IF.1204 - Sciences du numérique QCM du 27 janvier 2021

Les questions nécessitant un calcul sont marquées avec le symbole



On prendra comme valeur de la constante universelle $c: 3 \cdot 10^8 \, \text{m.s}^{-1}$.

On prendra comme valeur de l'accélération de la gravité à la surface de la Terre g : 10 m.s⁻².

Pour chaque question de ce QCM, il y a une seule réponse correcte à identifier.

Physique galiléo-newtonienne

Question 1 La traversée

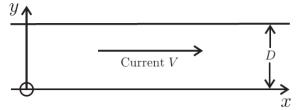


Un bateau traverse la rivière ci-dessus à la vitesse U (constante), avec une direction perpendiculaire au courant. La vitesse du courant est V et est constante.

On prendra les valeurs D = 10 mètres, U = 0.5 m.s^{-1} , V = 2 m.s^{-1} .

La dérive du bateau le long de l'axe des x vaut :

- A. 10 mètres.
- B. 20 mètres.
- C. 30 mètres.
- D. 40 mètres.



La méthode la plus simple est de se placer dans le référentiel du courant. Le principe de relativité nous permet d'affirmer que le mouvement du courant est « comme rien ».

Le temps mis pour aller d'une rive à l'autre ne dépend pas du référentiel inertiel considéré (la rive ou le courant).

Dans le référentiel du courant, le trajet est une ligne droite verticale d'un point à l'autre de la rive. Le temps mis est donc D/U. La dérive le long de l'axe des x sera donc V*D/U, donc 40 mètres.

Une autre méthode consiste à étudier la trajectoire vue de la rive. On arrive bien sûr au même résultat mais c'est plus compliqué. Voir ci-dessous.

> Choose x- and y-axes fixed relative to the banks as shown, and let the boat start at the origin O. The velocity (\dot{x}, \dot{y}) of the boat relative to these axes is the vector sum of its velocity relative to the water and the velocity of the water relative to the axes:

$$\dot{x} = V$$
 and $\dot{y} = u$. (1)

Consequently, udx = Vdy. Now u is a constant, and therefore the path of the boat relative to the banks is given by

$$x = \frac{1}{u} \int_{0}^{y(x)} V dy. \qquad (2)$$

(a) If
$$V = V_0$$
, then
 $x = V_0 y/u$. (3)

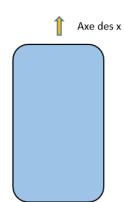
The boat travels in a straight line relative to the x- and y-axes, and reaches the opposite bank at $x = V_0 D/u$.

Question 2 Petite expérience avec les accéléromètres du smartphone

Vous posez à plat votre smartphone sur une table. Vous donnez une impulsion brève parallèle à la table à votre smartphone le long de l'axe x. L'axe z est celui perpendiculaire au plan de la table.

Entre le début du mouvement et l'arrêt du smartphone sur la table :

- A. Les accéléromètres à bord du smartphone mesurent une accélération suivie d'une décélération pour l'axe x, 0 g pour l'axe y, 1 g pour l'axe z.
- B. Les accéléromètres à bord du smartphone mesurent une accélération suivie d'une décélération pour l'axe x, 0 g pour l'axe y, 0 g pour l'axe z.
- C. Les accéléromètres à bord du smartphone mesurent une accélération pour l'axe x, 0 g pour l'axe y, 1 g pour l'axe z.
- D. Les accéléromètres à bord du smartphone mesurent une accélération pour l'axe x, 0 g pour l'axe y, 0 g pour l'axe z.

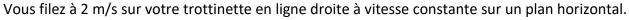


L'accéléromètre à bord du smartphone ne mesure jamais l'accélération gravitationnelle car Galilée nous a appris que lorsqu'un corps n'est soumis qu'à la seule gravitation, il est en chute libre et tout ce qui tombe avec lui est accéléré de la même façon, d'où un état d'impesanteur. Lorsqu'un smartphone est posé sur une table, l'accéléromètre pour l'axe vertical mesure 1 g, car

il mesure l'effet de la force de réaction du support (sans le support, il mesurerait 0 g car ce serait la chute libre, abstraction faite de la résistance légère de l'air).

