MATURITA DES SECTIONS BILINGUES FRANCO-TCHÈQUES

EXAMEN DE MATURITA BILINGUE

Année scolaire 2020/2021

Session de mai

ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée : 3h

Le sujet est constitué de quatre exercices indépendants de même importance. Les candidats peuvent donc les résoudre dans l'ordre qui leur convient, en rappelant le numéro de l'exercice et des questions qui s'y rapportent. Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela. Les correcteurs tiendront compte des qualités de soin, de rédaction et de présentation. L'utilisation des calculatrices est autorisée dans les conditions prévues par la réglementation.

Les pages de l'annexe (les pages 8 et 9) sont à renuméroter et à rendre avec la copie.

Chaque page x de la copie sera numérotée en bas et à droite « x/n », n étant le nombre total de pages.

Plan du sujet :

1. Questions de cours................................ Champs magnétique, électrique, gravitationnel
2. Exercice à caractère expérimental........ Détermination de la constante de raideur d'un ressort
3. Problème... Énergie nucléaire
4. Étude de documents........................... La relativité d'Einstein, un nouveau cadre conceptuel

Questions de cours : Champs magnétique, électrique, gravitationnel

Partie A

1. Formuler en un court paragraphe la loi de gravitation universelle, donner sa formule mathématique et préciser toutes les grandeurs physiques, leurs unités ainsi que le nom de la constante.
2. Représenter avec des flèches l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune sur le schéma sur la figure 1 en **Annexe**.
3. Sur le schéma de la figure 2 en **Annexe**, représenter par des vecteurs, sans soucis d'échelle, la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_g}$ que la Terre exerce sur un objet de masse m se trouvant à la surface, ainsi que la force centrifuge $\overrightarrow{F_c}$ et le poids $\overrightarrow{P}$ de cet objet.
4. En utilisant une équation vectorielle, donner la relation entre ces trois forces.

Partie B

1. Formuler en un court paragraphe la loi de Coulomb, donner sa formule mathématique et préciser pour cette formule toutes les grandeurs physiques, leurs unités et le nom de la constante.
2. C'est évident qu'il existe une similitude formelle entre la loi de Coulomb et la loi de Newton. Quelle est la différence essentielle entre la force d'attraction gravitationnelle et la force électrostatique ?
3. Sur le schéma de la figure 3 en **Annexe**, représenter les lignes de champ électrique d'une charge ponctuelle positive, ainsi qu'un vecteur champ électrique $\overrightarrow{E}$ créé par cette charge. Puis, sur le schéma de la figure 4 en **Annexe**, représenter les lignes de champ électrique d'une charge ponctuelle négative, ainsi qu'un vecteur champ électrique $\overrightarrow{E}$ créé par cette charge.

Partie C

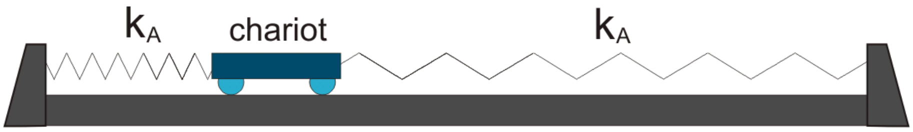
1. Sur le schéma de la figure 5 en **Annexe**, représenter les lignes de champ magnétique créées par un aimant droit, ainsi que le vecteur $\overrightarrow{B}$ de ce champ au point M.
2. Sur le schéma de la figure 6 en **Annexe**, représenter les lignes de champ magnétique créées par un solénoïde, ainsi que les vecteurs $\overrightarrow{B(N)}$ et $\overrightarrow{B(M)}$ de ce champ au points N et M.
   Indiquer la face nord et la face sud du solénoïde.
3. Quelle est la nature du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde ?
4. Donner la formule pour la valeur du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde.
   Préciser pour cette formule toutes les grandeurs physiques, leurs unités et le nom de la constante.

