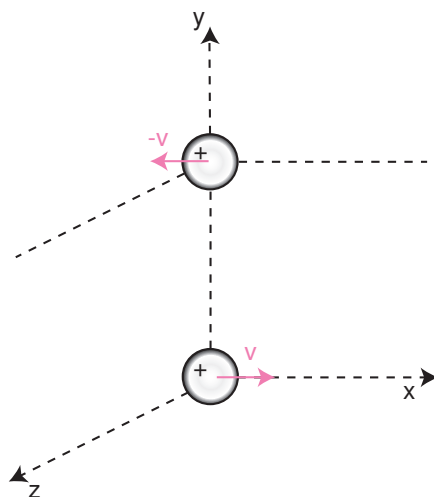


L2 - Corrigé de l'exercice 2 du TD N°4

Vendredi 2 mars 2007

Exercice 2 : Deux protons en mouvement

Deux protons sont situés à une distance r l'un de l'autre à l'instant $t = 0$. Leurs vitesses sont portées par des droites parallèles, non sécantes, orthogonales à la droite qui relie les 2 particules, et de sens opposés (voir dessin).



On considère le moment $t = 0$: prenons par exemple les forces qui s'exerce sur le proton du haut, engendrées par le proton du dessous.

Force électrique Le champ électrique engendré par le proton du dessous, au point occupé par le proton du haut, s'écrit $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_y$, où r est la distance entre les 2 particules. Il est porté par \vec{e}_y et dirigé vers les y croissants.

La force qui s'exerce sur la particule du haut est donc $\vec{F}_E = q\vec{E} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_y$, à reporter sur le dessin (très semblable à la gravitation mais en repulsion). Elle ne dépend que de la position relative des particules, et de leurs charges.

Force magnétique Le champ magnétique engendré par le déplacement du proton du dessous, au point occupé par le proton du haut, s'écrit $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{\vec{v} \wedge \vec{r}}{r^3}$ (formule générale), où r est la distance entre les 2 particules, \vec{r} le vecteur de direction \vec{e}_y et de norme r , \vec{v} la vitesse de la particule du bas (dirigée vers \vec{e}_x).

Donc dans notre configuration particulière (pour \vec{r} et pour \vec{v}) on peut écrire que : $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{v}{r^2} \vec{e}_z$.

La force qui s'exerce sur la particule du haut est donc $\vec{F}_B = q(-\vec{v} \wedge \vec{B})$ avec $-\vec{v}$ la vitesse de particule du haut, c'est-à-dire que sa vitesse est $-v\vec{e}_x$. Ainsi, vu que les 2 particules ont même charge et même vitesse en norme, on a : $\vec{F}_B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q^2 v^2}{r^2} \vec{e}_y$. Comme la force électrique, elle est portée par \vec{e}_y et dirigée vers les y croissants. Elle dépend de la position relative des particules (distance entre les 2), de leurs charges, et de leurs vitesses à chacune.

Bilan des 2 forces Ces deux forces vont s'exercer dans la même direction et même sens, orthogonalement à la vitesse. Elles vont donc faire s'éloigner les particules l'une de l'autre (force répulsive), tout en les faisant tourner, celle du haut vers les "+y" et les "-x" et celle du bas, par symétrie, vers les "-y" et les "+x" (à vous de faire un dessin). A $t > 0$ on perdra alors les propriétés du problème qui simplifiaient les calculs, on aura un mouvement dans le plan xy mais assez complexe (écrire les équations avec \vec{r} et \vec{v} quelconques pour s'en convaincre).

Pour comparer leurs amplitudes, on regarde $F_B/F_E = \mu_0 \varepsilon_0 v^2 = v^2/c^2$, donc si les vitesses sont très petites devant la vitesse de la lumière, on devra négliger la force magnétique devant la force électrique.

Question : est-ce que dans la pratique les vitesses de ce genre de particules est petite ou comparable à c ? Prenons une valeur de champ électrique raisonnable (champ électrique de la Terre) d'environ 100 N/C, l'accélération d'un électron est donc $a = qE/m = 10^{10}$ m/s² (énorme devant $g = 10$ m/s²!!!) Ainsi on peut rapidement avoir des vitesses considérables, par rapport à $c = 3.10^8$ m/s, donc en général, on ne néglige pas spécialement les forces magnétiques devant les forces électriques.

Exercices 2 et 3 du TD 2 : Champ dipolaire et flux à travers une surface

à finir ...

NB : Pas de TD vendredi prochain 9 mars!