Chapitre -1 : Révisions de physique

Tout d'abord, je souhaite vous féliciter pour votre admission au sein de la MP2I du lycée Joffre ! Une année intense, mais riche en découvertes, vous attend ! Pour vous y préparer au mieux, je me propose ici de vous faire faire le point sur quelques techniques essentielles ainsi que sur des connaissances fondamentales de physique. Le document présenté ici est volontairement bref : à partir de Septembre, votre rythme de travail va devoir s'accélérer ; il faut que vous puissiez également profiter de vos vacances d'été avec sérénité.

Je vous souhaite de bonnes révisions, et de bonnes vacances d'été !

S. Franco [1]

I Bagage attendu

A Ce que vous devriez savoir : vais-je m'en sortir sans avoir fait la spé Physique ?

Le programme de physique de MP2I se base sur l'enseignement de physique de spécialité en classe de Terminale. Néanmoins, la plupart des notions nécessaires à la compréhension du cours sont revues en MP2I. Ainsi, même si vous n'avez pas suivi la spécialité Physique-Chimie en Terminale, vous pourrez suivre le cours. Dans ce cas, il sera quand même utile pendant les vacances de reprendre vos exercices de première, pour reprendre les bonnes habitudes (rappel des principales grandeurs et de leurs unités, méthodes des exercices...)

Si vos talents de physicien sont encore balbutiants, et que vous souhaitez faire quelques révisions avant la rentrée, je vous conseille de vous concentrer sur les axes suivants :

— **En mécanique :** revoir les lois de Newton, et leur application à l'étude du mouvement d'un objet soumis à un champ constant (pesanteur ou champ électrique).
Exercice type : Déterminer la position $z(t)$ d'une masse lancée, depuis le sol, à une vitesse verticale de $10\,\mathrm{m/s}$, les frottements de l'air étant négligés.

— **En thermodynamique** : connaître le modèle et la formule des gaz parfaits ($PV = nRT$), savoir définir le travail d'une force, l'énergie interne d'un système.

— **Sur les ondes :** savoir ce qu'est une onde, connaître des exemples, savoir ce qu'est le phénomène d'interférence.

— **En optique :** Savoir ce qu'est une lentille, connaître la relation de conjugaison au centre des lentilles minces.
Exercice type : Savoir réaliser un tracé d'optique avec une unique lentille.

— **En électricité :** Savoir ce qu'est l'intensité d'un courant électrique, la tension électrique, un résistor, un condensateur, la loi des mailles, la loi des nœuds.
Exercice type : Déterminer l'équation différentielle d'un circuit RC série.

Attention

Beaucoup de programmation Python vous sera demandée dans l'année. Il est important d'avoir une connaissance rudimentaire de ce langage : définir une variable, réaliser une boucle, définir une fonction, tracer un graphe. Les éléments scientifiques eux, seront étudiés en cours d'année.

B Petit questionnaire de physique

Testez vos connaissances en répondant correctement aux questions suivantes. Une bonne compréhension des notions vues en Terminale (et avant) sera un atout. Ces questions pourront vous orienter vers des points que vous avez peut-être sous-estimés ou mal compris. Les réponses et quelques explications complémentaires se trouvent en fin de document.

1. Si vous avez des questions vous pouvez me contacter – même pendant les vacances d'été – par mail, à l'adresse suivante : prof.franco@pm.me,

Si par ailleurs vous constatez ce qui vous semble être une erreur dans ce polycopié, n'hésitez pas à utiliser ces coordonnées, à condition d'avoir refait vos calculs avant tout de même...

1. En mécanique, pour qu'un corps se déplace, il doit être impérativement soumis à une force. Vrai ou Faux ?
2. On lâche un bille en liège et une bille en plomb de même taille, la première bien plus légère que la deuxième, du sommet d'un immeuble. On les vernis toutes les deux pour qu'elles offrent la même résistance à l'air. Laquelle arrive au sol en premier ?
3. Quelles sont les unités, dans le système international, de la masse, du poids, du volume ?
4. Comment définiriez-vous simplement la longueur d'onde d'une onde quelconque ? Quel lien a-t-elle avec la période ?
5. Quelle est la nature de la lumière ?
6. Comment prouver facilement que la lumière se propage en ligne droite ?
7. Comment convertir facilement des degrés en radians ?
8. Qu'est-ce qu'en pratique qu'un "bon" gaz parfait ?
9. Un enfant fait rouler un yo-yo avec adresse sur une table très lisse. Quelles sont les forces appliquées à ce yo-yo ? Lesquelles ont un travail non-nul ?