Exercice à caractère expérimental : Détermination de la constante de raideur d'un ressort

Le but de cet exercice est de déterminer la constante de raideur d'un ressort à l'aide de deux méthodes différentes.

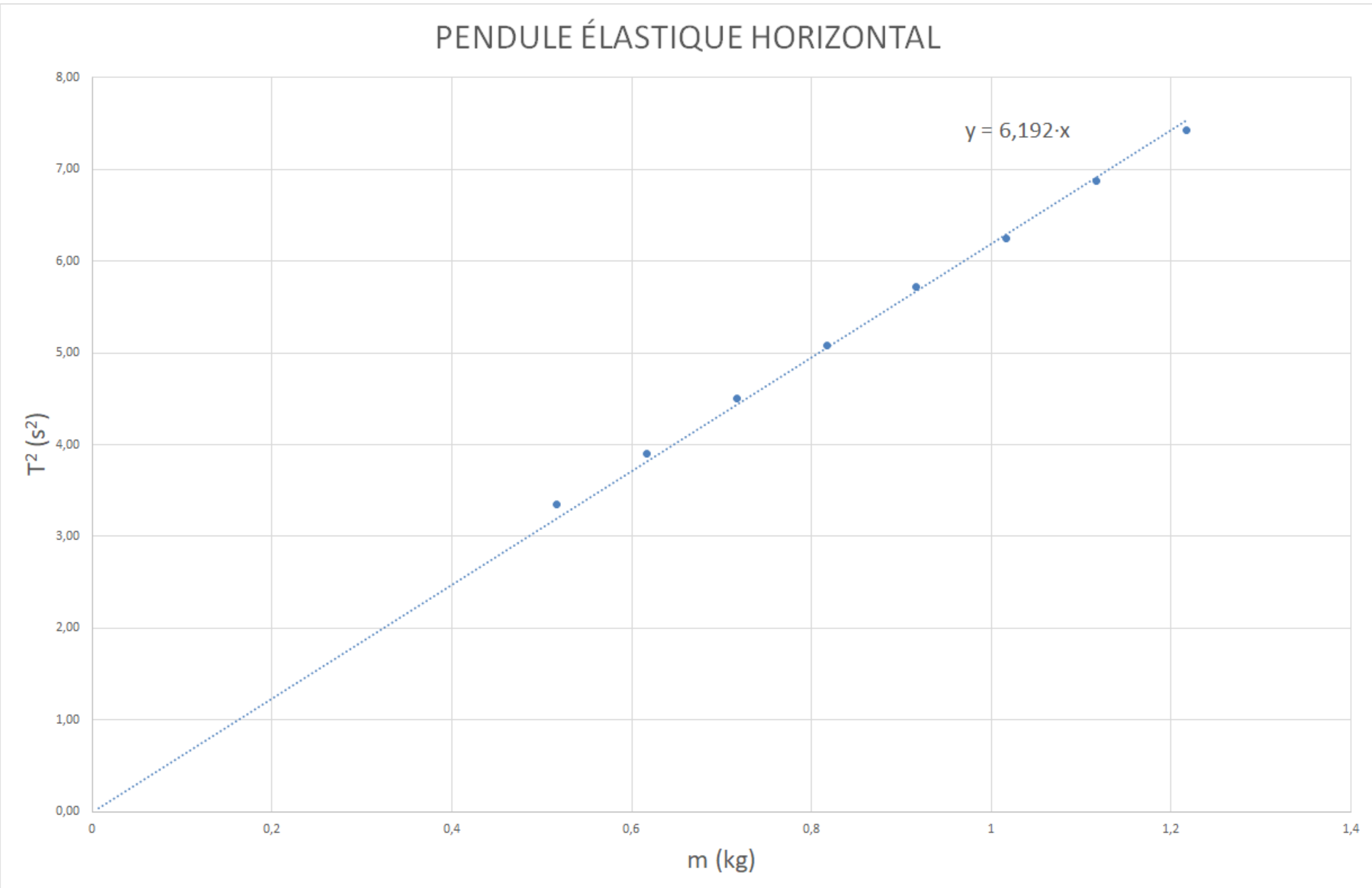
Partie A : Oscillations libres horizontales

On dispose d'un chariot qui se déplace avec des frottements négligeables sur un support horizontal. Il est attaché entre deux ressorts (voir le schéma). On peut ainsi faire varier la masse du système en ajoutant des masses différentes sur le chariot.