L'accélération et la décélération mesurées pour l'axe x correspondent respectivement à l'impulsion initiale donnée au smartphone et à la friction exercée par la table qui freine le smartphone jusqu'à l'immobiliser.

Question 3 Le lancer de smartphone depuis le sol



Vous lancez votre smartphone verticalement vers le haut avec une vitesse initiale v_0 = 5 m/s. On néglige les effets dus à la résistance de l'air.

Quel temps faut-il au smartphone pour revenir dans vos mains?

- A. 1 seconde. B. 2 secondes. C. 3 secondes.
- D. La question n'a pas de sens puisque le smartphone ne reviendra pas dans vos mains (la trottinette s'étant déplacée depuis le lancer).

Corrigé : On écrit qu'il y a « chute libre » durant la montée, donc : $\gamma = -g$

Ensuite on intègre : $v = -gt + v_0$

L'instant où le smartphone s'immobilise avant de redescendre est donné par $t=rac{v_0}{g}=0.5~s$

D'où, en intégrant, $h = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t = \frac{v_0^2}{2g} = 1.25 m$

Le temps pris pour la descente est $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.5 \ s$

Donc il faut **une seconde** pour l'aller-retour du smartphone. La vitesse de la trottinette n'importe pas car, selon le principe de relativité, le constat sera le même, que la trottinette soit « au repos » ou en mouvement.

Question 4 L'origine des marées terrestres

Les marées terrestres ont pour origine principale :

- A. Le gradient gravitationnel en 1/r³ exercé par la Lune.
- B. La force de gravitation en $1/r^2$ exercée par la Lune.
- C. Le gradient gravitationnel en 1/r³ exercé par le Soleil.
- D. La force de gravitation en 1/r² exercée par le Soleil.

Voir le cours.

Question 5 La force de Coriolis

Si vous lâchez une bille depuis une hauteur d'une cinquantaine de mètres, en l'absence de vent, vous constaterez une légère déviation vers l'est due à la force de Coriolis. Cet effet sera maximal à l'équateur :

A. Vrai

B. Faux.

C'est la force de Coriolis pour les mouvements de chute libre. Nulle au pôle et maximale à l'équateur.

A ne pas confondre avec la force de Coriolis subie par un pendule de Foucault (le mouvement n'a pas lieu selon le même axe) : nulle à l'équateur et maximale au pôle. Voir le cours.

Question 6 Le gros camion et la petite voiture

Lorsqu'un gros camion pousse une petite voiture avec une force donnée, la petite voiture exerce une force égale et opposée sur le gros camion.

A. Vrai.

B. Faux.

C'est la troisième loi de Newton.

Question 7 La force centrifuge



Quelle devrait être la période de la rotation de la Terre sur elle-même pour que la force de soutien exercée par le sol sur un objet quelconque à l'équateur soit nulle (cet objet se trouverait alors en état d'impesanteur) ? Indiquer la valeur la plus proche.

On prendra: Masse de la Terre = 6.10^{24} kg, Rayon de la Terre à l'équateur = 6378 km, G = $6.67 \cdot 10^{-11}$ S.I.

- A. 1 minute
- B. 1 heure
- c. 6 heures
- D. 12 heures

Posons m masse du corps à la surface de la Terre, M masse de la Terre, R rayon de la Terre à l'équateur, v vitesse tangentielle de rotation.

La deuxième loi de Newton s'écrit dans le référentiel géocentrique (quasi inertiel) le long de l'axe centripète:

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R} = mR\omega^2$$

On peut aussi raisonner dans le référentiel attaché au corps en rotation (l'équation ci-dessus exprime alors l'équilibre entre la force de gravitation et la force centrifuge).

On en déduit :
$$\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$$

D'où

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$
 $T = 6.28 \sqrt{\frac{6378^3 10^9}{6.67 \cdot 10^{-11} 610^{24}}} = 5056 \text{ s} = 1 \text{ heure 24 minutes}$

Peu de réponses correctes à la question 7.