II Compendium de techniques utiles

N'ayez crainte, la plupart des notions indispensables à la compréhension des chapitres de votre année de math sup' seront systématiquement rappelées. Il y a cependant plusieurs points techniques, et mathématiques, dont la maîtrise vous aidera grandement.

A Incertitudes expérimentales

Elles seront revues lors des premiers travaux pratiques de l'année. Simplement, il est important de se rappeler que **toutes** les mesures en physique sont faites "à une incertitude près" : la précision et la justesse absolues n'existent pas. On verra même que cela est physiquement impossible d'obtenir une mesure parfaite. Des résultats exprimés sans marge d'erreur, ou avec une précision hallucinante, sont donc à éviter comme les personnes qui toussaient trop fort pendant le confinement.

Pour évaluer l'incertitude qui existe sur une erreur, on a deux solutions :

— répéter l'expérience un grand nombre fois, et réaliser des statistiques détaillées (incertitudes de type A)

— sur une seule expérience, faire la liste des sources possibles d'erreur (variations de températures, lecture difficile d'une mesure, effets de diffraction...) et évaluer "comme on peut" l'erreur qu'ils nous font commettre (incertitudes de type B). Par exemple si l'on doit évaluer la largeur d'une tache lumineuse de diffraction, le "flou" présent aux bords de la tache est une source d'incertitude.

Ces évaluations sont essentielles, car elles permettent de savoir à quel point la mesure que l'on réalise est précise, et fiable. Cela permet également de comparer les résultats de deux expériences différentes, qui peuvent être compatibles même si elles ne donnent pas exactement le même résultat.

B Chiffres significatifs

Rappel

Pour compter le nombre de chiffres significatifs d'un résultat donné, il faut partir du premier chiffre du nombre qui n'est pas zéro (c'est le premier chiffre significatif) et compter les suivants – 0 y compris – même après la virgule[a] La méthode est la même avec les résultats écrits en écriture décimale.

Exemples : $X = 45,890$ *a 5 chiffres significatifs,* $Y = 0,12 \cdot 10^5$ *en a 2.*

a. Ecrire un zéro à la fin d'un nombre en physique signifie que l'on connaît le résultat que l'on écrit jusqu'à la précision de ce chiffre. Ecrire $m = 8,0$ kg c'est dire que m ne vaut pas 7,9 kg ou 8,1 kg.

Quand on écrit le résultat d'une mesure ou d'un calcul en physique, une trop grande précision est de fait inutile, puisqu'une mesure est toujours réalisée à une incertitude près. Admettons que vous deviez mesurer la surface d'un cercle. Vous commencer par mesurer son rayon à la règle : $R = 8,10 \pm 0,10$ cm d'après votre lecture, qui est précise au millimètre près. Le calcul de l'aire se fait avec la formule : $S = \pi R^2$, et votre calculatrice affiche : $S = 206,119894002$ cm^2.[2] Cette écriture n'a pas de sens : puisque vous ne connaissez le rayon du cercle qu'au millimètre près, vous ne pouvez pas affirmer avoir calculé une surface avec une telle précision. La calculatrice donne un résultat mathématique, mais il est faux de dire qu'il est physiquement exact. Le même calcul fait pour un rayon de 8,0 cm donne : $S = 201,0619298297$ cm^2. Le résultat change dès le troisième chiffre : on comprend dès lors que les autres chiffres n'apportent **aucune information**.

Par ailleurs, il est très incommode dans une copie d'écrire des résultats numériques trop longs. Cela mène d'ailleurs facilement à des erreurs de recopie ou pire, d'unité ou de puissance de dix. **Le bon usage des chiffres significatifs est donc également un usage pratique**.

Bien utiliser les chiffres significatifs

La règle pour présenter un résultat est assez facile :

- Quand vous réalisez une mesure directe avec un instrument, vous devez d'abord estimer l'incertitude. Cette incertitude sera écrite avec **deux** chiffres significatifs.

  Dans notre exemple, elle vaut 1,0 mm.

  Le résultat de la mesure sera écrit alors avec assez de chiffre significatifs **pour atteindre la même précision.**

  Dans notre exemple, on écrira $R = 8,10$ *cm. Le résultat est donc écrit ici avec 3 chiffres significatifs.*

  Le nombre de chiffres significatifs reflète **la précision de la mesure** : plus vous avez de chiffres significatifs utiles, plus la mesure est précise.