1. Le système peut être symbolisé par un seul ressort horizontal de raideur $2 \cdot k_A$ avec une masse m (masse du système) à son extrémité libre. Dessiner le schéma correspondant.
2. Faire le bilan des forces et les faires apparaître sur votre schéma.

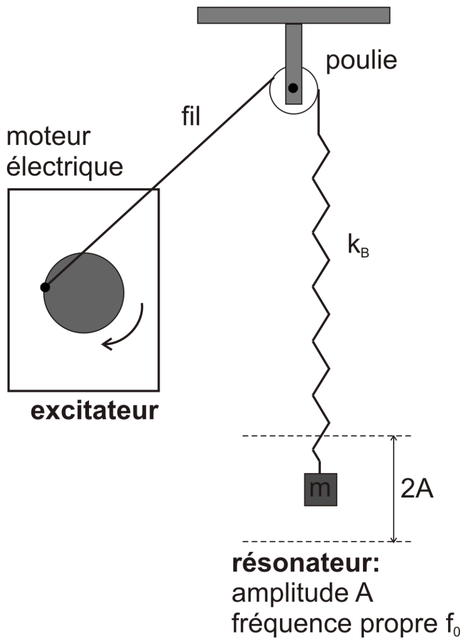
   On réalise une série de mesure où l'on fait osciller le chariot et on détermine la période en fonction de différentes masses posées sur le support. Pour chacune des différentes masses, on mesure la durée de 5 périodes d'oscillation libre pour déterminer la valeur de la période. On trace le graphique $T^2 = f(m)$ représenté ci-dessous.



3. Pourquoi mesure-t-on 5 périodes ?
4. A partir de la relation $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k_A}}$ et en utilisant le graphique, calculer la valeur de la constante de raideur k_A des deux ressorts utilisés.

Partie B : Oscillations forcées verticales

Dans cette partie on fixe la masse du système à $m = 0{,}70\,\text{kg}$, on accroche verticalement cette masse à un des deux ressorts du schéma de la partie A. La constante de raideur de ce ressort, notée k_A dans la partie A, est notée dans cette partie comme k_B. Ce ressort est attaché de l'autre côté à un fil relié à un excitateur qui va imposer une fréquence variable d'oscillation au système.



1. Quel phénomène cette expérience va-t-elle mettre en évidence ?

   Le tableau ci-dessous rapporte l'amplitude des oscillation y_m en fonction de la fréquence f de l'excitateur.

f (en Hz)	0,05	0,12	0,19	0,26	0,30	0,34	0,40	0,50	0,60	0,75	0,90
y_m (en cm)	2,1	3,5	6,1	9,5	13,5	14,6	11,9	8,7	6,6	5,2	4,3

2. Sur le papier millimétré, tracer le graphe de l'amplitude en fonction de la fréquence de l'excitateur.
3. Déterminer à partir du graphique la fréquence propre du système.
4. Calculer alors la valeur de la constante de raideur k_B du ressort utilisé en utilisant la relation $1/f_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_B}}$.

Partie C : Comparaison des résultats

La valeur théorique de la constante de raideur du ressort est $k_{\text{théorique}} = 3{,}1\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$.
Calculer les écarts relatifs ($\epsilon_{\text{rélatif, A}}$ et $\epsilon_{\text{rélatif, B}}$) et absolus ($\epsilon_{\text{absolu, A}}$ et $\epsilon_{\text{absolu, B}}$) pour chacune des valeurs expérimentales obtenues k_A et k_B.

