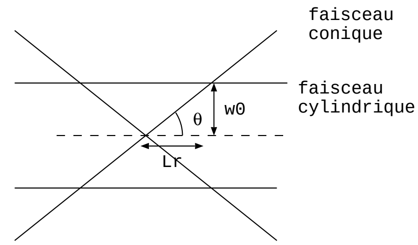
Correction

I. Cours: laser



1. D'après le modèle ci-contre on a $\tan\theta \approx \theta = \dfrac{w_0}{L_R}$.

On sait également que tout se passe comme si le faisceau conique diffracte à travers le faisceau cylindrique soit $\theta = \dfrac{\lambda}{w_0}$. AN: $\theta = \dfrac{\lambda}{w_0} = 1,26.10^{-4}\ rad$ et $L_R = \dfrac{w_0}{\theta} = \dfrac{w_0^2}{\lambda} = 39\ m$.

Le faisceau conique diverge et la largeur de la tache sur la lune est donnée par $\tan\theta \approx \theta = \dfrac{d_L/2}{D}$ soit $d_L = 2D\theta = 97\ km$.

2. Le terme $-Bu(\nu)N'''$ est négatif, il fait donc diminuer N_1 donc il correspond à une absorption. Ce terme dépend pas de $u(\nu)$ soit il dépend du nombre de photons présents et le nombre d'absorptions est d'autant plus important que N_1 est grand donc $N''' = N_1$.

Le terme $Bu(\nu)N''$ est positif, il fait donc augmenter N_1 donc il correspond à une émission. Ce terme dépend de $u(\nu)$ soit il dépend du nombre de photons présents donc c'est de l'émission stimulée et le nombre d'émissions est d'autant plus important que N_2 est grand donc $N'' = N_2$.

Le terme $+AN'$ est positif, il fait donc augmenter N_1 donc il correspond à une émission. Ce terme ne dépend pas de $u(\nu)$ donc il s'agit d'émission spontanée qui ne dépend pas du nombre de photons présents. Le nombre d'émissions est d'autant plus important que N_2 est grand donc $N' = N_2$.

On a donc $\dfrac{dN_1}{dt} = -Bu(\nu)N_1 + AN_2 + Bu(\nu)N_2$

En régime stationnaire on a $\dfrac{dN_1}{dt} = 0 = -Bu(\nu)(N_1 - N_2) + AN_2$ donc $N_2 - N_1 = -\dfrac{AN_2}{Bu(\nu)} < 0$. Soit $N_2 < N_1$: il faut fournir de l'énergie pour procéder à une inversion de population.

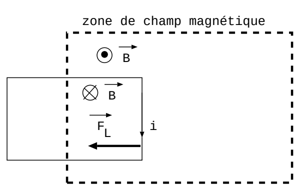
II. Freinage d'une luge

1. La luge subit son poids qui est une force conservative et la réaction du support qui ne travaille pas car il n'y a pas de frottement et elle est perpendiculaire au support. L'énergie mécanique est conservée. L'énergie potentielle de pesanteur est $E_p = mgh$ où h est la hauteur repérée par rapport au point le plus bas de la piste.

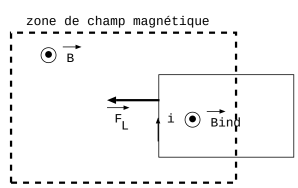
On écrit la conservation de l'énergie mécanique entre le point le plus bas où $v = v_a$ et $h = 0$ et le point d'arrêt où $v = 0$ et la luge est à la hauteur h telle que $\sin\alpha = \dfrac{h}{L}$ et $\sin\alpha = \dfrac{10}{\sqrt{100^2 + 10^2}} = 0,1$

$E_m = \dfrac{mv_a^2}{2} = mgh = mgL\sin\alpha$ d'où $L = \dfrac{v_a^2}{2g\sin\alpha} = 460\ m$: la longueur de piste est très grande pour ce freinage d'où l'intérêt d'utiliser l'induction pour une distance de freinage plus petite.

2.



PHASE 1



PHASE 3

Phase 1: la luge entre dans la zone de champ magnétique: la surface de la luge plongée dans le champ magnétique augmente, donc le flux magnétique augmente, pour limiter cette augmentation du flux, il apparaît un champ magnétique induit opposé au champ magnétique existant. On en déduit le sens de i (sens horaire) soit $i < 0$.

On peut aussi raisonner sur la force de Laplace: d'après la loi de Lenz, les effets s'opposent aux causes qui leur ont donné naissance. La cause de l'induction est le mouvement du cadre, la force de Laplace qui s'exerce sur le côté du cadre plongé dans le champ magnétique est donc dans le sens tel qu'elle freine le cadre, on en déduit le sens de i (i selon le pouce, $\overrightarrow{B}$ selon l'index et $\overrightarrow{F_L}$ selon le majeur de la main droite).

Phase 2: la luge est entièrement dans la zone de champ magnétique, le flux du champ magnétique ne varie pas, il n'y a pas d'induction, et donc pas de freinage.

Phase 3: la luge sort de la zone de champ magnétique, la surface de la luge dans la zone de champ magnétique diminue, pour s'opposer à la diminution du flux magnétique, il apparaît un champ magnétique induit dans le sens de $\overrightarrow{B}$, le courant qui crée ce champ tourne dans le sens trigo dans le cadre soit $i > 0$.

