TRAVAUX DIRIGÉS DE PHYSIQUE

Vendredi 23/04/2009

Exercice N°1

On considère la terre comme un centre de forces fixe de position O, de masse m'. On donne le rayon de la terre, ainsi que l'intensité du champ de pesanteur à sa surface : $R_T = 6400\,km\,;\, g = 9.81\,m.s^{-1}$.

1. Un satellite décrit une orbite circulaire de rayon r_0
   1. En appliquant le PFD au satellite, en projection radiale, dans le référentiel géocentrique R supposé galiléen, retrouver la troisième loi de Képler.
   2. Déterminer la vitesse orbitale du satellite, ainsi que sa pulsation de rotation ω
2. On suppose que le satellite a une extension radiale non-négligeable, les parties les plus proches de la terre de ce satellite correspondent au rayon r_1 tandis que les plus lointaines correspondent au rayon r_2 . De façon générale, on pose $r = r_0 + z$.
   1. Dans le référentiel tournant R', non-galiléen, dans lequel le satellite est fixe, exprimer la force centrifuge en fonction de r puis z .
   2. Montrer que la résultante des forces (somme des forces d'inertie et de pesanteur) dans R', pour un objet fixe dans R' situé à la position r , n'est nulle que si $r = r_0$. L'exprimer en fonction de z lorsque $z \ll r_0$.
3. On nomme une telle force résiduelle « force de marée », expliquer pourquoi.
4. Expliquer pourquoi dans un champ de pesanteur intense, les forces de marée peuvent détériorer un satellite trop étendu.

Exercice N°2

En première approximation, la terre décrit une trajectoire circulaire de rayon $r_0 = 148\,10^6\,km$ autour du soleil de masse $m' = 2\,10^{30}\,kg$

1. On note R_1 le référentiel d'origine le centre O_1 du soleil et d'axes pointant vers des étoiles lointaines supposées fixes (« référentiel héliocentrique »). R_2 est un référentiel de centre le centre O_2 de la terre, d'axes de même direction que R_1 (« référentiel géocentrique »).
   1. Quelle est la nature du mouvement relatif de R_2 par rapport à R_1 ?
   2. Déterminer l'intensité v de la vitesse d'entraînement de R_2 relativement à R_1.
2. On suppose que la lumière est composée de photons de célérité c dans R_1 , et qui peuvent être décrits selon la mécanique classique en ce qui concerne les changements de référentiels.

On observe dans R_2 une étoile fixe dans R_1 (de direction apparente dans R_1 perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre)

1. Exprimer le vecteur vitesse des photons dans R_1 puis dans R_2, on fera intervenir le vecteur **v** (vitesse de R_2 relativement à R_1).
2. Les vecteurs vitesse des photons ont-ils les mêmes directions dans R_1 et R_2 ?
3. Montrer qu'au cours de l'année, vue dans R2, la lumière issue de l'étoile prend des directions variables et que l'ensemble des directions possibles décrit un cône dont on précisera la direction de l'axe et l'angle au sommet (A.N.)
4. Quel est l'ordre de grandeur de la distance à laquelle une étoile doit être située relativement au soleil pour que l'effet qui vient d'être étudié dépasse les erreurs de parallaxe ? On donnera le résultat en km et années-lumière.

Exercice N°3

On se place à la latitude λ sur la terre, assimilée à une boule de rayon $R_T = 6400\,km$ en rotation de pulsation Ω relativement à un référentiel galiléen R. Le référentiel terrestre R' choisi a son origine O à la surface du sol, Oz est la verticale ascendante, Ox pointe vers l'est et Oy vers le nord. On suppose que le champ de pesanteur terrestre **g** (force massique s'exerçant sur des objets fixes dans R') est vertical descendant, uniforme, avec $|\boldsymbol{g}| = g = 9.81\,m.s^{-2}$

1. À la date t=0, une bille assimilée à un point matériel M de masse m est immobile dans R' et situé en O. On le lâche dans un puits vertical de profondeur h. On note A le point à l'aplomb de O au fond du puits.
   1. En négligeant toute force d'inertie et de frottement, évaluer la durée τ de la chute de M.

      A.N. Avec h=100m.
   2. Pendant cette durée, quelle est la distance parcourue par O dans R ? Quelle est la distance parcourue par le fond du puits A dans R ? Évaluer numériquement la différence à la latitude de 45 °.
   3. M touche-t-il le fond du puits exactement en A ? Sinon, dans quelle direction et sens est-il dévié ?
2. Retrouver le résultat précédent en appliquant le PFD à M dans R', on ne prendra en compte que la force de Coriolis, et supposera que le mouvement selon Oz se déroule comme en l'absence de forces d'inertie.

Exercice N°4

R = (Oxyz) est galiléen, R' = (Ox'y'z) est en rotation autour de R avec la pulsation de rotation Ω constante. Un point matériel est soumis à une force de rappel $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{OM}$, on étudie son mouvement dans R'.

1. Quelle est l'expression de la force de Coriolis s'exerçant sur M ? Dépend-elle de z ou de ses dérivées temporelles ?
2. Quelle est l'expression de la force d'inertie d'entraînement s'exerçant sur M ? Dépend-elle de z ou de ses dérivées temporelles ?
3. En appliquant le PFD, donner le système d'équations différentielles régissant x'(t), y'(t), z(t).
4. Montrer que le mouvement selon Oz est « découplé des deux autres degrés de liberté ». On précisera la signification de ce terme.
5. On suppose dorénavant que le mouvement s'effectue dans le plan Ox'y'. On posera $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$ et on supposera que $0<\Omega\ll\omega_0$.
   1. Montrer que l'introduction de la variable $\xi=x'+i\,y'$ permet de se ramener à une unique équation différentielle. Montrer que $\xi=\xi_0 e^{i\omega t}$ en est une solution possible.
   2. Montrer que ω admet deux valeurs possibles, voisines.
   3. En t= 0, on suppose que : $\begin{vmatrix} x=x_0 & \frac{dx}{dt}=0 \\ y=0 & \frac{dy}{dt}=0 \end{vmatrix}$. Déterminer $\xi(t)$ puis $x(t)\,;y(t)$.

      Montrer que le mouvement est une oscillation quasi-rectiligne, mais dont la direction tourne « lentement » avec le temps.