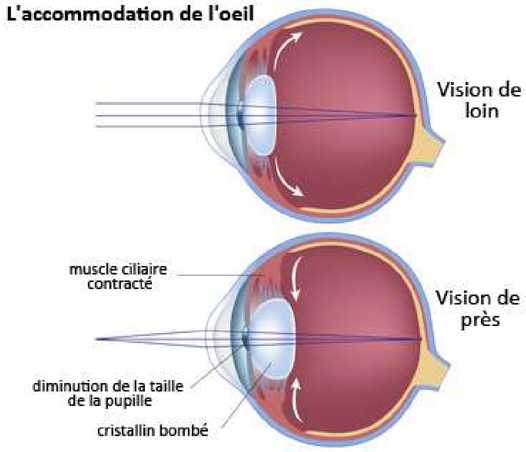
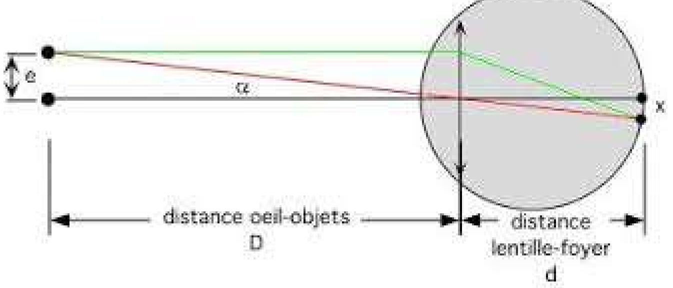
Un œil dont la vision est bonne est dit emmétrope. L'œil emmétrope au repos voit net un objet à l'infini : le cristallin au repos forme une mage nette de l'objet sur la rétine. Si l'objet est plus proche, l'œil peut voir net ; pour cela le cristallin se déforme en devenant davantage convergent, de façon à ce que l'image se forme toujours sur la rétine. Cette propriété de l'œil est appelée accommodation. Pour l'œil emmétrope, l'accommodation est possible jusqu'à une distance objet – œil de 20 cm. Le point le plus proche permettant l'accommodation est appelé punctum proximum, le point le plus loin est appelé punctum remotum.



Par ailleurs, pour que deux points d'un objet puissent être distingués par l'œil, il faut que les images formées sur la rétine impactent des cellules réceptives différentes. Cela suppose que les deux points soient perçus sous un angle suffisamment important par l'œil. Cet angle est appelé pouvoir séparateur de l'œil et est noté $\alpha=1'=1/60°$ *(une minute d'angle = 1/60^e de degré). Ainsi, deux objets A et B séparés d'une distance h sont perçus comme étant distincts si l'angle sous lequel ils sont perçus est supérieur au pouvoir séparateur* α*. Un objet étendu CD sera perçu comme non ponctuel s'il est perçu sous un angle (notons-le* θ*) supérieur à* α*. Ce même objet étendu CD pourra être découpé en autant de segments que* θ *est un multiple de* α*.*

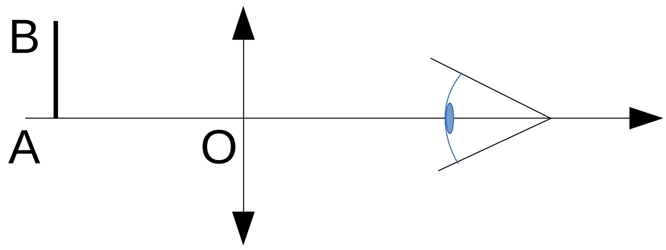


13.
Soit un objet étendu de taille $AB=10\,cm$. Sous quel angle est-il perçu par l'œil s'il est placé à une distance $d_1=1{,}00\,m$ de l'œil ? Et s'il est placé à une distance $d_2=0{,}50\,m$ de l'œil ? On donnera le résultat en degrés et minutes d'angle.

Cet angle est appelé taille angulaire de l'objet. Conclure : où doit-on placer l'objet de façon à ce qu'il soit perçu avec la plus grande taille angulaire ?

14.
La goutte de rosée blanche est une sphère de diamètre $AB=2\,mm$. Donner sa taille angulaire notée θ . En combien de segments son diamètre peut-il être vu par l'œil ? Mêmes questions pour les cristaux de gelée blanche sont des aiguilles ou colonnes de diamètre $CD=0{,}5\,mm$.

