

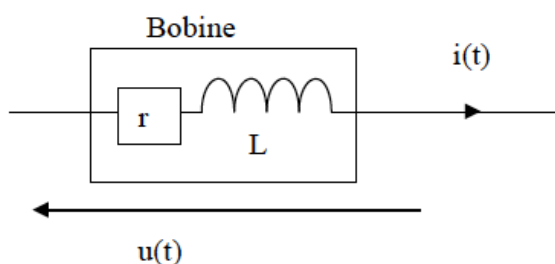
Electrocinétique et physique « moderne »

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

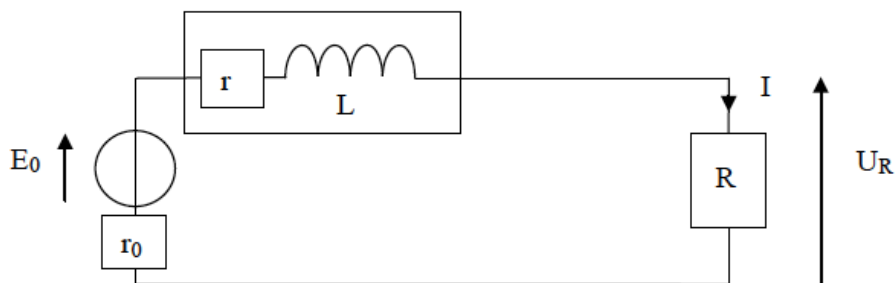
« La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs. »

Problème 1: Electrocinétique (extrait « Petites Mines », concours commun 2009)**A Electricité**

On dispose d'une bobine B que l'on assimilera à l'association série d'une inductance L et d'une résistance r . (L et r sont des constantes positives, indépendantes de la fréquence)

**Figure 1****Détermination de r**

- 1) La bobine est parcourue par un courant $i(t)$. Exprimer la tension $u(t)$ à ses bornes en fonction de r , L , $i(t)$ et de sa dérivée par rapport au temps.
- 2) On réalise le circuit suivant, en plaçant, en série avec la bobine, un résistor de résistance $R = 40 \, \Omega$. L'alimentation est un générateur de tension continue, constante, de force électromotrice $E_0 = 1,0 \, \text{V}$ et de résistance interne $r_0 = 2,0 \, \Omega$.

**Figure 2**

On mesure, en régime permanent, la tension U_R aux bornes de R .
Exprimer r en fonction des données de cette question. Calculer r avec $U_R = 0,56 \, \text{V}$.

Détermination de r et L à partir d'un oscillogramme.

On place, en série avec la bobine, un résistor de résistance $R = 40\ \Omega$ et un condensateur de capacité $C = 10\ \mu\text{F}$.

Le GBF (générateur basses fréquences) est réglé pour délivrer une tension sinusoïdale de fréquence $f = 250\ \text{Hz}$ (la pulsation sera notée ω) et de valeur crête à crête de $10\ \text{V}$.

Deux tensions sont visualisées sur un oscilloscope numérique.