Ondes électromagnétiques

Question 8 Originalité de l'onde électromagnétique

L'onde électromagnétique ne peut pas se comprendre en dehors de la relativité restreinte.

A. Vrai

B. Faux

L'onde électromagnétique se propage à la vitesse limite dans le vide dans tous les référentiels inertiels mais aussi localement pour n'importe quel observateur (accéléré ou non). Cette vitesse limite est le facteur de conversion entre l'espace et le temps de la métrique de Minkowski.

Peu de réponses correctes à la question 8.

Question 9 Le contrôle radar



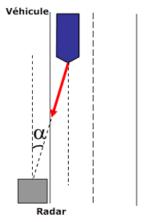
Un véhicule circulant en agglomération est contrôlé par un radar Doppler de la gendarmerie (fréquence d'émission = 24,125 GHz). Au passage du véhicule, la variation de fréquence enregistrée est $\Delta f = 2$ kHz. L'angle α entre l'axe du faisceau radar et l'axe de déplacement des véhicules mesurés est supposé nul.

La vitesse du véhicule est environ :

- A. 22 km/h
- B. 45 km/h
- C. 52 km/h
- D. 65 km/h

La formule de l'effet Doppler classique est : $\frac{\Delta f}{f_o} = \frac{2v\cos\theta}{c}$ Ici $\cos \theta = 1$

D'où
$$v = \frac{c\Delta f}{2f_e \cos \theta} = \frac{310^8 \times 210^3}{2 \times 24,125 \cdot 10^9} \times 3,6 \approx 45 \text{ km/h}$$



Attention, il faut le facteur 2 car l'onde électromagnétique fait un aller-retour : il y a un effet Doppler pour chacun des trajets.

Relativité

Question 10 L'horloge sur un manège

Une horloge A se trouve en périphérie d'un manège et une autre horloge B est immobile au centre du manège. La distance entre les deux horloges est fixe. On synchronise les deux horloges et on fait tourner le manège. On stoppe le manège et on réunit les deux horloges. On suppose que les deux horloges sont parfaites et identiques.

- A. L'horloge A retarde par rapport à l'horloge B.
- B. L'horloge A avance par rapport à l'horloge B.
- C. Les deux horloges sont toujours synchronisées.

C'est l'effet de désynchronisation cinématique des horloges parfaites prédit par la relativité restreinte. Voir le cours pour plus détails.

Question 11

La constante c (dont la valeur a été fixée en 1983 à 299 792 458 m/s) est avant tout un facteur de conversion entre l'espace et le temps.

A. Vrai

B. Faux

Cette constante c'est le facteur de conversion entre l'espace et le temps de la métrique de Minkowski. Elle correspond à une vitesse limite. La durée propre mesurée pour aller d'un point A à un point B de l'espace-temps dépend de cette constante et n'a rien à voir avec la lumière.

Question 12 L'expérience de Carroll Alley (1975-1976)

L'objectif premier dans l'expérience de Carroll Alley était de mesurer précisément :

- A. La désynchronisation gravitationnelle des horloges parfaites.
- B. La désynchronisation cinématique des horloges parfaites au second ordre en v/c.
- C. La désynchronisation cinématique des horloges parfaites associée à l'effet Sagnac.
- D. L'effet Doppler relativiste.

Voir (ou revoir) les planches sous Moodle avec commentaires audio consacrées à l'expérience de Carroll Alley. C'est la défense américaine qui, dans le cadre de la conception du futur système de géolocalisation GPS, avait explicitement demandé à Alley de se focaliser sur la désynchronisation gravitationnelle car certains responsables avaient des doutes sur la réalité de l'effet.

Peu de réponses correctes à la question 12.

Question 13 Collision-adhésion de deux particules

Deux particules, l'une de masse m, l'autre de masse 3m, subissent une collision frontale à la vitesse 3c/5 (dans le référentiel du laboratoire) et forment une particule composite de masse M (vitesse nulle). Que vaut le rapport M / m ?

