Retours d'oraux de physique

X et ENS filière MP

Voici quelques exercices obtenus par les retours de mes élèves sur leurs épreuves orales des années passées à l'X et aux ENS. Vous pouvez en faire tout ce que vous voulez mais il peut y avoir des imprécisions ou erreurs d'énoncés. Les exercices, tombés à plusieurs reprises, ne sont précisés qu'une seule fois.

Je n'ai pas noté les années car je les enlève systématiquement pour mes élèves. J'ai laissé quelques commentaires d'élèves...

1/ X

L'espace est divisé en deux : vide et métal parfait. On a sur l'interface plane une charge surfacique $\sigma(x) = \sigma_0 \cos\left(\dfrac{2\pi\, x}{p}\right)$ (p est une constante).

1. Calculer $\overrightarrow{\mathrm{E}}$.
2. Étudier le mouvement d'une particule chargée négativement, pour σ_0 positif, lâchée sans vitesse initiale en z quelconque avec $x = 0$. Stabilité ?

(Examinateur assez sympathique qui laisse patauger au début.)

2/ ENS

Une particule radioactive au centre de l'Univers émet des électrons de manière isotrope dès l'instant $t = 0$. On suppose n (nombre d'électrons émis par unité de temps) et v (vitesse des électrons) constants.

Calculer les champs $\overrightarrow{\mathrm{E}}$ et $\overrightarrow{\mathrm{B}}$. Le théorème de Gauss est-il vérifié ? Pourquoi ?

3/ ENS

Soit une sphère $\mathcal{S}_a$ conductrice reliée à la masse et une seconde sphère $\mathcal{S}_b$ dans son voisinage de charge Q_b. L'ensemble est à l'équilibre électrostatique.

Décrire du mieux possible l'état du système : répartition des charges, potentiel dans l'espace, ...

4/ ENS

Voici deux petites questions indépendantes posées en début d'oral à des candidats.

1. Peut-on retrouver l'équation de jauge de Lorenz à partir des équations de Maxwell ?
2. On modifie l'équation de Maxwell $\mathrm{div}\,\overrightarrow{\mathrm{B}} = 0$ en $\mathrm{div}\,\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mu_0\,\rho_m$ où μ_0 est la perméabilité du vide et ρ_m la densité de charge magnétique. Comment modifier le reste des équations de Maxwell pour que le tout soit cohérent ?

Ajout perso pour rendre la chose plus « fun » : que devient l'équation bilan local d'énergie de Poynting ? L'interpréter et proposer judicieusement une nouvelle forme de force de Lorentz.

5/ ENS

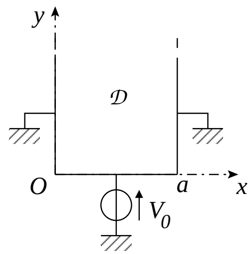
On a 4 électrodes A, B, C, D plantées dans le sol, alignées, séparées deux à deux d'une distance a. Entre A et D circule un courant I permanent. Calculer la tension entre B et C.

6/ ENS

Quelle est la charge électrique maximale supportée par une goutte d'eau ?

7/ X

Le système représenté est infini dans les directions $y > 0$ et Oz. Les plaques $x = 0$ et $x = a$ sont portées au potentiel nul. La plaque définie par $y = 0$ et $0 < x < a$ est au potentiel V_0.



Déterminer la fonction potentiel $\mathrm{V}(x, y, z)$ dans le domaine $\mathcal{D}$ (vide de charge) limité par ces trois plaques sous la forme d'une somme de série (que l'on ne cherchera pas à calculer). On prendra $\mathrm{V}(x, y, z) \xrightarrow[y \to +\infty]{} 0$.

(Examinateur quasi-muet)

8/ X

Soit quatre fils infinis chargés linéiquement λ (constante), parallèles et placés en carré.

1. Champ électrique sur l'axe de symétrie ? Et au voisinage ?
2. Mêmes questions pour des fils finis.

(L'examinateur griffone l'exo puis sort fumer une clope ; assez causant au retour.)