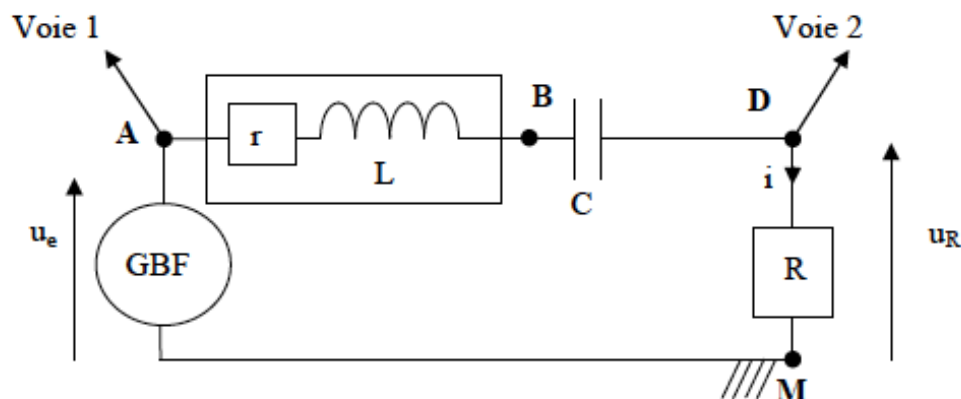


Figure 3

On obtient un oscillogramme équivalent au graphe suivant

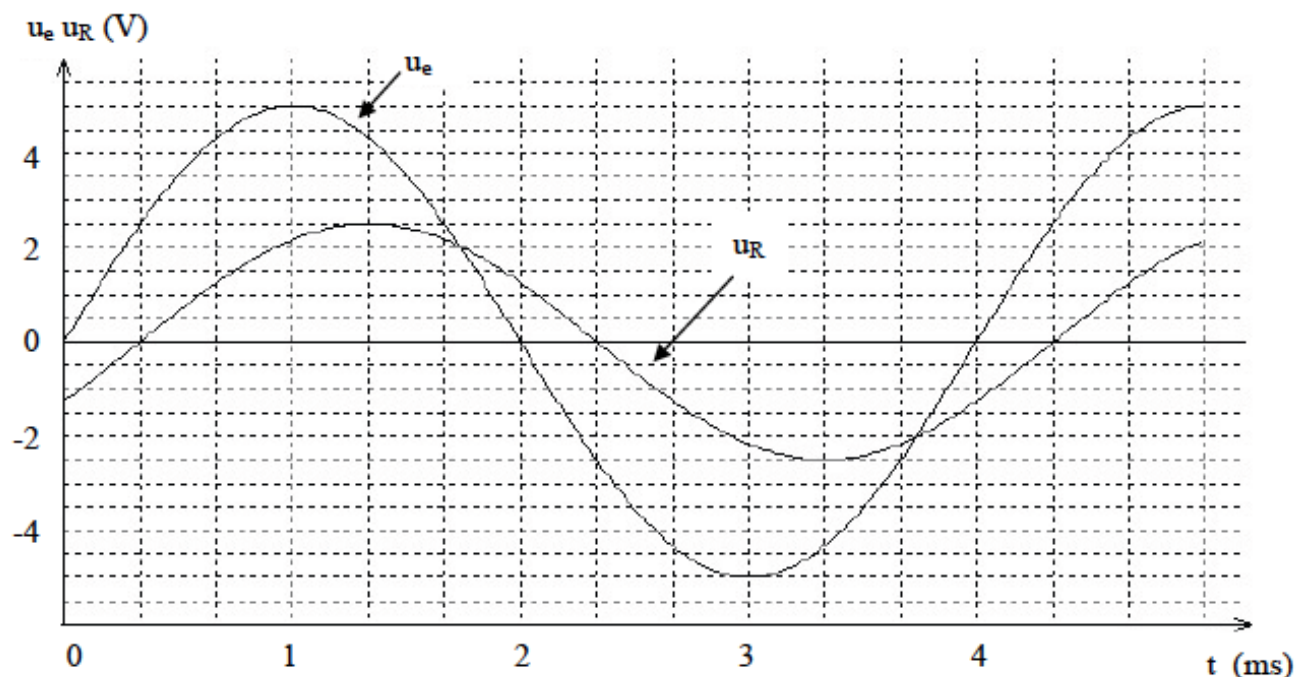


Figure 4

- 3) Déterminer l'amplitude U_e de la tension u_e et l'amplitude U_R de la tension u_R .
- 4) Déterminer l'amplitude I du courant i .
- 5) Rappeler l'expression générale de l'impédance Z d'un dipôle quelconque (module de l'impédance complexe). Calculer alors l'impédance Z_{AM} du dipôle AM.
- 6) Des deux tensions, $u_R(t)$ et $u_e(t)$, laquelle, et pourquoi d'après l'oscillogramme, est en avance sur l'autre ?