- A. 4
- B. 5
- C. 6
- D. 7

La conservation de l'énergie nous permet d'écrire :

$$4 \gamma mc^2 = Mc^2$$
, avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

Avec v/c = 3/5, cela donne $\gamma = 5/4$ et on en déduit M = 5m

Question 14 Le joggeur et la courbe en huit

A son retour au point O:

Un joggeur emporte avec lui une horloge A supposée parfaite et parcourt à la vitesse de 3 m/s une courbe fermée en forme de huit. Il démarre du point O où se trouve une horloge B identique à la sienne. Les deux horloges A et B sont synchronisées avant son départ. L'horloge B fixe au point O a enregistré pour le trajet du joggeur une durée d'une heure.

A. L'horloge A retarde de 1.8 10⁻¹³ seconde par rapport à l'horloge B.

- B. L'horloge A avance de 1.8 10⁻¹³ seconde par rapport à l'horloge B.
- C. L'horloge A retarde de 3.6 10⁻¹³ seconde par rapport à l'horloge B.
- D. L'horloge A est toujours synchronisée avec l'horloge B.

Nous avons vu en cours que (métrique de Minkowski), si l'on compte + le trajet vers l'est, - celui vers l'ouest et en tenant compte que v est petit devant c :

$$\Delta t_{\pm} = \int_0^{\Delta t_0} \sqrt{1 - \frac{(v \pm R\omega)^2}{c^2}} dt \approx \left(1 - \frac{(v \pm R\omega)^2}{2c^2}\right) \Delta t_0$$

$$\Delta t_{sol} = \int_0^{\Delta t_0} \sqrt{1 - \frac{R^2\omega^2}{c^2}} dt \approx \left(1 - \frac{R^2\omega^2}{2c^2}\right) \Delta t_0$$

$$\Delta t_{+} \approx \left(1 - \frac{v^2}{2c^2} - \frac{vR\omega}{c^2}\right) \Delta t_{sol} \quad et \quad \Delta t_{-} \approx \left(1 - \frac{v^2}{2c^2} + \frac{vR\omega}{c^2}\right) \Delta t_{sol}$$

Si le trajet est en forme huit, le terme en v (associé à l'effet Sagnac) est annulé. Donc la durée propre pour l'horloge A du jogger vaut en fonction de la durée propre de l'horloge B :

$$\Delta \tau = \left(1 - \frac{v^2}{2c^2}\right) \Delta \tau_0$$

L'horloge A retarde à l'arrivée par rapport à l'horloge B de :

$$\frac{v^2}{2c^2}\Delta\tau_0 = \frac{9}{2\times910^{16}}3600 = 1.810^{-13}$$
 seconde.

Peu de réponses correctes à la question 14.

Question 15 Le prix Nobel de physique 2020

Le prix Nobel de physique 2020 a été attribué à Roger Penrose pour avoir montré dans les années 1960 que, selon la relativité générale, la singularité au cœur d'un trou noir est inévitable dès qu'un horizon des événements se forme.

A. Vrai

B. Faux

C'est ce que l'on appelle le théorème de la singularité de Penrose. Il a convaincu les physiciens en 1964/1965 que les trous noirs étaient une prédiction théorique de la relativité générale qu'il fallait prendre au sérieux. En effet, Penrose a montré que l'on devait s'attendre à ce que des conditions physiques plutôt réalistes permettent à ces bulles d'espace-temps de se former dans l'Univers.

Effet Sagnac

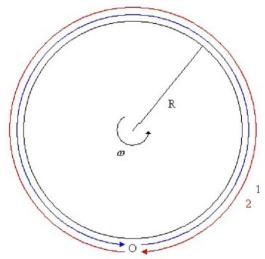
Question 16 L'effet Sagnac optique mesuré en 1913

Dans son expérience réalisée en 1913 avec la lumière, Georges Sagnac a cru avoir mesuré un terme dans le déphasage dû à la différence entre les vitesses de propagation par rapport au circuit tournant, alors qu'il a mesuré en réalité un terme purement relativiste dans le déphasage qui n'en dépend pas.

