Physique 11
Travail & énergies

Mis-à-jour !

N°14 p. 199 Utiliser les transfers d'énergie

1. Les électrons sont accélérés, leur vitesse augmente, ils gagnent donc de l'énergie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{augmente}$$

Dans le même temps, ils perdent de l'énergie potentielle électrique :

$$E_p = qV \quad \text{diminue}$$

Globalement, l'énergie mécanique est constante :

$$E_m = E_c + E_p \quad \text{est constante}$$

En effet, en l'absence de frottement, le travail des forces de frottement est nul : $W_{AB}\left(\vec{f}\right) = 0$

Or nous savons que la variation d'énergie mécanique est égale au travail des forces de frottement :

$$\Delta E_m = W_{AB}\left(\vec{f}\right)$$

Donc la variation de l'énergie mécanique est nulle, et par suite l'énergie mécanique est constante :

$$\Delta E_m = 0 \quad \Longrightarrow \quad E_m = \text{cte}$$
$$\Longleftrightarrow \quad E_m(A) = E_m(B)$$

2. $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta E_p = -\Delta E_c$

Or l'énergie cinétique augmente : $\Delta E_c > 0$

Donc l'énergie potentielle diminue : $\Delta E_p < 0$

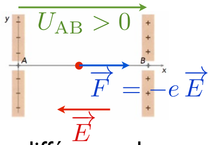
3. La charge de l'électron est négative : $q < 0$

En général on note e la charge élémentaire, valeur positive, donc : $q = -e = -1,602 \times 10^{-19}$ C

$E_p = qV$ est l'énergie potentielle de la charge q en un point particulier où le potentiel est V.

La variation d'énergie potentielle entre les points A et B est alors :

$$\begin{aligned}\Delta E_p &= E_p(B) - E_p(A)\\ &= qV(B) - qV(A)\\ &= q\left(V(B) - V(A)\right)\\ &= qU_{AB}\end{aligned}$$



où $U_{AB} = V(B) - V(A)$ est la « différence de potentiel » ou tension entre les deux plaques A et B. L'électron est attiré par la plaque B chargé ⊕ : accord.

Or $\Delta E_p < 0$ et $q < 0$ donc $U_{AB} > 0$. La tension entre les plaques doit être positive afin d'accélérer des électrons (le schéma est issu du n°23 p. 202, le vérifier).

N°21 p. 201 Le toboggan aquatique

1. $\mathcal{E}_{pp}(D) = mgh$

2. En D, l'enfant n'a pas de vitesse initiale, donc :

$$\mathcal{E}_c(D) = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E}_m(D) = \mathcal{E}_c(D) + \mathcal{E}_{pp}(D) = mgh$$

3. Le glissement le long du toboggan s'effectue sans frottement, la seule force qui travaille est le poids, force conservative, donc l'énergie mécanique se conserve : sa valeur en O est identique à celle en D.

$$\mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_m(D) = mgh$$

4. En O, l'énergie cinétique s'écrit :

$$\mathcal{E}_c(O) = \frac{1}{2}mv_0^2$$

En O, l'énergie potentielle est nulle, donc :

$$\mathcal{E}_{pp}(O) = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E}_m(O) = \mathcal{E}_c(O) + \mathcal{E}_{pp}(O) = \frac{1}{2}mv_0^2$$

Or $\mathcal{E}_m(O) = mgh$ donc $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$

$$\Leftrightarrow \quad v_0^2 = 2gh$$
$$\Rightarrow \quad v_0 = \sqrt{2gh}$$

Application numérique :

$$v_0 = \sqrt{2 \times 10 \times 5,0} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

5. Les frottements ne sont pas (aussi) négligeables qu'annoncés ; ils réduisent la vitesse d'éjection de l'enfant à la sortie du toboggan. Les frottements sont une force non conservative dont le travail est résistant ; l'énergie ne se conserve pas.