15.
Soit une lentille de centre O et de distance focale $f'=10\,cm$. Est-elle convergente ou divergente ? Où se trouve l'image $A'B'$ si l'objet AB est placé dans le plan focal objet ? Sous quel angle θ' sera vue cette image $A'B'$ par l'œil ? Réaliser un schéma pour étayer vos propos.



16.
L'utilisation de la lentille précédente est appelée utilisation en loupe. Avec cette loupe, quelle est la nouvelle taille angulaire θ' de la goutte de rosée ? Et pour les cristaux de gelée blanche ? Calculer le grossissement θ'/θ de cette loupe.

Pour pouvoir de façon plus fine les cristaux de gelée blanche, on utilise un microscope constitué de deux lentilles de centres O_1 *et* O_2 *, appelées respectivement objectif (côté objet) et oculaire (côté œil), de distances focales* $f_1'=4{,}0\,mm$ *et* $f_2'=4{,}0\,cm$ *et espacées de façon à ce que* $\Delta=\overline{F_1'F_2}=8{,}0\,cm$.
On donne pour une lentille de focale f' *la relation de Newton* $\overline{FA}.\overline{F'A'}=-f'^2$
On notera de cette façon les images successives par le microscope : $AB \rightarrow A_1B_1 \rightarrow A_2B_2$
On pourra s'appuyer sur des schémas !

17.
Où placer A_1B_1 par rapport à la lentille oculaire, de façon à ce que l'image finale A_2B_2 soit à l'infini ?

18.
En déduire la position de l'objet AB (expression littérale et application numérique).

19.
En déduire la taille A_1B_1 (expression littérale).

20.
En déduire au final l'angle sous lequel l'image finale A_2B_2 est perçue par l'œil de l'utilisateur (expression littérale)

21.
Conclure : déterminer et calculer la valeur du grossissement de ce microscope.

Troisième exercice : Mesures de la pesanteur

Cet exercice a pour but de proposer une explication à la différence de pesanteur mesurée par Richter, astronome de la fin du XVIIe siècle, entre Cayenne (Guyane Française) et Paris.

22.
Rappeler l'expression de la force électrostatique $\boldsymbol{F}_{élec, A\to B}$ et du champ électrostatique $\boldsymbol{E}_{A\to B}$ exercés par une charge q_A placée en A sur une charge q_B placée en B, en fonction notamment de q_A, q_B, et $\boldsymbol{AB}$

23.
Donner l'expression du théorème de Gauss pour une surface fermée Σ , reliant les charges intérieures Q_{int} au flux du champ électrostatique.

24.
Rappeler l'expression des vecteurs champ de gravitation $\boldsymbol{G}_{grav}(B)$ et force de gravitation $\boldsymbol{F}_{grav, A\to B}$ créée par la masse m_A sur la masse m_B en fonction des masses m_A, m_B, de la constante de gravitation G et du vecteur $\boldsymbol{AB}$

25.
Par analogie, en déduire une forme gravitationnelle du théorème de Gauss.

La Terre est assimilée à une boule de centre C et de rayon $R_T = 6370\,km$ dont la masse totale $M_T = 5{,}97\cdot 10^{24}\,kg$ est uniformément répartie en volume. On repère un point M de l'espace en coordonnées sphériques de centre C, associée à la base locale $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi)$. On note $z = r - R_T$ l'altitude du point M situé à l'extérieur de la Terre. On associe à ce point une droite (Oz) (verticale du lieu) dont l'origine O est en $r = R_T$ et telle que $\vec{e}_z = \vec{e}_r$.

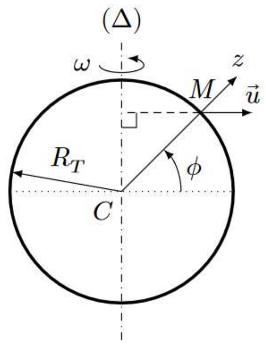
26.
Réaliser un schéma où apparaissent la Terre et le rayon R_T, le point M, ses coordonnées sphériques r, θ, φ , les vecteurs de la base locale $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi)$ ainsi que le point O.