- Si vous réalisez un calcul à partir de données qui existent : réalisez les calculs avec les données complètes (en utilisant tous les chiffres significatifs possibles) puis écrivez le résultat avec autant de chiffres significatifs que la donnée qui en possède le moins. [a].

  Dans notre exemple, la surface dépend de π *(que l'on connaît parfaitement) et de* R *que l'on connaît avec trois chiffres significatifs. On écrira donc le résultat du calcul avec seulement trois chiffres significatifs, et on arrondira les suivants. Ici, pour* $R = 8,10$ *cm, on écrira :* $S = 206$ cm^2.

a. Par prudence on pourra en rajouter un de plus

Application

Réalisez les calculs suivants et écrivez le résultat en utilisant le bon nombre de chiffres significatifs, d'après les données fournies.

1. $m = 80,0$ *kg,* $g = 9,81$ m.s^{-2}*, calculer* $P = mg$.
2. $R = 60\ \Omega$*,* $I = 2,79$ *A, calculer* $U = RI$.

2. N'oubliez JAMAIS l'unité à la fin d'un calcul ! Un oubli = une place aux concours qui se libère, la vôtre.

3. *$m = 70,0$ kg, $c = 299792458$ m.s^{-1}, calculer $E = mc^2$.*

C Dérivées élémentaires

En physique nous aurons largement l'occasion de dériver des fonctions. La plupart du temps, ce sont des fonctions très simples que l'on a à dériver. Il arrive toutefois régulièrement que l'on ait à dériver des fonctions composées. Je vous réfère à votre cours de mathématique pour plus d'informations.

Les dérivées de fonctions composées

On donne ici une méthode pour dériver facilement une fonction composée, c'est-à-dire une fonction $f(u)$ qui dépend d'une variable $u(t)$ elle même dépendant de la variable t que l'on utilise pour la dérivation. Pour ce faire on adopter la notation "physicienne" de la dérivée d'une fonction f par rapport à la variable x. On note :

$$f'(x) = \frac{df}{dx}$$

Prenons l'exemple de la fonction $g(t) = \cos(\omega t)$. Si l'on pose $x = \omega t$, on voit bien que : $g(t) = \cos(x(t))$. On va maintenant faire un petit tour de passe-passe avec cette dérivée :

$$g'(x(t)) = \frac{dg}{dt} = \frac{dg}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

On intercale dx dans l'expression de la dérivée. La dérivée de g par rapport à t est en fait le produit de la dérivée de g par rapport à x (facile à calculer) et de celle de la dérivée de x par rapport à t (là aussi facile à calculer). On obtient alors ici : $g'(x(t)) = \omega \cdot (-\sin(\omega t))$.

La formule générale étant :

$$g'(x(t)) = x'(t) \cdot g'(x) = \frac{dx}{dt}\frac{dg}{dx}$$

Application

Pour tester vos capacités, dérivez les fonctions suivantes (ω, ϕ et τ sont constants) :

1. *Dériver, en fonction de x : $f(x) = x^2 + 4x + 2$.*
2. *Dériver, en fonction de x : $f(x) = \dfrac{1}{x^2 - 4}$.*
3. *Dériver, en fonction de t : $f(t) = \cos(t)$.*
4. *Dériver, en fonction de t : $f(t) = \sin(\omega t + \phi)$.*
5. *Dériver, en fonction de t : $f(t) = 6e^{-t/\tau}\cos(\omega t)$.*

Attention

Si ces applications vous donnent du fil à retordre, révisez absolument vos exercices sur la dérivation des fonctions.

D Intégrales élémentaires

De la même façon, aucune intégrale en physique ne sera réellement difficile (comparées à celles que vous aurez à calculer en mathématiques !).

Application

Pour tester vos capacités, réalisez les intégrales suivantes :

1. $I = \int_0^{10} f(x)dx$ *avec* $f(x) = x^2 + 4x + 2$.
2. $I = \int_0^{\pi/2} f(t)dt$ *avec* $f(t) = \cos(t)$.
3. $I = \int_a^b g(x)dx$ *avec* $g(x) = \frac{2}{x+3}$.

Attention

Si ces applications vous donnent du fil à retordre, révisez absolument vos exercices sur les intégrales.

