}$$

وتكون في هذه الحالة عبارة السرعة الحدية :

$$V_L = \frac{g}{k} (\rho - \rho_{air}) V$$

أما عندما تكون قوة الاحتكاك من الشكل : $f = kv^2$

$$V_L = \sqrt{\frac{g}{k} \cdot (\rho - \rho_{air}) V}$$

ملاحظة :

- حل المعادلة التفاضلية المميزة للحركة يتم بطريقتين أحدهما هي الطريقة التحليلية و الأخرى هي الطريقة التقريبية لأولر .

- تبين التجربة أن حركة السقوط في الهواء تبلغ مرحلة النظام الثابت بعد زمن قدره 5.5 .

III. حركة السقوط الحر :

1-3-تعريف :

نقول عن جسم أنه يسقط سقوطا حرا إذا خضع فقط الى ثقله أثناء السقوط . هذا الشرط محقق في الفراغ .
عمليا تجرى التجارب في الهواء أو بشكل عام في المائع ، يمكن الاقتراب من الحالة المثالية بإهمال كل من دافعة أرخميدس و مقاومة الهواء ، لهذا يجب أخذ أجسام كثيفة ($\rho_{fluide} > \rho_{solide}$) و انسيابية .

2-3-المعادلة التفاضلية للحركة :

الجملة المدروسة : الكرة ذات الكتلة m .

المرجع : المرجع الأرضي الذي نعتبره غاليليا .

تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

الأستاذ : بطاهر
محمّد *مغنية*

الأستاذ: بطاهر
محمّد *مغنية*

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$$

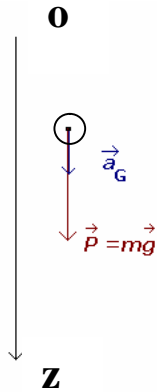
$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P}$$

$$m \vec{a}_G = m \vec{g}$$

$$\vec{a}_G = \vec{g}$$

شعاع التسارع مركز عطالة الجسم الصلب في السقوط الحر يساوي شعاع حقل الثقالة
قيمة التسارع مستقلة عن كتلة الجسم .

-المعادلة التفاضلية :



$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g}$$

بالاسقاط على المحور (OZ) :

$$\frac{dv}{dt} = g$$

-الحل التحليلي للمعادلة التفاضلية :

$$V = gt + b \quad \leftarrow \text{تكامل} \quad \frac{dv}{dt} = g \quad \circ$$

b تحدد بالشروط الابتدائية : $t=0, v_0=b$ (السرعة الابتدائية) :

$$V = gt + V_0$$

وهي تمثل المعادلة الزمنية للسرعة اللحظية بدلالة الزمن .

حركة السقوط الحر متسارعة بانتظام .

$$z = \frac{1}{2} gt^2 + V_0 t + z_0 \quad \leftarrow \text{تكامل} \quad V = \frac{dz}{dt} = gt + V_0 \quad \circ$$

تمثل المعادلة الزمنية للحركة : $z = \frac{1}{2} gt^2 + V_0 t + z_0$



مع z_0 : الفصل الابتدائية ($t=0$)

البيان $v=f(t)$ —————

البيان $z=f(t)$ —————

(من أجل $z_0=0$ و $v_0=0$)