

Physique pour tous

Examen (2h)

Avertissements : *Pas de panique, le sujet est très long, c'est normal. Répondez aux questions dans l'ordre que vous voulez. Il est interdit d'essayer de m'enfumer avec de la dialectique de comptoir ou de tenter de camoufler son ignorance dans d'innombrables circonlocutions d'entropie maximale : il existe des réponses objectivement correctes et relativement courtes à toutes les questions de ce test. –pas de documents–*

Indiquez sur votre copie votre filière d'origine (AL-BL-Fac, Bac L-S-ES-pro-stg-whatever, ou autre pour ceux qui ont fait leur scolarité hors de la France).

1 Questions rapides

1.1 Vrai ou Faux

Répondez «vrai» ou «faux» sans justification. Faites attention à la formulation qui peut cacher quelques menues feintes et subtilités.

1. On lâche simultanément une bille de plomb et une feuille de papier 1m au dessus du sol sur la Lune qui n'a pas d'atmosphère. Les deux objets touchent le sol simultanément (dans le référentiel de la Terre).
2. Le référentiel attaché à la surface de la Terre n'est qu'imparfaitement galiléen parce que la Terre tourne.
3. On tire une fusée parfaitement à la verticale du sol sur Terre, sa trajectoire reste perpendiculaire au sol, si elle est suffisamment puissante elle finira en orbite autour de la Terre. (On néglige la rotation de la Terre.)
4. Le temps propre le long d'une ligne d'univers dépend du référentiel dans lequel il est calculé : il est «relatif».
5. Si je mesure avec une règle la longueur de deux lignes d'univers sur un dessin et que je trouve la même valeur, alors les temps propres qui s'écoulent pour deux voyageurs suivant ces lignes d'univers sont les mêmes.
6. La contraction des distances en relativité restreinte est un effet d'optique qui vient simplement du fait que la lumière émise (ou réfléchi) par un objet en mouvement met un certain temps à nous atteindre en raison de sa vitesse finie c .
7. La relativité dit que toutes les ondes se comportent comme la lumière avec une vitesse indépendante du référentiel.
8. J'ai un jumeau sur Terre (et qui y reste), je possède un vaisseau qui peut aller arbitrairement vite. Je peux exploiter la relativité restreinte pour qu'à mon retour mon jumeau resté fixe sur Terre soit 1 an plus jeune que moi.
9. Le nombre d'atomes dans un verre d'eau est environ du même ordre (à un facteur 1000 près) que le nombre de grains de sable sur la plage de la Baule.
10. L'entropie est une quantité intensive
11. Je dispose un mur exactement au milieu de la pièce de sorte qu'en moyenne il y a autant de particules de chaque côté. Si je ne regarde pas la moyenne mais ce qui se

passé à un instant donné, il est probable qu'il y ait typiquement 1% de molécules de diazote (constituant principal de l'air) en plus d'un des deux côtés du mur.

12. Le modèle du Big Bang nécessite de faire l'hypothèse que l'univers est (au moins approximativement) homogène et isotrope.
13. Le modèle du Big Bang prend pour hypothèse que l'univers a d'abord été très concentré et en tire les conséquences pour son évolution ultérieure jusqu'à aujourd'hui.
14. Je tombe dans un trou noir, je m'approche de l'horizon sans jamais le toucher.
15. Je tombe dans un trou noir, des observateurs éloignés me voient approcher l'horizon sans jamais le toucher.
16. La pluie qui tombe possède un caractère ondulatoire.
17. Une onde, parce qu'elle n'est pas un corpuscule, peut se propager plus vite que la lumière dans le vide.
18. Une onde peut transporter de l'information mais pas d'énergie
19. L'équation de Schrödinger n'est pas déterministe.
20. Si le formalisme de la mécanique quantique orthodoxe est correct (dans le sens que toutes les prédictions expérimentales qu'il fait s'avèrent in-fine correctes) alors la Nature est nécessairement *intrinsèquement* aléatoire.
21. Deux interprétations de la mécanique quantique avec des *ontologies* différentes sont nécessairement *empiriquement* différentes.
22. La non-localité au sens de la mécanique quantique ne permet pas la transmission d'information.