E Equation différentielles du premier ordre

Théoriquement vous savez résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants, c'est-à-dire une équation de ce type :

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{RC}u(t) = \frac{E}{RC}$$

avec E, R et C des constantes. Ces calculs seront revus cette année, mais comme ils constituent l'un des ressorts mathématiques les plus délicats de la physique de PCSI, il est bon que vous vous y entraîniez dès cet été. On rappelle la méthode dans l'encadré suivant. En application, résoudre l'équation précédente sachant qu'à $t = 0$, $u(t = 0) = 0$.

Résolution d'une équation différentielle d'ordre 1

On a une équation de la forme :

$$\frac{df}{du}(u) + af(u) = b$$

avec a et b deux réels constants.

1. On détermine une solution particulière de l'équation, c'est-à-dire on trouve une fonction f_0 qui vérifie l'équation ci-dessus. Dans le cas d'une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants, on peut choisir une solution constante. La plus simple ici est $f_p(u) = b/a$. Un conseil : toujours vérifier la validité de la solution !
2. La solution que l'on recherche est alors de la forme :

   $$f(u) = f_p(u) + Ae^{-au}$$

   avec A une constante.
3. Pour déterminer la valeur de A, on utilise une condition initiale ou une condition limite. Par exemple, si l'on connaît $f(0) = f_0$, alors on peut écrire :

   $$f_{tot}(0) = f_p(0) + A$$

   soit ici : $A = -b/a$.
   La solution totale est donc complètement déterminée.

III Solutions

A Problèmes de physique

1. C'est FAUX : c'est ce qu'on appelle principe d'inertie (ou première loi de Newton) : un corps qui possède un mouvement perdure dans ce mouvement jusqu'à ce qu'une force vienne le freiner. Il faut une force pour mettre en mouvement un objet au repos, mais une fois le mouvement acquis, tout roule !
2. Si l'on néglige la résistance de l'air, les deux balles arriveront en même temps : c'est le principe de la chute libre, que vous avez étudiée en terminale. La durée d'une chute libre ne dépend pas de la masse de l'objet. Toutefois, si l'on tient compte de la résistance de l'air, ce n'est plus vrai : la balle la plus lourde tombera plus vite, car elle sera moins facilement freinée par l'air.
3. Dans l'ordre, le kilogramme, le newton, et le mètre cube.
4. Pour une onde quelconque, la longueur d'onde est la distance la plus petite qui sépare (dans l'espace donc) deux points où le signal porté par l'onde a la même valeur. C'est une période spatiale en quelque sorte. Elle est liée à la période temporelle par la relation : $\lambda = cT$ avec c la vitesse de l'onde.
5. La lumière est à la fois une onde (comme le prouvent les expériences de diffraction ou d'interférences par exemple) et une particule (ce qui explique des phénomènes spécifiques que nous verrons cette année).
6. Il suffit d'étudier les ombres des objets.
7. Avec une règle de trois : 180° valent π radian, donc x° valent $x \times \pi/180$ radian.
8. Un "bon" gaz parfait est un gaz pour lequel on peut négliger les interactions entre les particules : donc typiquement un gaz de faible pression. L'air ambiant est généralement considéré comme un gaz parfait.
9. Le yo-yo est soumis à son poids, à la réaction de la table (qui l'empêche de tomber) et à force de tension du fil. Seule cette dernière a un travail non nul car c'est la seule qui transmet de l'énergie (ou en reprend) au système.

B Chiffres significatifs

On ne retiendra pas contre vous le fait que vous n'avez pas pensé aux unités ici, mais c'est mieux d'y faire attention....

1. $P = 785$ N.
2. $U = 170$ V.
3. $E = 6,29 \cdot 10^{18}$ J.

C Dérivées

1. $f'(x) = 2x + 4$.
2. $f'(x) = -\dfrac{2x}{(x^2-4)^2}$
3. $f'(t) = -\sin(t)$.
4. $f'(t) = \omega \cos(\omega t + \phi)$.
5. $f'(t) = -\frac{6}{\tau} e^{-t/\tau} \cos(\omega t) - 6\omega e^{-t/\tau} \sin(\omega t)$.

D Intégrales

1. $I = 553,333333333....$ (primitive de f : $F(x) = \frac{1}{3}x^3 + 2x^2 + 2x$)
2. $I = 1$ (primitive de f : $F(t) = \sin(t)$)
3. $I = 2\ln\left(\frac{b+3}{a+3}\right)$ (primitive de g : $G(x) = 2\ln(x+3)$)

E Equations différentielles

La solution recherchée est : $u(t) = E - Ee^{-\frac{t}{RC}}$.