9/ X

On considère un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 accroché verticalement auquel on suspend une masse m. À l'aide d'un générateur idéal de courant, on fait circuler un courant I à partir de l'instant $t = 0$ dans le ressort alors considéré comme un solénoïde (longueur ℓ, N spires) en fermant un interrupteur. Déterminer la (ou les) nouvelle(s) position(s) d'équilibre.

10/ ENS

On donne une structure octaédrique parfaite, portant une charge q à chaque sommet.

1. Quel est le potentiel au centre ? Quel est le champ au centre ? Quel est le champ au voisinage du centre ?
2. On place un dipôle électrique rigide astreint à bouger dans un plan de symétrie de l'octaèdre qui ne contient que deux charges et non pas quatre (le dipôle est supposé toujours parallèle à ce plan). Trouver les positions stables de l'objet près du centre.

11/ X

Soit un fil rectiligne infini parcouru par un courant I constant parallèle à un axe Oz. Cet axe Oz est l'axe médiateur de deux côtés opposés d'un cadre rectangulaire rigide conducteur qui peut tourner sans frottement autour de Oz. Ce cadre a une largeur assez petite pour qu'il ne touche jamais le fil.

Étudier le système, point(s) d'équilibre stable/instable...

(J'ai fait un nombre non négligeable d'erreurs de signes, d'orientations... J'avais l'examinateur qui regarde son ordinateur plutôt que le tableau.)

12/ X

Soit un plan infini, chargé uniformément en surface σ, en mouvement à une vitesse $\overrightarrow{v_0}$ (qui lui est parallèle) constante. Étudier le mouvement d'une charge ponctuelle q placée à côté du plan dans deux référentiels bien choisis. Les résultats sont-ils cohérents ?

13/ X

Soit un champ magnétique dans un domaine vide de charges et de courants :

$$\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}_x(x, y)\,\overrightarrow{e_x} + \mathrm{B}_0\,f(y)\,\cos\left(\frac{2\pi\,x}{a}\right)\,\overrightarrow{e_y}$$

1. Déterminer si B_x et f uniformes est envisageable.
2. On affirme que f admet en 0 un extrémum de valeur 1. Déterminer f.
3. Déterminer B_x et un potentiel vecteur $\overrightarrow{\mathrm{A}}$. Quel « rôle » particulier joue le potentiel vecteur ?

(Au passage, l'examinateur a demandé pourquoi $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\overrightarrow{\mathrm{A}}$...)

14/ X

Étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \dfrac{\mu_0\,\lambda}{4\pi\,r^3}\,\overrightarrow{r}$ où λ est une constante, $\overrightarrow{r} = \overrightarrow{\mathrm{OM}}$ et la vitesse initiale est orthogonale au rayon vecteur initial.

(L'examinateur m'a aidé, notamment en me demandant de m'intéresser à r^2.)

15/ X

Une particule fixe, à l'origine O du repère, a une charge q_1 positive. Une particule mobile, de même masse que la précédente, a une charge q_2 négative. Le tout est dans un champ magnétique $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}\,\overrightarrow{e_z}$ statique uniforme. À $t = 0$, la charge q_2 est en A $(a, 0, 0)$ et sans vitesse.

Caractériser le mouvement de la charge q_2 et montrer qu'il existe un cercle de rayon b dans lequel elle ne peut entrer.

16/ ENS

Un enfant sur une balançoire peut-il faire un tour complet en amplifiant son mouvement de lui-même ?

17/ X

On modélise une molécule par deux particules de masses m_+ et m_- et charges $+\delta$ et $-\delta$ reliées par un ressort (raideur k, longueur à vide ℓ_0). Elle est placée dans le vide à proximité d'un plan infini uniformément chargé σ (constante) ; l'autre côté du plan est un conducteur parfait.

1. Étudier les positions stationnaires du système.
2. Étudier la stabilité de « la » position d'équilibre proposée (par le candidat).

(Examinateur peu causant mais pas méprisant, ni muet. Pose des questions quand le candidat se trompe ou bloque.)

18/ X

On attache l'extrémité d'un ressort à un point C fixe et, à l'autre extrémité, on accroche une masse m. On étudie les petits mouvements dans le plan $x\mathrm{O}z$ de ce pendule élastique.