A. Vrai

B. Faux

Nous avons vu en cours mais aussi lors du min-QCM du 5 janvier 2021 que le délai Sagnac est composé de deux termes dans le cas général : l'un dû à la différence entre les vitesses de propagation par rapport au circuit tournant, l'autre purement relativiste qui n'en dépend pas.



 v_+ est la vitesse mesurée localement par rapport au disque tournant pour le parcours bleu (noté 1)

v_ est la vitesse mesurée localement par rapport au disque tournant pour le parcours rouge (noté 2)

L'écart de temps à l'arrivée au point O entre les deux **entités quelconques** (parcours 1 et 2) parties au même instant du point O est donné par :

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R^2 \omega^2}{c^2}}} \left[2\pi R \left(\frac{1}{v_+} - \frac{1}{v_-} \right) \right] + \Delta t_{Sagnac}$$

$$A vec \ \Delta t_{Sagnac} = \frac{4\pi R^2 \omega}{c^2 \sqrt{1 - \frac{R^2 \omega^2}{c^2}}}$$

Sagnac a cru mesurer le terme avec v_+ et v_- alors que ce terme était nul pour la lumière et qu'il a mesuré le second terme (purement relativiste). L'une des plus belles ironies de l'histoire de la physique.

Question 17 Effet sagnac et relativité générale

Dans une thèse datant de 2008 consacrée aux gyrolasers, on trouve l'affirmation suivante : « Pour expliquer l'effet Sagnac, il est nécessaire de se placer dans le cadre de la relativité générale. »

A. Vrai

B. Faux

L'effet Sagnac est un effet purement relativiste lié à la métrique de Minkowski qui décrit un espace-temps plat. La gravitation ne joue aucun rôle (il est purement cinématique, c'est-à-dire conséquence des mouvements respectifs), en conséquence utiliser la relativité générale n'apporte rien de plus que la relativité restreinte.

Peu de réponses correctes à la question 17.

Question 18 L'interféromètre de Sagnac au pôle Nord

On suppose qu'on pose à la surface du pôle Nord le même interféromètre optique que Sagnac a utilisé en 1913 : un rectangle de surface $S \simeq 0.0866 \text{ m}^2$ et une lumière de longueur d'onde 436 nm.

On rappelle que le déphasage entre les deux ondes à contresens s'obtient en multipliant le délai

Sagnac $\frac{4\omega S}{c^2}$ par $2\pi \times$ fréquence de l'onde lumineuse. La vitesse angulaire pour la rotation de la Terre sur elle-même est 7.3 10^{-5} rad/s.

Quel déphasage s'attendrait-on à mesurer en radian (ordre de grandeur) ?

A. 10⁻¹

B. 10⁻³

C. 10⁻⁶

ח 10⁻⁹

En remarquant que λ = cT, le déphasage Sagnac est égal à $\frac{8\pi\omega S}{\lambda c}$, ce qui donne environ 1.2 10^{-6} radian.

Géolocalisation par satellites

Question 19 Transfert de temps ou transfert de fréquence ?

La technique qui est au cœur des systèmes de géolocalisation par satellites et où la relativité joue un rôle crucial est :

A. Le transfert de temps.

B. Le transfert de fréquence.

C'est la désynchronisation des horloges parfaites qui est à prendre en compte, il s'agit donc de comparer les temps propres d'horloges distantes, ce qui est un transfert de temps.

Question 20 La désynchronisation relativiste des horloges à bord des satellites GPS Au bout d'une journée, une horloge supposée parfaite embarquée à bord d'un satellite GPS, si elle n'est pas recalée :

A. Avance de plusieurs dizaines de microsecondes par rapport aux horloges au sol.

- B. retarde de plusieurs dizaines de microsecondes par rapport aux horloges au sol.
- C. avance de plusieurs dizaines de millisecondes par rapport aux horloges au sol.
- D. retarde de plusieurs dizaines de millisecondes par rapport aux horloges au sol.

Voir le cours. Une horloge à bord d'un satellite GPS avancerait de 38 microsecondes par jour par rapport à une horloge au sol, si on ne faisait rien.