Problème : Radioactivité - Énergie nucléaire

Données :

l'unité de masse atomique $1\,\mathrm{u} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
la masse d'un neutron $m_{\mathrm{n}} = 1{,}008\,67\,\mathrm{u}$
la masse d'un noyau de bore $m_{\mathrm{B}} = 10{,}012\,94\,\mathrm{u}$
la masse d'un noyau de lithium $m_{\mathrm{Li}} = 7{,}016\,00\,\mathrm{u}$
la masse d'un noyau d'hélium $m_{\mathrm{He}} = 4{,}002\,60\,\mathrm{u}$
la masse molaire du bore $M_{\mathrm{B}} = 10{,}0\,\mathrm{g} \cdot \mathrm{mol}^{-1}$
la constante d'Avogadro $N_{\mathrm{A}} = 6{,}022 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$
la célerité de lumière $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\,\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$
la charge élémentaire $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$

Partie A

Un noyau de bore ${}^{10}_{5}\mathrm{B}$ peut capter un neutron lent pour former un noyau de lithium ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$.

1. Écrire l'équation-bilan de cette réaction nucléaire en justifiant. Nommer la seconde particule formée.
2. Effectuer le bilan énergétique et calculer, en J puis en MeV, l'énergie libérée au cours de cette réaction.
3. Quelle serait l'énergie libérée par la réaction complète de 1,00 g de bore ?
4. Avec quelle masse d'essence obtiendrait-on la même quantité d'énergie par combustion totale ?
   Le pouvoir calorifique de l'essence vaut $5{,}0 \cdot 10^{7}\,\mathrm{J} \cdot \mathrm{kg}^{-1}$.

Partie B

Dans une centrale nucléaire, l'énergie est produite par la fission de l'uranium 235 selon l'équation :
${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{140}_{\mathrm{Z}}\mathrm{Xe} + x\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

1. Déterminer les valeurs de Z et de x.
2. Calculer, en J et en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium, sachant que la diminution de masse au cours de la réaction vaut $4{,}45 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{u}$.
3. L'énergie produite est transformée en énergie cinétique aux neutrons. Les neutrons reçoivent chacun la même valeur de l'énergie cinétique. Calculer la vitesse d'un neutron émis.

Étude de documents :

La relativité d'Einstein, un nouveau cadre conceptuel

En 1905 lorsqu'il introduit la relativité restreinte, Einstein pose deux principes : le principe de relativité, qui affirme l'invariance des lois de la physique dans tout référentiel inertiel (ou galiléen), et le principe de la constance de la lumière. Le premier était déjà bien connu, puisqu'il s'agit du principe de Galilée, mais qui était jusqu'alors limité à la mécanique des corps matériels. Einstein l'étend à l'optique et à l'électromagnétique. Quant au fait que la vitesse de la lumière soit constante, il était implicitement connu depuis les mesures, comme celles de Albert Michelson et Edward Morley. La nouveauté est qu'Einstein l'érige en principe.

Plusieurs conséquences découlent de cette structure, notamment longueur et durée ne sont plus des grandeurs intrinsèques, mais dépendent du référentiel dans lequel on les mesure : elles sont relatives. Cette rélativité est qualifiée de restreinte, car elle ne concerne que les mouvements de translation uniforme.

En 1905, Einstein a établi sur des bases conceptuelles une nouvelle cinématique pour la physique qui remplace la cinématique galiléenne. Plus rien ne sera comme avant. Désormais la lumière est au coeur de la science de l'espace et du temps.

1907, 1912, 1915, trois dates qui comptent dans l'histoire de la relativité générale. En 1907, Einstein affirme la nécessité d'une théorie rélativiste de la gravitation : il n'accepte pas que la théorie électromagnétique de la lumière ait pour la base la relativité restreinte, tandis que le reste de la physique, en particulier la gravitation, dépend toujours de la relativité galiléenne. En 1912, il prend conscience de la nécessité d'utiliser un espace-temps courbé : la géométrie riemannienne. Il établit, en 1915, les équations de champ qui permettent de construire l'espace-temps exprimant la gravitation.

