


## IF.1204 - Sciences du numérique QCM de rattrapage (juillet 2022)

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  $g : 10 \text{ m.s}^{-2}$ .

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

**Il n'y a pas de point négatif pour ce QCM, donc vous avez toujours intérêt à tenter une réponse.**

### Physique galiléo-newtonienne

#### **Question 1** Expérience avec les accéléromètres du smartphone

Vous posez votre smartphone sur une table à plat. Vous notez les valeurs brutes pour chacun des axes des accéléromètres à l'aide de l'application **Physics Toolbox Sensor Suite** (capteur « Mètre de Force  $g$  »).

Quelles sont les valeurs mesurées (aux bruits de mesures près) ?

- A. La valeur  $g$  pour l'axe vertical (perpendiculaire à la table), zéro pour les deux autres axes.
- B. La valeur 0 pour chacun des trois axes.

La chute libre a lieu dès qu'un corps n'est soumis qu'à la seule gravitation et dans ce cas tout ce qui est à l'intérieur est en impesanteur. La phase durant laquelle les trois accéléromètres mesurent 0  $g$  correspond nécessairement à une chute libre (qui peut être une montée ou une descente). Une accélération propre (celle qui est mesurée dans le référentiel propre du smartphone) implique l'existence d'interactions non gravitationnelles (par exemple la force de réaction d'une table ou de votre main qui le tient) qui empêchent le smartphone de suivre sa géodésique.

#### **Question 2** Le lancer de smartphone depuis une trottinette

Vous filez à  $1 \text{ m.s}^{-1}$  sur votre trottinette en ligne droite à vitesse constante sur un plan horizontal.

Vous lancez votre smartphone verticalement vers le haut avec une vitesse initiale  $v_0 = 10 \text{ m.s}^{-1}$ .

L'un de vos amis fait exactement de même avec son smartphone en filant sur sa trottinette à  $2 \text{ m.s}^{-1}$ . On néglige les effets dus à la résistance de l'air.

Que vaut la durée que vous mesurez entre le lancer et la réception dans vos mains de votre smartphone ?

- A. Elle est identique à la durée mesurée par votre ami pour son lancer.
- B. Elle est la moitié de la durée mesurée par votre ami pour son lancer.
- C. Elle est le double de la durée mesurée par votre ami pour son lancer.
- 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).

Selon le principe de relativité (que Galilée a été le premier à énoncer clairement), la durée mesurée pour l'aller-retour ne dépend pas de la vitesse de la trottinette (puisque sinon on pourrait détecter le mouvement inertiel de la trottinette, ce qui contredirait notre principe).

### Question 3 Le lâcher de stylo

Vous lâchez votre stylo d'une hauteur de 1 mètre par rapport au plancher.

En négligeant la résistance de l'air, combien de temps environ le stylo met-il pour atteindre le plancher ?

- A. 0.35 seconde
- B. 0.45 seconde**
- C. 0.55 seconde
- D. 0.65 seconde

Le temps pris pour la descente est  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{1}{5}} = \sqrt{0.2} \approx 0.45 \text{ seconde}$

### Question 4 Le pendule de Foucault

Le pendule de Foucault peut être considéré comme un gyromètre à effet Coriolis.

- A. Vrai**
- B. Faux

Vu en cours.

## Ondes électromagnétiques et ondes mécaniques

### Question 5 La vitesse des balles à Roland Garros

Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros.

L'émetteur génère une onde électromagnétique de fréquence  $f_0 = 24,125 \text{ GHz}$  et mesure la fréquence de l'onde reçue après réflexion de l'onde sur la balle.

Au cours du tournoi de Roland Garros, lors d'un service, l'appareil mesure une différence de fréquence entre le signal émis et le signal reçu de 7416 Hz.

Quelle est la vitesse radiale de la balle (en arrondissant) ?

- A. 146 km.h<sup>-1</sup>
- B. 156 km.h<sup>-1</sup>
- C. 166 km.h<sup>-1</sup>**
- D. 176 km.h<sup>-1</sup>

Il faut utiliser la formule de l'effet Doppler non relativiste sans oublier le facteur 2 car il y a aller-retour.

$$\Delta f = 2 \cdot f_0 \cdot v_r / c \text{ donc } v_r = \Delta f \cdot c / (2 \cdot f_0)$$

$$\text{d'où } v_r = (7\,416 \times 3 \cdot 10^8) / (2 \times 24,5 \cdot 10^9) = 46,1 \text{ m.s}^{-1} = 46,1 \times 3,6 \text{ km.h}^{-1}$$

### Question 6 Nature de l'onde mécanique

Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel avec transport de matière.