27.
À l'aide du théorème de Gauss sous forme gravitationnelle, déterminer l'expression du champ gravitationnel créé par la Terre $\boldsymbol{G}_{grav}$ en M d'altitude z. Compléter le schéma de la question précédente en figurant la surface de Gauss utilisée.

28.
Montrer que le champ gravitationnel peut se simplifier sous la forme $\boldsymbol{G}_{grav} \approx \frac{-G M_T}{R_T^2}(1 - \frac{2z}{R_T})\boldsymbol{e}_z$ pour $z \ll R_T$

29.
Calculer l'altitude dont il faut s'élever pour observer une variation de 1 % du champ gravitationnel terrestre.

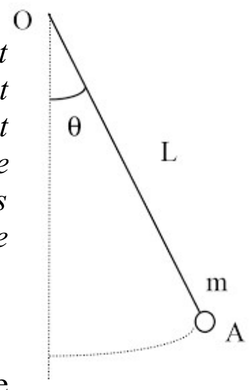
30.
On se place dans le référentiel terrestre.
Donner sans démonstration l'expression la force d'inertie d'entraînement $\boldsymbol{F}_{ie}$ qui s'exerce sur le point M en fonction de sa masse m, de la vitesse angulaire de rotation $\omega = 7{,}29\, rad.s^{-1}$ de la Terre dans le référentiel géocentrique galiléen autour de l'axe Nord-Sud (Δ), de $z + R_T$ et de la latitude ϕ. On pourra utiliser le vecteur unitaire $\vec{u}$.
Si vous souhaitez retrouver par un calcul le résultat, on donne $\boldsymbol{F}_{ie} = -m\boldsymbol{\gamma}_e$ où $\boldsymbol{\gamma}_e = \boldsymbol{\Omega} \wedge (\boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{CM})$ est l'accélération d'entraînement.



31.
Le poids d'un objet de masse m $\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{g}$ est défini comme la somme vectorielle de la force de gravitation et de la force d'inertie d'entraînement. Donner l'expression du poids à partir des relations des questions 18. et 20. Représenter ses deux composantes vectorielles sur un schéma.

32.
Application numérique : Comparer, de manière relative, le terme d'inertie d'entraînement et le terme de gravitation, pour un point placé à l'équateur. Commenter.

Pour déterminer le champ de pesanteur localement, les géophysiciens disposent d'instruments appelés gravimètres. Le premier gravimètre utilisé historiquement a été un pendule simple, constitué d'un fil inextensible sans masse et d'un objet de masse m *supposé ponctuel. Il est utilisé notamment au XVII*[e] *siècle lorsqu'on étudie la forme exacte de la Terre ce qui conduit à mener les expéditions géodésiques françaises (on pourra consulter à ce propos l'article de l'encyclopédie Wikipédia)*



33.
Pourquoi l'utilisation d'un pendule simple permet de remonter à une mesure de l'intensité de pesanteur g.

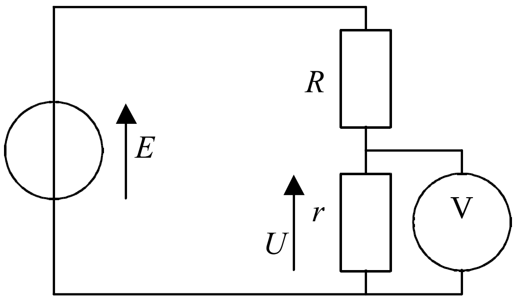
34.
En 1672 l'astronome Jean Richer part à Cayenne (Guyane) avec une horloge à pendule dont le pendule bat la seconde à Paris (à Paris $g = 9{,}81\, m.s^{-2}$). Arrivé à Cayenne, il s'aperçoit que son horloge retarde de 2 min 28 s par jour. Pour quelle(s) raison(s) les valeurs de g sont-elles différentes à Cayenne et Paris ? L'altitude de Paris varie entre 28 et 131 m et celle de Cayenne entre 0 et 105 m.

