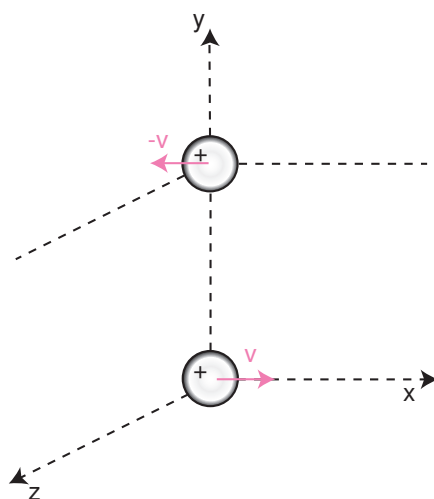


## L2 - Corrigé de l'exercice 2 du TD N°4

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/s<sup>2</sup> (énorme devant  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>!!!) 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 : Flux à travers une surface

à finir ...

NB : Pas de TD vendredi prochain 9 mars!