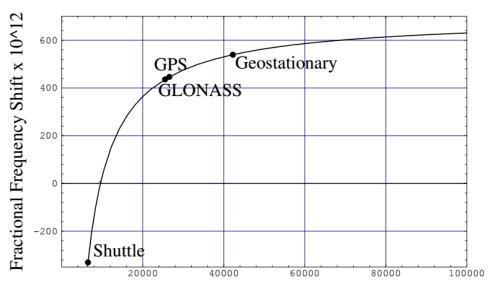
Question 21 La désynchronisation relativiste des horloges à bord de la Station spatiale internationale

Une horloge parfaite à bord de la Station spatiale internationale retarde par rapport à une horloge au rythme identique, parfaite et fixe à la surface de la Terre.

A. Vrai

B. Faux

Voir cours pour la courbe donnant la désynchronisation d'un satellite en fonction de sa distance au centre de la Terre. Nous la redonnons ici :



Radial distance in kilometers

Les désynchronisations cinématique et gravitationnelle jouent en sens contraire. Elles s'annulent à une altitude d'environ 3000 km. En dessous de cette altitude, les horloges embarquées retardent par rapport aux horloges au sol, au-dessus de cette altitude elles avancent. La Station spatiale internationale étant à une altitude de 400 km, les horloges embarquées retardent.

Ondes gravitationnelles

Question 22 La vitesse de propagation des ondes gravitationnelles

On suppose que comme pour GW170817, on a détecté sur Terre pour la même source (une binaire d'étoiles à neutrons) un sursaut gamma (onde électromagnétique) et une onde gravitationnelle. Le sursaut gamma a été reçu sur Terre 5 secondes plus tard que le pic de l'onde gravitationnelle et la source se trouve à 300 millions d'années-lumière de la Terre. On rappelle qu'une année-lumière vaut environ 10 000 milliards de kilomètres. Si l'on suppose que le sursaut gamma a été émis depuis la source **au même moment** que le pic de l'onde gravitationnelle, que vaut l'écart relatif $\frac{Vg-c}{c}$ entre la vitesse de propagation de l'onde gravitationnelle et celle de l'onde électromagnétique ?

A. 10⁻¹⁵

B. 5 10⁻¹⁶

C. -10⁻¹⁵

D. -5 10⁻¹⁶

L'écart de temps à l'arrivée pour les deux ondes est

$$\Delta t = \frac{\mathrm{d}}{c} - \frac{\mathrm{d}}{c + \Delta v} = \frac{\mathrm{d}}{c} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\Delta v}{c}} \right) \cong \frac{\mathrm{d} \Delta v}{c^2}$$

$$\frac{\Delta v}{c} \cong \frac{c \, \Delta t}{d} = \frac{3 \, 10^8 \times 5}{300 \, 10^6 \times 10^4 \times 10^9 \times 10^3} \cong 5 \, 10^{-16}$$

Si le sursaut gamma arrive 5 secondes après l'onde gravitationnelle alors qu'il a été émis au niveau de la source au même instant, c'est que le voyage de la source jusqu'à la Terre lui a pris 5 secondes <u>de plus</u>. Cela veut dire que l'onde gravitationnelle a voyagé plus vite, donc le signe est **un +**.

Question 23 Les détecteurs terrestres d'ondes gravitationnelles

Les interféromètres terrestres (LIGO, Virgo et KAGRA) ne peuvent pas détecter les ondes gravitationnelles dont la fréquence est en dessous d'un certain seuil.

A. Vrai

B. Faux

Le bruit sismique empêche de détecter sur Terre des ondes gravitationnelles dont la fréquence est inférieure à (en gros) 1 Hz.

Question 24 Onde gravitationnelle et effet Shapiro

La propagation d'une onde gravitationnelle est retardée par la courbure de fond de l'espacetemps (qui existe avant le passage de l'onde) de la même quantité que la propagation d'une onde électromagnétique.

A. Vrai

B. Faux

L'onde gravitationnelle est une oscillation de la **courbure « de fond »** de l'espace-temps. Elle est donc sensible à l'effet Shapiro, à l'expansion de l'Univers et aux effets de lentille gravitationnelle.