1. Établir un système différentiel comportant des équations de la forme
$$\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} + {\omega_1}^2\, z = \lambda_1\, x\, z$$
$$\frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2} + {\omega_2}^2\, z = \lambda_2\, x^2$$
2. Chercher des modes propres.
3. Autre question non précisée...
4. À la fin, des questions de sens physique dont la suivante : quelles auraient été les difficultés dans la résolution du système et leur cause ?

(L'erreur d'énoncé (laissée bien sûr dans cette retranscription...) a énormément déstabilisé le candidat, d'autant plus que l'examinateur ne disait pas grand chose (mais a quand même fini par confirmer l'erreur) !)

19/ ENS

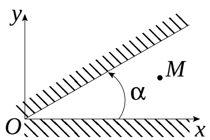
On aligne régulièrement des dominos dans le but de déclencher un chute successive de ceux-ci en poussant le premier. Quelle force appliquer sur le premier domino, et où, pour provoquer la chute de N dominos ? Préciser le rôle de l'espacement des dominos.

20/ ENS

Le jour terrestre s'allonge de 2 ms par siècle.

1. De combien s'allonge la distance Terre-Lune dans le même temps ?
2. Calculer la puissance dissipée par les marées.

21/ X



Soit une particule M de masse m confinée entre deux plans formant un dièdre (voir figure). On suppose que les chocs de la particule avec la paroi sont élastiques, sans frottement. De plus, la particule est attirée vers O par une force d'énergie potentielle $\mathrm{E}_p = -\mathrm{C}/r^3$. Les conditions initiales sont $x = \mathrm{R}$, $y = 0$, $v_x < 0$ et $v_y \neq 0$. Étudier le mouvement de la particule.

22/ X

On prend une palette (un cube de côté a) qu'on accroche à un ressort horizontal (fixé à une hauteur h du sol horizontal à la palette). On tire l'autre bout du ressort à la vitesse U pour tracter la palette. On suppose que les coefficients de frottement respectent une loi affine $f(v_g)$ où $f(0) = f_s$ et $f(v_m) = f_m < f_s$ (v_g vitesse de glissement).

1. Condition de glissement sans basculement (en faisant intervenir la traction T du ressort sur la palette). On suppose la condition réalisée par la suite.
2. Définir un régime permanent de traction et étudier sa stabilité du régime permanent.
3. Traiter les cas $v_g \leqslant \mathrm{U}$.

(J'ai rien fait... pour la 1., j'me doutais que ça dépendait de h. L'examinateur n'a rien dit pendant 30 minutes, puis m'a dit de passer à la question 2. où j'ai été incapable de mettre en équation et la 3., euh...)

23/ X

Un aventurier de masse M enroule son fouet sur une branche d'arbre cylindrique horizontale (coefficient de frottement du fouet sur l'arbre $f = 0,3$). L'aventurier peut-il passer d'un côté à l'autre d'un ravin en pendulant sachant que le nombre d'enroulements est $n = 4,5$?

(Examinateur les yeux rivés sur son ordinateur. Ajout concernant Indiana Jones : « Dans la grotte, Indiana Jones est poursuivi par les sbires de Shiva. Il se retrouve coincé par un précipice enflammé. Il dégaine son fouet, avise une poutre et fait claquer le fouet. Celui-ci s'enroule autour de la poutre et notre héros au Fedora s'envole dans les airs et se retrouve de l'autre côté du précipice, sain et sauf. Une petite secousse et le fouet est dégagé. »)

24/ ENS

Une tour s'écroule verticalement. Estimer la valeur maximale de la force sur le sol.

25/ ENS

On considère un ressort massique vertical, à spires non jointives, en chute libre. Il touche alors le sol. Pendant combien de temps reste-t-il au contact du sol avant de rebondir ?

(Examinateur quasi-muet ; il faut proposer ses modèles de calcul de durée de contact...)

26/ X

Il faut 100 cv pour maintenir un hélicoptère donné en l'air. Quelle puissance faut-il pour un hélicoptère 10 fois plus petit ?