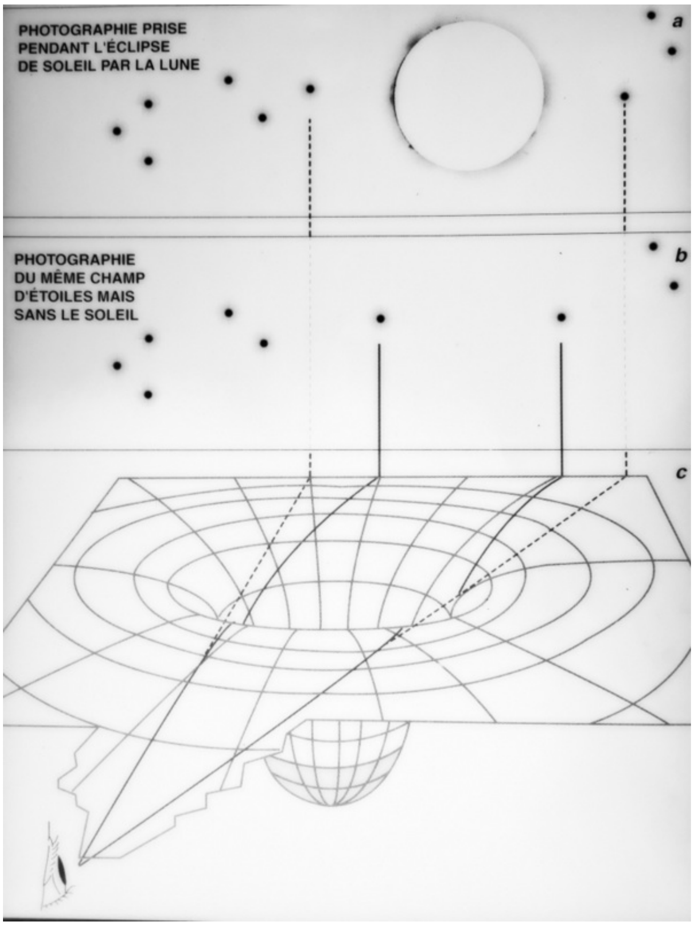
Grâce à ces équations du champ, ou équations d'Einstein, la distribution de matière, donnée a priori, impose la structure de l'espace-temps (sa courbure) qui exprime la gravitation. L'espace-temps est courbé et les particules en suivent les chemins les plus rapides que l'on nomme les géodésiques. Les équations de champ de la relativité générale consistent en un certain nombre (qui dépend des symétries du problème) d'équations différentielles dont la solution est « l'élément linéaire d'espace-temps » qui exprime la structure locale de l'espace-temps. Notons qu'il ne s'agit pas d'un élément de longueur, car nous sommes désormais dans un espace-temps et l'on ne sait plus ce qu'est une longueur. Seul le temps propre a une signification.

Dans l'espace Newtonien, l'élément de distance $\mathrm{d}s^2$ s'écrit simplement à l'aide de théorème de Pythagore : $\mathrm{d}s^2 = \mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 + \mathrm{d}z^2$, où x, y et z sont les coordonnées de l'espace et d représente un petit élément. L'élément linéaire d'espace-temps de la relativité n'est rien d'autre qu'une généralisation de ce théorème dans l'espace-temps à quatre dimensions : $\mathrm{d}s^2 = c^2\mathrm{d}t^2 - \left(\mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 + \mathrm{d}z^2\right)$ où t représente le temps et c la vitesse de la lumière.