Le travail des forces de frottement se calcule à partir de la variation d'énergie mécanique :

$$\Delta\mathcal{E}_m = W_{DO}\left(\vec{f}\right)$$

Notons $v_1 = 6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ au lieu de v_0 la vitesse mesurée de l'enfant, afin de ré-utiliser facilement les bilans d'énergie de la première partie :

$$\begin{cases}\mathcal{E}_m(D) = mgh\\ \mathcal{E}_m(O) = \frac{1}{2}mv_1^2\end{cases} \quad \Rightarrow \quad \Delta\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_m(O) - \mathcal{E}_m(D)$$
$$\Rightarrow \quad \Delta\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}mv_1^2 - mgh$$
$$\Rightarrow \quad W_{DO}\left(\vec{f}\right) = \frac{1}{2}mv_1^2 - mgh$$

Application numérique :

$$\begin{aligned}\text{DO}\left(\vec{f}\right) &= \tfrac{1}{2} \times 35 \times 6,0^2 - 35 \times 10 \times 5\\ &= \tfrac{1}{2} \times 35 \times 36 - 35 \times 50\\ &= 35 \times \left(\tfrac{36}{2} - 50\right)\\ &= 35 \times (18 - 50)\\ &= -35 \times 32\\ &= -1,1 \times 10^3 \text{ J}\end{aligned}$$

Travail résistant (<0)

N°23 p. 202 Accélération d'une particule α.

1. Une particule α est un noyau d'hélium 4, entièrement épluché de ses 2 électrons :

$${}^4_2\text{He} \quad \text{ou} \quad \text{He}^{2+}$$

Composé de 2 protons et de 2 neutrons, sa charge est :

$$q_\alpha = 2e = 2 \times 1,60 \times 10^{-19} = 3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$$

où e est la charge élémentaire (valeur positive).

2. Le travail d'une force constante est donné par :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

Expression de la force électrique : $\vec{F} = q_\alpha \vec{E}$

$$\Rightarrow \quad W_{AB}(\vec{F}) = q_\alpha \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB}$$
$$\Rightarrow \quad W_{AB}(\vec{F}) = q_\alpha \times E \times AB \times \cos\theta \quad \text{ou} \quad \theta = 0^o$$
$$\Rightarrow \quad W_{AB}(\vec{F}) = q_\alpha \times E \times AB$$

Par définition du champ électrostatique, entre deux plaques soumises à la tension U_{AB}, distantes de AB :

$$E = \frac{U_{AB}}{AB}$$

$$\Rightarrow \quad W_{AB}(\vec{F}) = q_\alpha \times \frac{U_{AB}}{AB} \times AB = q_\alpha \times U_{AB}$$

ce que l'on peut encore écrire, en fonction des potentiels des plaques A et B : $U_{AB} = V(B) - V(A)$

$$\Rightarrow \quad W_{AB}(\vec{F}) = q_\alpha \times (V_B - V_A)$$

3. La force électrique est une force conservative, elle dérive d'une énergie potentielle ; autrement dit, la particule perd de l'énergie potentielle (variation d'énergie potentielle négative), en subissant un travail moteur (positif), ce que l'on écrit : $\Delta E_p = -W_{AB}(\vec{F})$

$$\Rightarrow \quad \Delta E_p = -q_\alpha \times (V_B - V_A)$$

ou encore, en fonction de la tension :

$$\Rightarrow \quad \Delta E_p = -q_\alpha \times U_{AB}$$

4. La seule force que l'on considère ici est la force électrique, qui est conservative. Donc l'énergie mécanique se conserve.

5. Conservation de l'énergie mécanique :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0$$

Or $\Delta E_m = \Delta E_p + \Delta E_c$ donc $\Delta E_p + \Delta E_c = 0$

Résultat question 3 :

$$\Delta E_p = -W_{AB}(\vec{F}) = -q_\alpha \times (V_A - V_B)$$

Variation d'énergie cinétique :

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(B) = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 - q_\alpha \times (V_A - V_B) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad V_A - V_B = \frac{\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2}{q_\alpha}$$

La vitesse initiale est nulle :

$$\Rightarrow \quad V_A - V_B = \frac{mv_B^2}{2q_\alpha}$$

Application numérique :