27/ X

Soient deux cordes horizontales infinies, non extensibles, parallèles dans le plan vertical de même masse linéique λ et de même tension T (les deux cordes sont tendues identiquement). Les deux cordes sont reliées entre elles : on modélise cette liaison par des câbles verticaux assimilés à des ressorts identiques répartis continûment.

À l'équilibre, on note d la distance entre les deux cordes. On note $\mathrm{Z}_1(x, t)$ et $\mathrm{Z}_2(x, t)$ le déplacement des deux cordes à l'abscisse x et à l'instant t par rapport à leur position d'équilibre.

1. Modéliser la force de rappel entre les deux cordes.
2. Déterminer les équations du mouvement en effectuant les approximations jugées utiles ; on pourra poser $c^2 = \mathrm{T}/\lambda$.
3. Discuter les modes propres ondulatoires.
4. Vitesses de phase et de groupe des modes précédents ?

28/ ENS

- Avez-vous déjà joué au billard ?
- *Oui, un peu.*
- Vous savez quelle est la géométrie de la bande d'un billard ?
- *Euh...*
- Elle forme un coin de hauteur h (au dessus du tapis) sur lequel la boule rebondit. Quelle relation existe-t-il entre h et le rayon a d'une boule pour un bon billard ?

(Indication : songez à ce que la bande d'un bon billard doit donner si la boule vient frapper la bande orthogonalement... De plus, on admettra dans le modèle que l'action du coin sur la boule au contact est un glisseur horizontal.)

29/ ENS

L'examinateur prend une longue tige de bois sur le bureau. Il pose les extrémités sur ses deux index tendus. Il maintient l'index gauche fixe et fait glisser progressivement son index droit vers la gauche. Et il dit un truc du genre : « Tiens, mes deux index se rejoignent au milieu de la barre ! Vous pourriez m'expliquer cela ? Vous avez le droit de refaire l'expérience vous-même ».

(*Examinateur très sympathique et posant des questions dans tous les sens (période de rotation de la Lune sur elle-même ? Mesure de la hauteur de la Tour Montparnasse ? Comment rendre un objet invisible ? Vitesse du son dans l'air ? Et dans l'eau ?...)*)

30/ X

Étudier la chute d'une craie (initialement en équilibre vertical sur la table) poussée légèrement du doigt. La craie est assimilée à une tige de rayon nul. Glissement ? Pour quel angle ? Dans quel sens ?

31/ X

À $t = 0$, on gèle la Terre. Déterminer l'ordre de grandeur du temps caractéristique d'évolution du champ magnétique terrestre.

(*Longue discussion de départ sur l'origine du champ magnétique terrestre, sur les notions de courants de convection et de diffusion ; j'ai eu un peu de mal dans les calculs d'ordre de grandeur et il m'a fait calculer la conductivité dans le cuivre pour utiliser une valeur 100 fois plus faible dans le noyau de la Terre.*)

32/ ENS

On considère 10 fils très longs dans un même plan, parallèles et équidistants deux à deux de la distance p. Ces fils sont parcourus par un courant caractérisé par la relation $\underline{\mathrm{I}} = j\, e^{i\omega t}$ en notation complexe.

Calculer le champ magnétique créé en un point situé loin de la source par cette distribution de courants. Intérêt ?

33/ X

Soit une cheminée qui bascule. Montrer qu'elle a plus de chance de se casser au tiers de sa hauteur depuis sa base.

(*Le point de base de la cheminée, sur le sol, ne bouge pas par rapport à celui-ci bien sûr...*)

34/ ENS

On considère les équations de Maxwell dont deux sont modifiées comme suit :

$$\mathrm{div}\,\overrightarrow{\mathrm{E}} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} - \eta^2\,\mathrm{V} \qquad \text{et} \qquad \overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mu_0\,\overrightarrow{j} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \overrightarrow{\mathrm{E}}}{\partial t} - \eta^2\,\overrightarrow{\mathrm{A}}$$

V et $\overrightarrow{\mathrm{A}}$ sont les potentiels scalaire et vecteur et η est un paramètre strictement positif. On analyse avec ça l'explosion d'une supernova à 10^3 années-lumière pour laquelle on a pu mesurer deux ondes de longueurs d'onde respectives $0,4\ \mu$m et $0,8\ \mu$m : l'intervalle de temps séparant l'arrivée de ces deux ondes était inférieur à 1 ms.