Énoncée en 1915, la nouvelle théorie de la gravitation d'Einstein, la relativité générale, restera en partie incomprise jusqu'aux années 1960. À la fin de l'année 1915, la rélativité générale remplace, en principe, la théorie de la gravitaion de Newton. En principe, car ce passage d'une théorie à l'autre ne se fera pas si simplement ; il ne s'agira pas d'une de ces « révolutions » dont rêvent historiciens et sociologues de la science. Malgré des confirmations expérimentales convaincantes, la relativité générale devra faire sa traversée du désert : c'est seulement dans les années 1960 que les physiciens-mathématiciens, les physiciens, puis les astrophysiciens saisissent la véritable portée de la théorie et en appréhendent les dévéloppements révolutionnaires.

Comment expliquer cette période difficile ? Jusqu'alors, la rélativité générale n'a que peu de lieux pour s'exprimer sur le plan de l'observation ou de l'expérience : les « test » restent confidentiels et concernent des effets très faibles. Les physiciens ont aussi beaucoup de mal à accepter l'extrême mathématisation de la théorie. Enfin, leur réticence devant l'idée, entièrement nouvelle, que l'espace ne préexiste pas à la matière, qu'il est « à construire », est forte.

En mai 1919, une éclipse de Soleil donna la possibilité de vérifier une des prédictions de la théorie d'Einstein. D'après la rélativité générale, en absence de Soleil, les étoiles apparaissent dans une position donnée (partie b sur la figure). Lors d'une éclipse, la masse du Soleil courbe l'espace-temps entre les étoiles et l'observateur (partie c sur la figure). La trajectoire des photons suit les géodésiques de l'espace-temps, c'est-à-dire les chemins les plus rapides, qui sont donc ici des chemins courbés. Ainsi, les étoiles semblent provenir d'une direction décalée (partie *a* sur la figure). Pour vérifier cette prédiction, l'astronome britannique Arthur Eddington dirigea deux expéditions, l'une à Sobral au Brésil, l'autre sur l'île de Principe en Afrique, afin de faire des mesures. Le 6 novembre 1919, l'annonce du résultats à l'Académie royale des science de Londres consacra Einstein et sa théorie.



Après l'expédition de 1919 au Brésil, après la gloire qui saisit alors Einstein, la relativité générale est à l'étiage, déconsidérée. Elle n'a pourtant rien à se reprocher. La théorie de Newton est en effet réfutée au profit de la théorie de la gravitation d'Einstein, mais elle ne concerne qu'un petit champ de la physique. Durant plus de quarante ans, la rélativité générale est interprétée de la manière « néonewtonienne ». Les relativistes ne croient pas assez à leur théorie ou plutôt, ils n'ont pas les outils qui leur permettraient de la comprendre. A cette époque, les relativistes n'ont pas accepté que l'espace-temps de leur théorie soit réellement courbé : ils continuent à travailler avec des concepts classiques et sur un espace qui reste lui aussi classique, quasiment plan. Sa courbure n'est qu'un élément secondaire.

Dans les années 1960, avec un retard considérable, la révolution attendue se produit. Elle est portée par l'idée de trou noir, dont l'existence est pourtant problématique.

(Documents selon J. Eisenstaedt, D'Einstein aux trous noirs, le renouveau relativiste, Pour la science dossier n°38 La gravitation, 2003. Les couleurs noir et blanc dans l'image originale des deux photographies ont été invérsées pour la figure de cette partie de l'énoncé.)

Questions

1. Formuler le principe de relativité d'Einstein et comparer ce principe avec le principe de relativité de Galilée.
2. Que déterminent les équations d'Einstein ? De quel facteur dépend le nombre de ces équations ?
3. Définir le terme « géodésique ».
4. Quel théorème mathématique généralise-t-on pour exprimer l'élément linéaire d'espace-temps de la relativité ? Donner son expression et nommer les différentes dimensions.
5. Décrire en quelques phrases comment la théorie d'Einstein a été confirmée expérimentalement.
6. Expliquer comment la portée révolutionnaire de la relativité générale est devenue apparente après plus de quarante ans.

