

correction de l'épreuve de physique INA 20010 B (durée = 2heures)

QUELQUES PROBLEMES PHYSIQUES LIES A L'EAU

I) MESURE DE LA PLUIE SUR TERRE

1) Mesure du taux de pluie

$$\tau = \frac{V_2 - V_1}{St} = \frac{m_2 - m_1}{\mu St}$$

AN $\tau = 20 \text{ mm.j}^{-1} = 0,83 \text{ mm.h}^{-1}$

2) Mesure de la vitesse des gouttes de pluie

a)
$$E_{ph} - 0 = - \int_{z=h}^{z=0} mg \cdot dl = mgh = \frac{4}{3} \pi R^3 \mu gh \quad (\text{I.2.a})$$

$E_{p0} = 0$ (choix de l'origine des énergies potentielles)

$$E_c = \frac{1}{2} m v_{sol}^2 = \frac{2}{3} \pi R^3 \mu v_{sol}^2$$

b) conservation de l'énergie mécanique (ou théorème de l'énergie cinétique) :

$$E_{c0} + E_{p0} = \frac{1}{2} m v_{sol}^2 + 0 = E_{ch} + E_{ph} = mgh \quad (\text{I.2.b})$$

donc : $v_{sol} = \sqrt{2gh}$

AN: $v_{sol} = 313,2 \text{ m.s}^{-1}$

c) si l'on tient compte, en plus du poids, de la poussée d'Archimède, cela revient à remplacer, dans (I.2.a), μ par $\mu - \mu_{air}$; donc :

$$E'_{ph} = \frac{4}{3} \pi R^3 (\mu - \mu_{air}) gh$$

alors, (I.2.b) est modifiée en : $\frac{1}{2} m v_{sol}'^2 + 0 = E_{ch} + E'_{ph} = \frac{4}{3} \pi R^3 (\mu - \mu_{air}) gh$

donc : $\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \mu v_{sol}'^2 + 0 = E_{ch} + E'_{ph} = \frac{4}{3} \pi R^3 (\mu - \mu_{air}) gh$

$$v'_{sol} = \sqrt{2 \left(1 - \frac{\mu_{air}}{\mu} \right) gh}$$

d'où :

AN: $v'_{sol} = 313,0 \text{ m.s}^{-1}$: l'écart avec v_{sol} est très faible car $\mu_{air} \ll \mu$

d) lorsque la goutte a atteint une vitesse limite, son accélération est nulle, donc la somme des forces qui s'exercent sur elle est nulle :

$$\frac{4}{3} \pi R^3 (\mu - \mu_{air}) g = 6 \pi \eta R v_{lim}$$

$$v_{lim} = \frac{2 R^2 (\mu - \mu_{air}) g}{9 \eta}$$

donc : (I.2.d)

$$R = \sqrt{\frac{9 \eta}{2 g} \frac{v_{lim}}{\mu - \mu_{air}}}$$

e) de (I.2.d), on déduit :

AN: $R = 9,0.10^{-2} \text{ mm}$

3) Mesure de la charge portée par une goutte de pluie

a) on peut utiliser un condensateur plan

le champ électrique étant uniforme et vertical (descendant), le potentiel est une fonction affine (décroissante) de l'altitude z : $V(z) = \alpha z + \beta$

$$V(z = h_b) = V_b = \alpha h + \beta$$

où : $V(z = 0) = V_a = \beta$

$$\beta = \frac{V_b - V_a}{h}$$

d'où :

$$V(z) = V_b + (V_a - V_b) \frac{z}{h}$$

et :

b) énergie W qu'il a fallu fournir pour créer le champ électrique :

première expression : énergie d'un condensateur :

$$W = \frac{1}{2} C (V_a - V_b)^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 S}{h} (V_a - V_b)^2$$

deuxième expression : "délocalisation" de l'énergie :

$$W = \iiint \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 d\tau = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left(\frac{V_a - V_b}{h} \right)^2 Sh = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 S}{h} (V_a - V_b)^2$$

c) si la goutte est chargée négativement, la force due au champ électrique descendant est dirigée vers le haut et va donc ralentir sa chute (voire la faire remonter...)

- d) la nouvelle vitesse limite v_2 atteinte correspond encore à un état où la somme des forces s'exerçant sur la goutte est nulle :

$$\frac{4}{3}\pi R^3(\mu - \mu_{air})g + q\|E_0\| = 6\pi\eta R v_2 \quad \text{où :} \quad \|E_0\| = \frac{V_a - V_b}{h}$$

donc :

$$v_2 = \frac{2R^2(\mu - \mu_{air})g}{9\eta} + \frac{q(V_a - V_b)}{6\pi\eta R h} \quad (I.3.d)$$

- e) si on connaît V_a , V_b , h et R , alors (I.3.d) montre qu'on peut accéder à q

- 4) Lorsque la goutte arrive sur le sol, son énergie cinétique permet le rebond partiel de celle-ci et/ou sa pénétration dans le sol et/ou est transformée partiellement en énergie thermique

II) MESURES RADIOMETRIQUES

- 1) le maximum de rayonnement du soleil correspond grossièrement au centre du spectre visible (jaune), c'est-à-dire environ à $\lambda_{ms} = 0,6 \mu m$

- 2) d'après la loi du déplacement de Wien :
- $$T_s \approx \frac{3000}{\lambda_{ms}} = 5000K$$

- 3) à la distance d du soleil, la puissance P_s émise par le soleil est répartie sur une sphère d'aire $4\pi d^2$, dont la terre occupe la surface πR_T^2 ; la puissance P_T reçue par la terre est donc :

$$P_T = \frac{\pi R_T^2}{4\pi d^2} P_s = \left(\frac{R_T}{d}\right)^2 \cdot \frac{P_s}{4}$$

AN: $P_T = 1,82 \cdot 10^{17} W$

- 4) la puissance surfacique moyenne reçue par la terre est :
- $$\phi = \frac{P_T}{\pi R_T^2}$$
- AN: $\phi = 1,79 \cdot 10^3 W.m^{-2}$: on constate que ϕ est bien du même ordre de grandeur que la valeur expérimentale p

- 5)

a)	d'après la loi du déplacement de Wien :	$\lambda_{mN} \approx \frac{3000}{T_N} = 13\mu m$
b)	cette longueur d'onde correspond à un rayonnement situé dans l'infrarouge	

c)

- l'océan, par beau temps, paraît assez sombre : il absorbe fortement le rayonnement solaire
- vu du haut (en avion, par exemple), un nuage paraît presque blanc : il réfléchit fortement le rayonnement solaire
- un corps noir est un absorbeur intégral (aucun rayonnement n'est réfléchi) : l'océan se rapproche davantage du corps noir que le nuage
- l'albedo dépend fortement de la structure microscopique du corps en question, qui commande les phénomènes de réflexion/diffusion, donc de la longueur d'onde (cf diffusion Rayleigh)

6) une mesure vers $0,6 \mu\text{m}$ donnera accès à la réflectance du nuage (réflexion sans changement de fréquence ou longueur d'onde) ; une mesure vers $13 \mu\text{m}$ donnera accès, grâce à la loi du déplacement de Wien, à la température du nuage

7) le modèle précédent du nuage ne prend pas en compte les phénomènes suivants :

- transmission du rayonnement émis par la terre à travers le nuage
- émission de rayonnement par les couches inférieures du nuage
- caractère en réalité non permanent du modèle