1. Obtenir un majorant de η.
2. On admet que $\eta = \dfrac{m_\gamma\, c}{\hbar}$ où m_γ est une masse hypothétique du photon (donnant les équations de Maxwell modifiées précédentes). Obtenir un majorant de m_γ.
3. Calculer, dans le cadre des équations de Maxwell modifiées, le champ électrostatique $\overrightarrow{\mathrm{E}}$ produit par une sphère creuse de rayon R chargée uniformément en surface Q portée au potentiel V_0. En déduire V_0 en fonction de ε_0, Q, R et η. Intérêt du résultat ?

35/ X

On considère une lame à faces parallèles d'épaisseur d, de normale (Oz), et de structure cristalline telle qu'elle présente deux indices de réfraction : n_x (resp. n_y) pour une onde polarisée rectilignement suivant (Ox) (resp. (Oy)). Le trièdre (Oxyz) est direct et droit.

Cette lame est utilisée dans le dispositif suivant, d'axe optique (Oz) : polariseur faisant un angle α avec (Ox) suivi de la lame, suivie d'un polariseur faisant un angle β avec (Ox). Le tout est éclairé par une lumière naturelle monochromatique.

1. Calculer le déphasage ϕ introduit par la lame entre les composantes sur $\overrightarrow{e_x}$ et $\overrightarrow{e_y}$.
2. Calculer $\mathrm{I}(\alpha, \beta, \phi)$.
3. Analogie ?
4. Quel est l'intérêt d'un tel dispositif ?
5. Quel est l'intérêt du polariseur d'angle β utilisé en sortie ?

(*L'examinateur se contente de donner la feuille et reste muet... ce qui s'avère relativement déstabilisant.*)

36/ X

Deux mobiles ponctuels de masses respectives M et m sont reliés par un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0. L'ensemble ne bouge que dans une seule direction. La masse m porte la charge δ et M porte la charge $-\delta$. Le système est initialement à l'équilibre.

On envoie une oppm se propageant orthogonalement à la direction (Mm) et polarisée rectilignement selon (Mm).

Décrire l'évolution du système. Ceci modélise quoi ?

37/ ENS

« L'examinateur m'a fait travailler sur les relations de réflexion et de réfraction de Descartes... savoir quand il y avait un rayon réfracté (histoire d'angles complexes, d'onde évanescente au-delà de l'angle limite)... »

38/ ENS

1. Que savez-vous de la lumière ?
2. L'interféromètre de Fabry-Pérot : vu en TD.

39/ ENS

On considère N marches d'escalier réfléchissantes (largeur a et hauteur b pour chaque marche). Des ondes monochromatiques arrivent sur ces marches en incidence verticale.

1. Calculer pour un angle θ donné l'intensité diffractée à l'infini par ces marches.
2. Dessiner cette intensité.
3. À quoi ce truc peut-il servir ?

40/ X

On calorifuge une barre cylindrique latéralement, sauf à ses extrémités où on lui applique avec des thermostats les températures respectives T_1 et T_2.

1. Calculer $\mathrm{T}(x)$ en régime permanent (origine des x au milieu de la barre).
2. On remplace instantanément les thermostats T_1 et T_2 par de l'isolant thermique. Que fait le système ? Variation d'entropie $\Delta\mathrm{S}$? Commenter le signe.

41/ X

1. Rappeler le profil de densité de l'atmosphère isotherme.
2. On déplace un petit volume d'air depuis sa position d'équilibre. Étudier le mouvement.
3. On observe des nuages sous le vent des montagnes (nuages lenticulaires). Donner un ordre de grandeur de l'extension caractéristique horizontale après avoir expliqué le phénomène (voir photo).

(*Examinateur poli mais muet ; deux ou trois phrases pendant toute l'épreuve.*)

42/ ENS

Expliquer l'apparition de bulles lorsqu'on ouvre une bouteille de champagne.