1.2 En quelques phrases

Répondez aux questions suivantes de la manière la plus précise possible en quelques phrases.

1. Je suis au milieu de l'espace, dans ma combinaison d'astronaute, bloqué à 10 m de mon vaisseau qui flotte lui aussi au milieu du vide sans aucune vitesse relative par rapport à moi. Je possède un sac dans lequel il y a tous les livres des Bogdanov. Puis-je rejoindre le vaisseau ? Si oui comment ?
2. Quelle est la définition du *temps propre* ? (Vous pouvez, même si c'est facultatif, vous aider de dessins et de formules)
3. Que dit le postulat la mesure (numéro 3) en mécanique quantique ?

2 Exercices

Les trois exercices sont indépendants.

2.1 Parachutistes

On s'intéresse au problème de la chute libre de deux parachutistes de masse m_1 et m_2 ($m_1 < m_2$, [1] est maigrichon et [2] en léger sur-poids). On rappelle que la Terre exerce une force de pesanteur de module mg où g est une constante et m la masse du corps considéré. On suppose que la force de frottements qui s'applique sur un corps en chute libre vaut $f = kSv^2$ où S est la surface exposée du corps, v sa vitesse et k une constante. On note enfin $h(t)$ la hauteur d'un parachutiste en fonction du temps.

Ce problème ne demande pas de faire de vrais calculs mais demande d'écrire une équation puis de la simplifier. Ne vous focalisez pas là dessus, essayez de réfléchir à la situation physique : il vaut mieux essayer d'intuiter la réponse avant de regarder comment le formalisme permet de la justifier. Au pire, on peut répondre aux questions 2,3,5 uniquement avec des phrases juste en réfléchissant un peu.

1. Écrire le principe fondamental de la dynamique pour un des deux parachutiste, c'est à dire l'équation qui relie accélération et forces extérieures (ici pesanteur et frottements). On écrira le principe de manière *scalaire*, c'est à dire sans vecteurs, sans flèche, en projetant toutes les quantités sur la verticale. Attention donc aux signes !
2. On s'intéresse maintenant au **tout début** de la chute. Quel terme peut on alors négliger dans l'équation précédente ?
3. Toujours au **tout début** de la chute, que peut-on dire de la vitesse relative approximative entre les deux parachutistes ?
4. On considère désormais qu'un temps long s'est écoulé et que les parachutistes ont atteint leur vitesse maximale. Comment se simplifie dans ce cas l'équation de la question 1 ?
5. Que peut-on dire dans ce cas de la vitesse relative des deux parachutistes si on suppose que leur surface exposée est identique ($S_1 = S_2 = S$) ?
6. En réalité, le parachutiste le plus lourd a aussi plus de surface exposée. En supposant que les parachutistes sont des cubes de densité uniforme, exprimer le ratio de leur masse $\frac{m_1}{m_2}$ en fonction du ratio de leur surface $\frac{S_1}{S_2}$.
7. Finalement, lequel des parachutistes tombe le plus vite aux temps longs ?

2.2 Quelques voyages

A— Roméo et Juliette s'éloignent. Deux explorateurs, Roméo et Juliette, partent tous les deux de la Terre au temps $t = 0$, chacun de leur vaisseau dans des directions opposées à vitesse v . Pour simplifier on suppose qu'il n'y a qu'une dimension. Roméo part vers les x décroissants et Juliette vers les x croissants.

1. Sur un diagramme temps-espace dans le référentiel de la Terre, dessinez les lignes d'univers (fléchées) de Roméo et Juliette (pour les temps négatifs et positifs).
2. On suppose que Roméo et Juliette s'envoient des messages à l'aide d'ondes électromagnétiques. Roméo envoie en premier, puis Juliette répond une fois qu'elle a reçu le message, puis Roméo répond de nouveau. Dessiner les lignes d'univers de ces trois messages.
3. On considère un instant aux temps positifs (disons $t = 1$) pris dans le référentiel de la Terre. Dessinez la ligne correspondant à cet instant.
4. La ligne $t = 1$ croise les lignes d'univers de Roméo et Juliette. Dessinez le cône de lumière en chacun de ces deux points d'intersection.
5. À l'instant $t = 1$ dans quelle position temporelle relative Roméo et Juliette sont-ils l'un par rapport à l'autre ?
6. Cela dit-il quelque chose sur le fait que que Roméo et Juliette puissent communiquer à l'avenir ?