Physique quantique

Question 25 Les inégalités de Heisenberg



On utilise une lumière de longueur d'onde 436 nm pour déterminer la position d'un électron avec une précision égale à cette longueur d'onde. On prendra pour la constante de Planck h la valeur: 6.62 10⁻³⁴ J.s et pour la masse de l'électron 9.1 10⁻³¹ kg.

La meilleure précision atteignable (grossièrement) pour la mesure de la vitesse de l'électron sera :

- A. Supérieure à 100 m/s
- B. Entre 1 m/s et 100 m/s
- C. Inférieure à 1 m/s
- D. Il n'y a pas de limite théorique

$$\Delta x \Delta p > \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta p > \frac{\hbar}{2\Delta x} = \frac{h}{4\pi \Delta x}$$

$$m\Delta v > \frac{\hbar}{2\Delta x} = \frac{h}{4\pi \Delta x}$$

$$\Delta v > \frac{\hbar}{2m\Delta x} = \frac{h}{4\pi m\Delta x}$$

Question 26 L'intrication quantique

L'intrication quantique est liée à l'indétermination des grandeurs physiques avant la mesure.

A. Vrai

B. Faux

Vu en cours.

Question 27 L'effet photoélectrique

Le fonctionnement des appareils photos qui équipent nos smartphones est fondé sur l'effet photoélectrique prédit par la physique quantique.

A. Vrai

B. Faux

Vu en cours.

Thermodynamique



Question 28 Les gifles d'Obélix

Imaginez qu'Obélix vous gifle. Vous ressentez une rougeur à la joue. La température de la région touchée a varié de 4 degrés Celsius. On suppose que la masse de la main qui vous atteint est de 2 kg et que la masse de la peau rougie est de 100 g. On prend comme valeur de la capacité thermique massique de la peau de la joue : Cjoue = 3,8 kJ.K⁻¹.kg⁻¹.

La vitesse de la main juste avant l'impact vaut environ :

- A. 60 km/h
- B. 80 km/h
- C. 100 km/h
- D. 140 km/h

De façon analogue à l'expérience de Joule, le transfert entre énergie mécanique et énergie thermique s'écrit :

$$\frac{1}{2} \text{ m}_{\text{main}} \text{v}_{\text{main}}^2 = \text{m}_{\text{joue}} \text{ C}_{\text{joue}} \Delta \text{T}$$
 d'où $v_{main} = \sqrt{\frac{2m_{joue}C_{joue}\Delta \text{T}}{m_{main}}}$

L'application numérique donne environ 39 m/s, soit environ 140 km/h.

Question 29 L'évolution de l'entropie

L'entropie d'un système qui n'est pas isolé peut décroître.

- A. Vrai
- B. Faux

L'entropie d'un système isolé (qui n'échange ni matière ni énergie avec l'extérieur) ne peut qu'augmenter, selon le second principe de la thermodynamique. Mais pour un système qui n'est pas isolé, elle peut décroître.

Question 30 Le rayonnement de Hawking

Le rayonnement de Hawking pour un trou noir est une prédiction de la relativité générale.

- A. Vrai
- B. Faux

C'est en prenant en compte les fluctuations quantiques dans le vide à proximité de l'horizon d'un trou noir que Stephen Hawking a prédit le rayonnement qui porte son nom. La relativité générale seule ne prédit pas l'effet.

Peu de réponses correctes à la question 30.

Technologies quantiques

Question 31 Cryptographie à clé publique

Dans un système de cryptographie à clé publique, on utilise une clé publique et une clé privée.

- A. Vrai
- B. Faux

Dans un système à clé publique, on utilise deux clés, l'une publique et une autre privée. La clé publique est connue de tout le monde et sert à chiffrer le message.

Question 32 Le système RSA

Le système RSA utilise deux clés, une privée et l'autre publique, constituées chacune de deux nombres dont l'un est le produit de deux nombres premiers.

A. Vrai

B. Faux

C'est vrai, l'un des deux nombres qui est utilisé à la fois dans la clé publique et dans la clé privée est le produit de deux nombres premiers.

Question 33 Calcul d'un chiffrage RSA



Déterminer la clé publique et la clé privée pour p = 47 et q= 59 en prenant e =17 premier avec (p-1) et (q-1).