On peut raisonner sur la force de Laplace, qui dans cette phase s'exerce sur le côté à l'arrière de la luge, côté plongé dans le champ magnétique. La force de Laplace freine là aussi le cadre.

3. Le champ magnétique terrestre est de l'ordre de $5.10^{-5}\ T$. Un champ de $1\ T$ est un champ très intense que l'on peut produire grâce à un solénoide, un solénoide supraconducteur (de résistance nulle) pour qu'il n'y ait pas d'effet Joule). En effet pour produire un fort champ magnétique, il faut une grande intensité et avec une forte intensité, l'effet Joule est important et peut faire fondre les matériaux.

4. Le flux du champ magnétique s'écrit $\phi = \iint \overrightarrow{B} dS \overrightarrow{n}$ avec ici $\overrightarrow{n} = +\overrightarrow{u_z}$ (orienté par i à partir de la règle de la main droite) soit $\phi = Blx$. On applique la loi de Faraday soit $e = -\dfrac{d\phi}{dt} = -Bl\dot{x} = -Blv$.

5. Le circuit équivalent présente une résistance R_c et une fem e dans le sens de i (pas de bobine car on néglige l'auto-induction). La loi des mailles donne $e = R_c i$ soit $i = \dfrac{-Blv}{R_c} < 0$: cette équation électrique contient le terme mécanique v.

6. La luge subit son poids et la réaction du support (qui ici compense le poids car le mouvement est dans le plan horizontal), ainsi que la force de Laplace. Sur les côtés CD et EF les forces de Laplace se compensent, sur le côté FC elle est nulle car il n'y a pas de champ magnétique, elle s'écrit donc $\overrightarrow{F_L} = i\overrightarrow{DE} \Lambda \overrightarrow{B} = il\overrightarrow{u_y} \Lambda B\overrightarrow{u_z} = ilB\overrightarrow{u_z}$.

La RFD appliquée à la luge s'écrit: $m\overrightarrow{a} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{N} + \overrightarrow{F_L}$ soit en projection sur Ox $m\dfrac{dv}{dt} = ilB$: cette équation mécanique contient le terme électrique i.

On déduit des équations trouvées: $\dfrac{dv}{dt} + \dfrac{B^2l^2}{mR_c}v = 0$. Par identification avec l'énoncé on trouve $\tau = \dfrac{mR_c}{B^2l^2}$.

7. La solution est $v(t) = Ae^{-t/\tau}$ avec $v(t=0) = v_a = A$ d'où $v(t) = v_a e^{-t/\tau}$ et en intégrant par rapport au temps $x(t) = -v_a\tau e^{-t/\tau} + C$ avec $x(t=0) = 0 = -v_a\tau + C$ d'où $x(t) = v_a\tau(1 - e^{-t/\tau})$.

La luge est totalement dans la zone de champ magnétique à partir de l'instant T tel que $x(T) = L = v_a(1-e^{-T/\tau})$ d'où $T = -\tau \ln(1-\dfrac{v_a\tau}{L})$. A cet instant la vitesse de la luge est $v(T) = v_a e^{-T/\tau} = v_a(1-\dfrac{Lv_a}{\tau}) = v_a - \dfrac{L}{\tau}$. On en déduit la variation de vitesse de la luge lors de la phase 1: $v(T) - v_a = -\dfrac{L}{\tau} = -2,5\ m.s^{-1}$.

8. Une fois que le cadre est entièrement dans la zone de champ magnétique, le flux magnétique ne varie plus donc la vitesse du cadre est constante, il n'y a plus d'induction. Ainsi cette phase n'apporte aucune contribution au freinage, sa taille doit être la plus petite possible pour limiter la longueur de la piste de freinage. La taille idéale de la zone de champ magnétique est donc L, la taille du cadre.

9. Lors de la phase 3, le cadre sort de la zone de freinage, le courant dans le cadre change de sens pour freiner le cadre à nouveau. La variation de vitesse du cadre lors de cette phase est à nouveau $\Delta v = -\dfrac{L}{\tau}$.

10. A chaque passage dans une zone de champ magnétique, la luge est freinée deux fois: une fois lors de la phase d'entrée dans la zone et une fois lors de la phase de sortie de la zone soit pour chaque zone, la variation de vitesse de la luge est $\Delta v_{zone} = -\dfrac{2L}{\tau} = -5\ m.s^{-1}$.

Pour que la luge passe de la vitesse $v_a = 30\ m.s^{-1}$ à la vitesse de $5\ m.s^{-1}$, il faut donc 5 zones de champ magnétique, qui sont longues de L et qui doivent être espacées de L également pour que la piste soit la plus coure possible. La longueur de piste de ralentissement est donc $10L = 10\ m$. Si l'on compare à la distance $L = 460\ m$ de la zone de freinage en absence d'induction établie dans la question 1, on voit combien l'induction est efficace pour le freinage.

11. Les camions utilisent le freinage par induction. En freinant, le conducteur actionne l'électroaimant qui crée un champ magnétique permanent solidaire de la carcasse du camion. Un disque solidaire des roues est donc le siège de courants induits qui freinent de façon très efficace le camion. Ce système de freinage doit être doublé d'un système mécanique de blocage des roues lorsque le camion est à l'arrêt car l'induction en fonctionne que lorsque le camion a une vitesse, pour maintenir le camion arrêté ce système ne convient pas.