B— Voyager sans vieillir. On considère une étoile à la distance fixe de 60 années lumières de la Terre. On suppose qu'il ne reste à un voyageur que quelques années à vivre (disons 5). *Faites les dessins qui suivent à la louche, sans calculer précisément les distances, on doit pouvoir savoir en un coup d'oeil si la proposition est crédible.*

1. Sur un diagramme d'espace temps dans le référentiel de la Terre, dessinez les lignes d'univers de la Terre et de l'étoile.
2. Dessinez, si c'est possible, la ligne d'univers d'un vaisseau allant de la Terre à l'étoile telle que le voyageur ne survive pas au voyage car il est trop long.
3. Dessinez, si c'est possible, la ligne d'univers d'un vaisseau allant de la Terre à l'étoile telle que le voyageur survive au voyage et qu'il se soit écoulé moins de 100 ans sur l'étoile.
4. Dessinez, si c'est possible, la ligne d'univers d'un vaisseau allant de la Terre à l'étoile telle qu'il se soit écoulé 200 ans sur l'étoile quand le voyageur arrive mais qu'il survive au voyage.

2.3 Problème de mélange

On considère une grande boîte séparée en deux compartiment. Le premier compartiment contient un très grand nombre de petites billes noires (disons $N \simeq 10^{10}$), le second contient le même nombre de billes blanches. Il n'y a aucun frottement, aucune perte d'énergie et les billes ont chacune une vitesse initiale non nulle. De loin on voit donc les billes s'agiter un peu dans tous les sens dans chaque compartiment sans que jamais le mouvement ne s'arrête (conservation de l'énergie cinétique). On suppose que le volume total occupé par les $2N$ billes est extrêmement faible devant le volume accessible des deux compartiments. On aimerait savoir ce qui va se passer lorsque l'on va enlever la paroi séparant les deux compartiments.

1. Sans parler de l'inutilité d'une telle entreprise, pour quelles raisons serait il difficile de prévoir l'état futur du système de $2N$ billes en fonction de son état initial (c'est à dire de la donnée de toutes les vitesses et positions initiales de chaque bille) ?
2. Dans cette situation, on appelle micro-état la donnée du nombre de billes blanches et de billes noires dans chaque compartiment ¹. Pour $N = 1$ puis $N = 2$, compter le nombre de micro-états et les dessiner ².
3. Que peut-on dire a priori, sans information supplémentaire sur la dynamique, de la probabilité relative des différents micro-états ? Quelle hypothèse raisonnable peut-on faire ?
4. On s'intéresse désormais au macro-état $\mu =$ «fraction du nombre de billes noires à gauche» :

$$\mu = \frac{\text{Nombre de billes noires à gauche}}{\text{Nombre total de billes à gauche}}$$

5. Quels sont les macro-états possibles dans le cas $N = 2$. Quelle est leur probabilité ? Lequel est le plus probable ?
6. Pour N grand, quel sera le macro-état d'entropie maximale ?
7. Initialement $\mu = 0$, le compartiment gauche ne contient que des billes noires. Comment évolue μ grossièrement en fonction du temps à partir du moment où on retire la paroi ? Pourquoi ?
8. Si l'on regarde en détail l'évolution de μ en fonction du temps (i.e. avec une précision à une ou deux billes près), est-ce que l'évolution prédite à la question précédente est toujours vérifiée ?
9. On met en contact deux compartiments contenant du lait chaud et du café chaud. On ne mélange pas activement, i.e. on ne remue pas. Que se passe-t-il ? Intuitivement, quelle influence possède la température ?



1. En fait, on peut se contenter de donner le nombre de billes blanches et de billes noires dans le compartiment de gauche, le nombre de droite se déduisant par conservation du nombre total de billes de chaque couleur.

2. Pour ne pas se tromper, on peut attribuer une lettre ou un chiffre à chaque bille.