- 7) Déterminer précisément, à partir de l'oscillogramme, le déphasage $\varphi_{u_e/i}$ entre u_e et i , (c'est-à-dire entre u_e et u_R).
- 8) Ecrire l'expression générale de l'impédance complexe $\underline{Z}_{AM}$ en fonction de r , R , L , C , ω .
- 9) Ecrire l'expression de l'impédance complexe $\underline{Z}_{AM}$ en fonction de son module Z_{AM} et du déphasage $\varphi_{u_e/i}$.
- 10) Exprimer r en fonction de R , Z_{AM} et $\varphi_{u_e/i}$. Calculer sa valeur.
- 11) Exprimer L en fonction de C , ω , Z_{AM} et $\varphi_{u_e/i}$. Calculer sa valeur.

Etude de la fonction de transfert.

- 12) Rappeler la définition de la fonction de transfert $\underline{H}$ du filtre ainsi formé avec u_e pour tension d'entrée et u_R pour tension de sortie.
- 13) Proposer un schéma équivalent en basses puis en hautes fréquences et en déduire la nature probable du filtre.
- 14) Exprimer $\underline{H}$ en fonction de r , R , L , C , ω .
- 15) Mettre $\underline{H}$ sous la forme : $\underline{H} = \frac{H_{\max}}{1 + j \cdot Q \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$. On exprimera littéralement $H_{\max}$, le paramètre ω_0 ainsi que le facteur de qualité Q de ce circuit en fonction de r , R , L , C .
- 16) La figure 5 représente (en partie) le diagramme de Bode du filtre précédent. Rappeler la définition du diagramme de Bode.
- 17) Déterminer, à partir du graphe et des données initiales, les valeurs de r et L .