(*Question de cours sur la démonstration de la formule de l'intensité diffractée par un réseau : j'étais complètement à la masse (cours d'optique trop loin)...*)

43/ X

Soit un système de N particules de masses m. On définit le viriel par $V = \sum_i \overrightarrow{r_i}.\overrightarrow{f_i}$ où $\overrightarrow{r_i}$ est le vecteur position de la i^e particule sur laquelle la résultante des forces est $\overrightarrow{f_i}$.

1. Trouver un lien entre les moyennes temporelles $\langle V \rangle$ et $\langle E_c \rangle$ (où E_c est l'énergie cinétique totale du système.
2. Pour un gaz à l'équilibre thermodynamique dans une enceinte, on néglige les chocs entre particules. Exprimer, en utilisant la question précédente, la pression p en fonction de n (nombre de particules par unité de volume) et v_c (vitesse quadratique moyenne).
3. Retrouver la loi des gaz parfaits.

44/ ENS

On laisse une voiture en plein soleil : exprimer la température fonction du temps.

45/ X

On a un récipient parallélépipèdique horizontal calorifugé séparé en deux compartiments (n°1 à gauche et n°2 à droite) par un piston non calorifugé. Les compartiments contiennent des gaz parfaits. Compartiment 1 au départ : $2\,P_0$, V_0, T_0, n_1 ; compartiment 2 au départ : P_0, V_0, T_0, n_2. Le piston est maintenu pour qu'il en soit ainsi ; ensuite, il est relaché.

1. Déterminer l'état final.
2. Calculer la variation d'entropie de l'ensemble.
3. Suite non connue, non abordée par le candidat.

(Oral auquel à assisté votre professeur ; l'examinateur ne disait rien (sauf « poursuivez » alors que tout était faux) et avait les yeux rivés sur son PC relié au réseau...)

46/ ENS

On considère un fil électrique rectiligne de longueur $\ell = 1$ m et de rayon $r = 1$ mm soumis à une d.d.p. U et parcouru par un courant I. Les transferts thermiques se font par convection avec l'atmosphère à la température $T_0 = 298$ K.

Déterminer en régime permanent la caractéristique $I = f(U)$ et discuter.

On donne la résistivité du cuivre $\rho_0 = 1,72.10^{-8}$ Ω.m à T_0, le coefficient de résistivité $\dfrac{d \ln \rho(T)}{dT} = \alpha \simeq 10^{-7}$ K^{-1} et le coefficient pariétal $h = 10$ W.K^{-1}.m^{-2}.

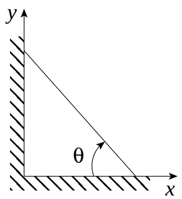
47/ ENS

Soit une cuve parallélépipèdique de longueur L selon un axe Ox et de section S dans un plan perpendiculaire à Ox. Les parois $x = 0$ et $x = L$ sont deux électrodes inertes chimiquement de forme rectangulaire (surface S bien sûr). La cuve contient initialement une solution aqueuse de densité numérique n_0 en chlorure de sodium. On applique entre les deux armatures une ddp V_0 (l'armature $x = 0$ étant à la masse).

1. Que se passe-t-il ?
2. Quelle est la conductivité dans la solution ?
3. Préciser l'évolution du potentiel dans la solution (sous hypothèse à préciser).
4. Calculer la répartition en régime permanent des densités numériques des ions majoritaires.
5. À quoi font penser ces formes de résultats ? En déduire des relations (dites relations d'Einstein).

(L'examinateur faisait des vocalises en salle des professeurs, puis il est arrivé en tongues. Je me suis dit « c'est pas lui »... Et si !!)

48/ X



Soit une barre homogène de longueur 2ℓ, de résistance R, de masse m glissant sans frottements sur un sol et contre un mur qui sont des conducteurs parfaits connectés. Il règne un champ magnétique uniforme constant $\overrightarrow{B} = B\,\overrightarrow{e_z}$.

Déterminer l'équation différentielle vérifiée par θ. Commenter.