A. Clé publique : (17, 2668) clé privée : (157, 2773)

B. Clé publique : (17, 2773) clé privée : (157, 2668)

C. Clé publique : (17, 2668) clé privée : (157, 2668)

D. Clé publique : (17, 2773) clé privée : (157, 2773)

C'est la réponse D qu'on peut trouver sans calcul car la clé privée est constituée au moins par N = pq. Le nombre 157 est l'inverse modulaire de e mod 2668. Le public ne peut connaître ce modulo s'il ne connait pas les facteurs de N.

Peu de réponses correctes à la question 33.

Question 34 Les grandeurs quantiques de la cryptographie quantique et du calcul quantique

En cryptographie quantique et en calcul quantique, les états logiques sont représentés par :

- A. La position des particules
- B. La polarisation des particules
- C. La phase des particules
- D. La vitesse de particules

C'est en effet la polarisation des particules qui est utilisée pour représenter des états logiques. Ce sont des grandeurs purement quantiques représentées dans des espaces à deux dimensions, ce qui n'est pas le cas pour la vitesse ou la position.

Question 35 La cryptographie quantique :

- A. Est un système dans lequel le message est intriqué avec une clé aléatoire.
- B. Est un système dans lequel on utilise les états quantiques de la clé.
- C. Est un système dans lequel on utilise les états quantiques du message.
- D. Est un système dans lequel on crée une superposition entre la clé et le message.

En cryptographie quantique, on utilise les états quantiques d'une source pour générer la clé. Le chiffrage s'effectue comme un système symétrique avec la clé générée par les lois de la physique quantique.

Question 36 Le protocole BB84 de cryptographie quantique.

Le protocole BB84 permet une sécurité parfaite pour une transmission entre Bob et Alice en :

- A. Comparant les bases de mesure de la clé d'Alice et du message de Bob
- B. Utilisant une clé dont l'état est intriqué avec le message
- C. Détectant une interception créant des erreurs dans le message
- D. Détectant une interception par comparaison des bases de mesure de la clé

A partir d'une source de photons polarisés, Alice et Bob comparent leurs bases de mesure qui déterminent les bits à retenir pour la clé de chiffrage. Si des photons sont interceptés par Eve, des erreurs statistiques sont détectées.

Peu de réponses correctes à la question 36.

Question 37 La décohérence

La décohérence est un phénomène qui intervient lors de l'interaction d'une particule avec l'environnement.

- A. Vrai
- B. Faux

La décohérence intervient lors de l'évolution de la fonction d'onde qui interagit avec le milieu environnant. Cela a pour effet de perturber la phase de l'onde, d'où la perte de cohérence de la phase.

Informatique quantique

On rappelle les définitions matricielles des portes :

$$\mathsf{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathsf{Z} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad \mathsf{Y} = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \mathsf{H} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Question 38 Composition de portes

La composition iXZH est égale à

- A. Y
- B. X²

$$C. \ \frac{1}{\sqrt{2}} Y(X+Z)$$

D. *H*}

Le produit iXZ = i
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$
 = i $\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ = Y

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} + (X + Z)$$
 donc iXZH = $\frac{1}{\sqrt{2}} Y(X + Z)$

Question 39 La transformée de Fourier quantique

La transformée de Fourier quantique dans l'algorithme de Shor sert à

- A. Déterminer la période d'une fonction
- B. Déterminer une exponentiation modulaire
- C. Factoriser un nombre premier très grand

L'algorithme de Shor comprend deux parties, une fonction d'exponentiation modulaire N (clé de chiffrage RSA) et une transformée de Fourier qui détermine la période de cette fonction.

Question 40 L'algorithme de Shor permet de :

- A. Factoriser un nombre très grand dans un temps exponentiel
- B. Trouver un nombre dans un tableau en un temps polynomial
- C. Factoriser un nombre très grand dans un temps polynomial

En trouvant la période de la fonction d'exponentiation modulaire N, il est possible de trouver les facteurs de N et l'algorithme de Shor le fait dans un temps polynomial.