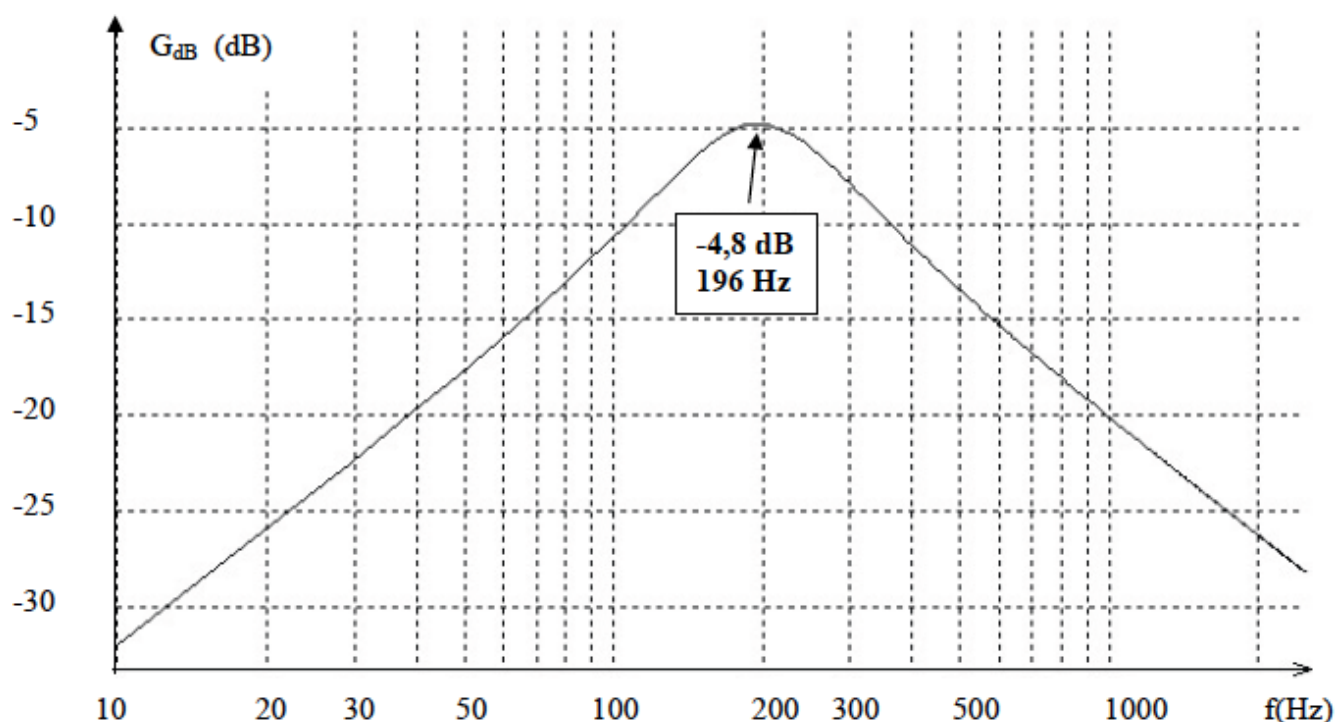


Figure 5

Problème 2 : Energie et vitesse d'une particule (extrait CAPES, concours externe, 2011)

Pour percer les secrets de la matière à l'échelle subatomique, les physiciens construisent depuis plus de cinquante ans, des collisionneurs de particules de plus en plus puissants. Le dernier né de cette famille est le Grand Collisionneur de Hadrons : le LHC pour « Large Hadron Collider », construit par le laboratoire européen de physique des particules, le CERN, situé près de Genève.

Deux faisceaux de protons parcourent, en sens inverse et dans des tubes différents, un tunnel circulaire de 26,6 km de circonférence et se percutent violemment en des points de croisements où sont placés de gigantesques détecteurs. L'énergie libérée lors de la collision se matérialise en particules, dont l'analyse (comptage, identification, mesure de l'énergie, de l'impulsion...) permettra de tester les théories actuelles sur le monde des particules élémentaires. En particulier, les physiciens de LHC cherchent à mettre en évidence une particule dont l'existence est prédite depuis plus de trente ans : le boson de Higgs.

La réalisation de ce projet gigantesque a demandé des prouesses technologiques importantes :

- ✗ des bobines supraconductrices créent un champ magnétique très important pour courber la trajectoire des protons,
- ✗ un vide très poussé dans les tubes évite aux protons des chocs parasites,
- ✗ des cavités accélératrices supraconductrices poussent les protons jusqu'à une énergie de 7 TeV,
- ✗ l'analyse des données a nécessité un développement important dans le domaine de l'électronique de traitement.

Ce problème comporte trois parties totalement indépendantes. Une première partie aborde différents points fondamentaux de l'accélérateur. La seconde partie est consacrée à l'étude de la cryogénie au LHC. Enfin, la troisième partie étudie les cavités accélératrices.

Données numériques

Masse du proton	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Charge électrique élémentaire	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}$
Permittivité diélectrique du vide	$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ kg}^{-1}.\text{m}^{-3}.\text{A}^2.\text{s}^4$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Unités

Energie	$1,00 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
	$1,00 \text{ MeV} = 1,00 \cdot 10^6 \text{ eV}$
	$1,00 \text{ GeV} = 1,00 \cdot 10^9 \text{ eV}$
	$1,00 \text{ TeV} = 1,00 \cdot 10^{12} \text{ eV}$

Dans tout le problème, « exprimer » signifie donner l'expression littérale et « calculer » signifie donner la valeur numérique.

Les résultats numériques seront donnés avec 3 chiffres significatifs.

On note v la vitesse d'un proton ; on définit les coefficients sans dimension β et γ :

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Dans toute cette partie, aucune connaissance en relativité restreinte n'est exigible.

Les accélérateurs sont construits dans le but d'étudier des phénomènes, souvent rares, dont la probabilité varie avec l'énergie de collision. C'est pourquoi les paramètres les plus importants sont l'énergie du faisceau et le nombre de collisions.

On note E l'énergie relativiste d'un proton, v sa vitesse et m_p sa masse.

Sur la figure I.1, on a représenté, en trait plein $\frac{E}{m_p c^2}$ en fonction du rapport $\frac{v}{c}$.

On note E_0 , l'énergie d'un proton au repos, également appelée énergie de masse.