Škola

Jméno

Třída

ANNEXE

Feuille de réponse à rendre avec la copie

Questions de cours : Champs magnétique, électrique, gravitationnel

figure 1

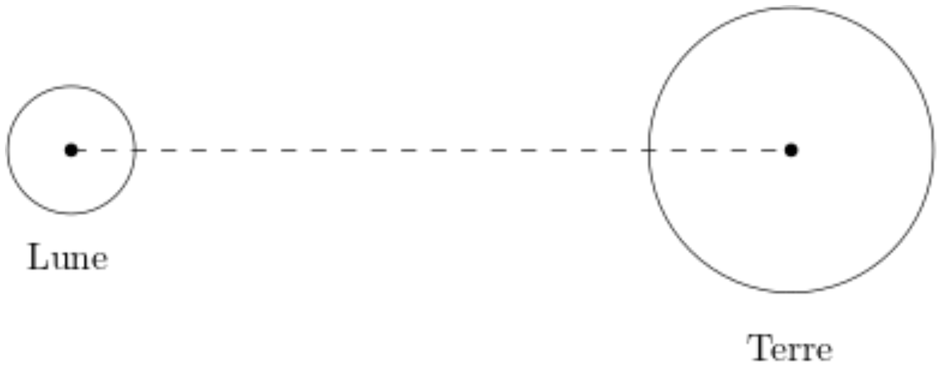
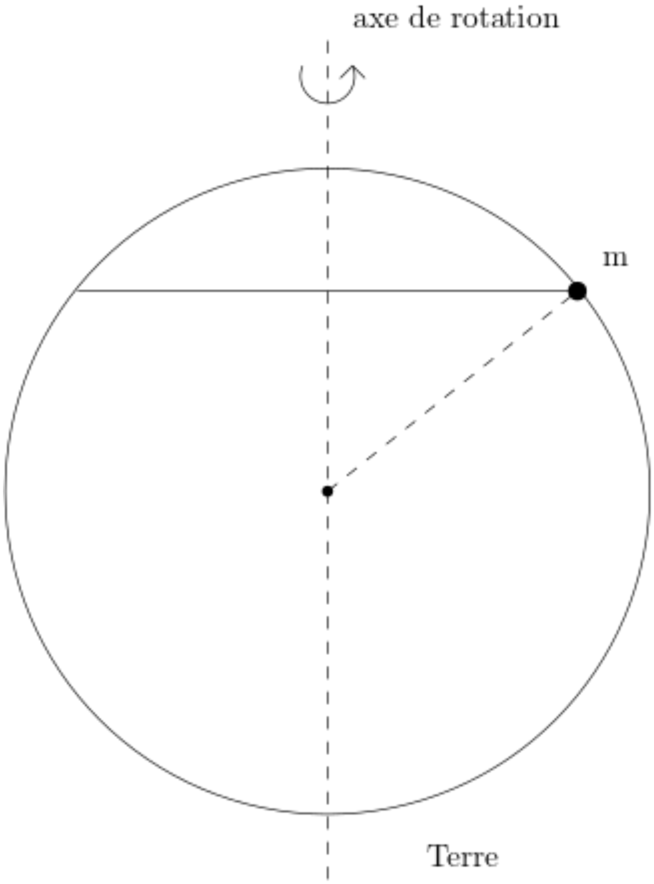


figure 2



Škola

Jméno

Třída

ANNEXE
Feuille de réponse à rendre avec la copie

Questions de cours : Champs magnétique, électrique, gravitationnel

figure 3

figure 4

figure 5

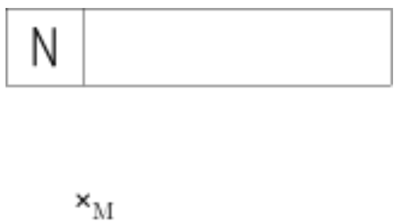


figure 6