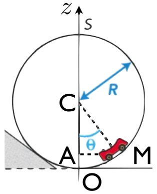
$$V_A - V_B = \frac{6,70 \times 10^{-27} \times \left(1,00 \times 10^3 \times 10^3\right)^2}{2 \times 3,20 \times 10^{-19}}$$

$$V_A - V_B = 1,05 \times 10^4 \text{ V}$$

N°29 p. 205 Le grand huit

1. Dans le triangle (AMC) rectangle en A :

$$\cos\theta = \frac{\text{AC}}{\text{CM}} = \frac{\text{AC}}{R}$$



$$\Rightarrow \quad \text{AC} = R\cos\theta$$

L'altitude z du wagon est la distance OA :

$$z = \text{OA} = \text{OC} - \text{AC} = R - R\cos\theta$$

$$\Rightarrow \quad z = R(1-\cos\theta)$$

2. Système : {wagon} assimilé au point matériel M ;

Référentiel : terrestre supposé galiléen ;

Bilan des forces : le poids $\vec{P}$ du wagon, force conservative, la réaction de la piste $\vec{N}$ perpendiculaire au déplacement donc qui ne travaille pas ; les frottements sont négligés.

Bilan d'énergie : le système étant uniquement soumis à des forces conservatives, l'énergie mécanique se conserve.

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgz = \text{cte}$$

où on a fait le choix d'une origine des énergies potentielles pour $z = 0$ m : $E_p(0) = 0$ J (le choix le plus simple, mais il est de rigueur de le préciser).

Puisque l'énergie mécanique est constante, on calcule sa valeur en un point particulier, par exemple le point de départ sans vitesse initiale $v_0 = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de hauteur H :

$$E_m = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgH = mgH$$

Identification : $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgz = mgH$

On isole la norme de la vitesse :

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgH - mgz$$

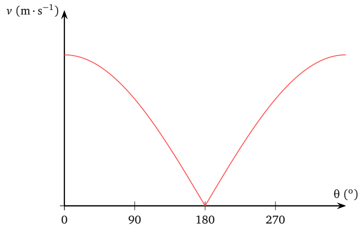
$$\Rightarrow \quad v^2 = 2g(H-z)$$

$$\Rightarrow \quad v = \sqrt{2g(H-z)}$$

On remplace la cote z par son expression, trouvée à la question **1** :

$$v = \sqrt{2g\left(H - R(1-\cos\theta)\right)}$$

Avec un looping de rayon $R = \frac{38}{2} = 19$ m, il faut abandonner le wagon d'une hauteur $H = 38$ m pour que la vitesse soit tout juste suffisante pour passer le looping :



3. Au sommet S de la boucle, $\theta = 180°$ et donc :

$$v_S = \sqrt{2g\left(H - R(1+1)\right)} = \sqrt{2g\left(H - 2R\right)}$$

4. Exprimons la hauteur H en fonction de la vitesse en S :

$$v_S = \sqrt{2g\left(H - 2R\right)}$$

$$\Leftrightarrow \quad 2g\left(H-2R\right) = v_S^2$$

$$\Leftrightarrow \quad H - 2R = \frac{v_S^2}{2g}$$

$$\Leftrightarrow \quad \boxed{H = \frac{v_S^2}{2g} + 2R}$$

Application numérique :

$$H = \frac{13,8^2}{2 \times 9,81} + 2 \times 19 = \boxed{48 \text{ m}}$$

Complément : on peut calculer la vitesse minimale de passage au sommet S. Pour éviter une chute du wagon, il faut que l'accélération centrifuge a due à son mouvement circulaire compense l'accélération de la pesanteur g. Formule du cours pour l'acc. normale :

$$a = \frac{v_S^2}{R} = g$$

$$\Rightarrow \quad v_S = \sqrt{Rg}$$

Application numérique :

$$v_S = \sqrt{19 \times 9,81} = 13,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

La valeur proposée dans l'énoncé est légèrement supérieure (une petite marge de sécurité !). L'essentiel est de ne pas conserver le critère d'une vitesse nulle, qui est insuffisant pour la survie des passagers (chute !)