Soit $E_{\text{class}} = E_0 + \frac{1}{2}m_p v^2$ que l'on nommera l'énergie classique de la particule. Sur le même graphe, est représentée en pointillés, $\frac{E_{\text{class}}}{m_p c^2}$.

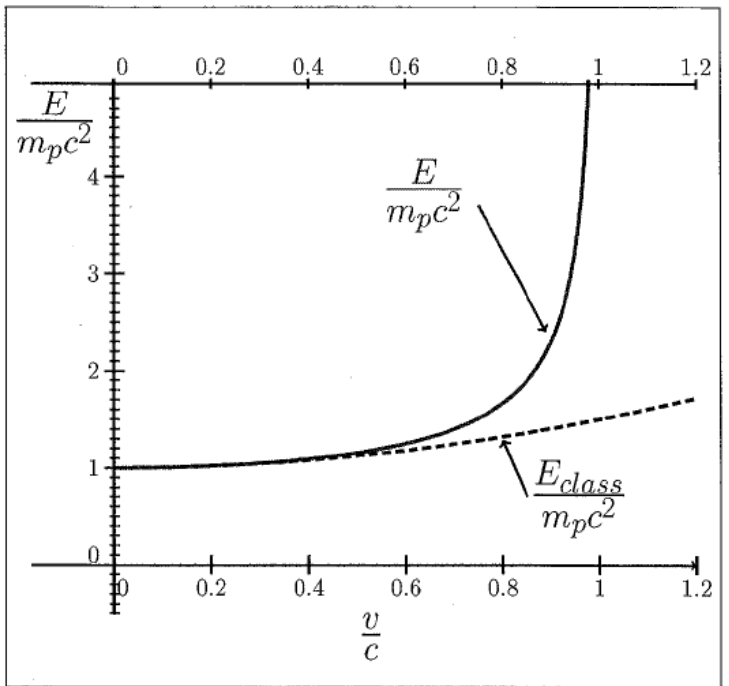


FIG. I.1 - $\frac{E}{m_p c^2}$ (trait plein) et $\frac{E_{\text{class}}}{m_p c^2}$ (pointillés) en fonction du rapport $\frac{v}{c}$.

◦ 4 ◦ Particule au repos

4 - a) A l'aide du graphe de la figure I.1, donner l'expression de E_0 en fonction de m_p et c^2 . Quel est le nom de cette relation ? De quand date-t-elle ?

4 - b) Calculer en eV, l'énergie de masse d'un proton.

4 - c) Justifier alors que la masse du proton $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg puisse également s'écrire $m_p = 939 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$.

◦ 5 ◦ En vous aidant du graphe de la figure I.1, justifier pourquoi il est impossible d'accélérer le proton jusqu'à la vitesse de la lumière.

◦ 6 ◦ Donner l'intervalle de vitesse dans lequel le rapport $\frac{E - E_{\text{class}}}{E}$ est approximativement inférieur à 10 %. Dans cet intervalle, on réalise l'approximation classique.

◦ 7 ◦ L'expression relativiste de l'énergie d'une particule est :

$$E = \gamma m_p c^2 \quad \text{avec } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

7 - a) Montrer que lorsque $v \ll c$ alors $E \simeq E_{\text{class}}$.

7 - b) Calculer en MeV les énergies du proton :

✗ $E_{\text{injection}}$, à l'injection dans le LHC, pour $v_{\text{injection}} = 0,999997828c$

✗ et E_{max} pour la vitesse maximale $v_{\text{max}} = 0,999999991c$.

7 - c) Expliquer alors pourquoi, en physique des particules, on se réfère généralement à l'énergie de la particule et non à sa vitesse.

Exercice 3 : Particule de poussière

Soit une particule de poussière de 10^{-7} kg enfermée dans une boîte de 1 cm. (a) Quelle est la vitesse minimale possible ? (b) Quel est le nombre quantique n si la vitesse de la particule a pour module 10^{-3} mm/s ? (On suppose que la situation est en une dimension.)

c) Conclure sur les résultats précédents donnés par la physique quantique pour un objet macroscopique.

Donnée : constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s