35.
On suppose que l'incertitude sur la mesure de la période du pendule est essentiellement liée à la mesure de la période T. Quelle doit être l'incertitude sur la meure de la période du pendule, pour que l'incertitude sur l'intensité de pesanteur g soit égale à $1\,\mu gal$ (ordre de grandeur de la précision des gravimètres actuels). On donne $1\, gal = 1\, cm.s^{-2}$.

Quatrième exercice : mesure des petites variations de température

Une thermistance est un conducteur ohmique dont la résistance dépend de la température. On considère ici une thermistance de résistance R. À la température $T_0 = 300{,}0\,K$, la résistance de la thermistance a pour valeur $R = R_0 = 115{,}0\,\Omega$. Lorsque la température de la thermistance varie légèrement, c'est-à-dire $T = T_0 + \delta T$ avec $\delta T \ll T_0$, alors $R = R_0 + \delta R$ avec $\delta R \ll R_0$. La loi de variation de la résistance en fonction de la variation de température est $\delta R = a R_0 \delta T$, le paramètre a ayant la valeur $a = 7{,}0 \cdot 10^{-2} K$.

La thermistance est intégrée au circuit suivant :



où E désigne la force électromotrice de la source idéale de tension, r est une résistance calibrée de valeur fixe $r = 100{,}0\,\Omega$.
La tension U aux bornes de r est mesurée à l'aide d'un voltmètre dont la résistance interne est supposée infinie.

36.
La résistance interne d'un voltmètre numérique est de $1\,M\Omega$. A-t-on raison de considérer la résistance interne du voltmètre comme infinie pour ce montage ?

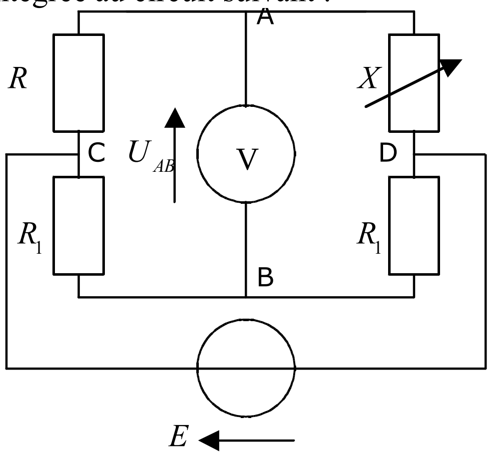
37.
Exprimer la tension U en fonction de E, r et R.

Lorsque la température de la thermistance est T_0*, le Voltmètre, sur le calibre le plus approprié, indique la valeur* $U_0 = 4{,}651\,V$.
La variation du dernier chiffre (un « digit ») correspond à la plus petite variation de tension qui puisse être détectée avec ce voltmètre.

38.
Quelle est la valeur numérique de E ?

39.
Quelle est, dans ces conditions, la plus petite variation de température δT de la thermistance, que l'on peut déceler autour de T_0 ?

La thermistance est à présent intégrée au circuit suivant :



La tension U_{AB} est mesurée à l'aide d'un voltmètre dont la résistance interne est supposée infinie.

X est une résistance variable, les deux résistances R_1 ont même valeur $100{,}0\Omega$.

La f.é.m. du générateur est égale à $E=10{,}00\,V$.

40.

Que peut-on dire du courant traversant le voltmètre ? Les résistances X et R sont-elles dès lors dans une disposition particulière ? De même R_1 et R_2 ? Exprimer les tensions U_{BD} et U_{AD} puis U_{AB} en fonction de E, R et X.

41.

Lorsque la température de la thermistance est T_0, on donne à la résistance variable la valeur X_0 pour que la tension U_{AB} soit nulle. Déterminer X_0.

42.

Autour de T_0, la valeur de la température de la thermistance varie légèrement $T=T_0+\delta T$.
Démontrer que la tension peut alors se mettre sous la forme $U_{AB}=K\cdot\delta T$ (Rappel : $\delta T \gg T_0$).
Exprimer K en fonction de E et a.

43.

Lorsque la température de la thermistance est égale à $T_0=300{,}0\,K$, le voltmètre sur le calibre le plus sensible affiche la valeur suivante (en mV) $00{,}00\,mV$.
Quelle est la plus petite variation δT de température que l'on peut déceler dans ces conditions, autour de $T_0=300{,}0\,K$?