- A. Vrai
- B. Faux

Il n'y a pas transport de matière, simplement oscillation temporaire de la matière.

## Relativité

### Question 7 L'expérience de Hafele et Keating (1971)

De combien de billets d'avion (donc de sièges) Hafele et Keating avaient-ils besoin pour chacun des vols empruntés lors de leurs deux tours du monde ?

- A. Deux
- B. Trois
- C. Quatre
- D. Cinq

Vu en cours : 2 sièges pour Hafele et Keating, 2 sièges pour les 4 horloges.

### Question 8 Le tour du monde avec un drone

Supposons qu'un drone fasse un tour du globe terrestre vers l'est depuis le point O avec une vitesse par rapport au sol égale à la vitesse tangentielle de rotation de la Terre sur elle-même (soit environ 1700 km/h). Ce drone embarque l'horloge parfaite A tandis qu'à son point de départ et d'arrivée se trouve une horloge parfaite B. On suppose que l'altitude du drone est proche de zéro durant la totalité du voyage et que les horloges sont au départ synchronisées.

A son retour au point O :

- A. L'horloge A retarde par rapport à l'horloge B.
- B. L'horloge A avance par rapport à l'horloge B.
- C. 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  $c$ , les durées propres des horloges embarquées s'expriment en fonction des durées des horloges hypothétiques du référentiel géocentrique (inertiel) :

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

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

Il suffit ensuite d'exprimer les durées propres des horloges embarquées en fonction des durées des horloges fixes au sol.

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

C'est la première formule qui s'applique avec  $v = R\omega$  (voyage vers l'est), donc l'horloge A retarde à l'arrivée par rapport à l'horloge B.

Sans calcul, on sait que pour un voyage vers l'est, les deux effets cinématiques jouent dans le même sens et que ce sera forcément un retard.

### Question 9 L'effet Einstein

Le décalage spectral gravitationnel se traduit par le fait que la fréquence de la lumière reçue du Soleil sur Terre est augmentée par rapport à celle de l'onde émise.

- A. Vrai
- B. Faux**

Vu en cours : la fréquence est diminuée car le potentiel gravitationnel au point d'émission (Soleil) est plus élevé qu'au point de réception (Terre).

## Effet Sagnac

### Question 10 L'effet Sagnac optique

L'effet Sagnac optique est purement relativiste, autrement dit, l'effet de déphasage dû à la rotation qui est prédit par la physique non relativiste est nul dans les conditions spécifiées.

- A. Vrai**
- B. Faux

Vu en cours.

### Question 11 Interféromètre de Sagnac circulaire

On utilise un interféromètre de Sagnac circulaire sur Terre (rayon de 1 mètre) qu'on fait tourner à la fréquence d'un tour par seconde.

La valeur la plus proche pour le délai Sagnac attendu sera :

- A.  $10^{-13}$  s
- B.  $10^{-14}$  s
- C.  $10^{-15}$  s**
- D.  $10^{-16}$  s

$$\Delta t_{\text{sagnac}} = \frac{4A\omega}{c^2} = \frac{4\pi R^2 \omega}{c^2} = \frac{4\pi R^2 \times 2\pi}{c^2 \times T}$$

$$\Delta t_{\text{sagnac}} = \frac{4 * 3.14 * 6.28}{9 * 10^{16}} \approx 10^{-15} \text{ s}$$

## Géolocalisation par satellites

### Question 12 La désynchronisation relativiste des horloges d'un satellite GPS

Une horloge (supposée parfaite) à bord d'un satellite de géolocalisation GPS (système américain) avancerait au bout d'une journée par rapport aux horloges fixes (supposées parfaites) à la surface de la Terre d'environ

- A. 38 secondes
- B. 38 microsecondes**

Vu en cours.

## Ondes gravitationnelles

### **Question 13** 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 100 secondes plus tard que le pic de l'onde gravitationnelle et la source se trouve à 3 milliards 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  $\frac{c-v_g}{c}$  (en valeur absolue) entre la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique et celle de l'onde gravitationnelle ?

A.  $10^{-14}$ B.  $10^{-15}$ C.  $10^{-16}$ D.  $10^{-17}$ 

Le retard à l'arrivée pour l'onde électromagnétique sur l'onde gravitationnelle est

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

$$\frac{\Delta v}{c} \cong \frac{c \Delta t}{d} = \frac{3 \cdot 10^8 \times 100}{3 \cdot 10^9 \times 10^4 \times 10^9 \times 10^3} \cong 10^{-15}$$

## Physique quantique

### **Question 14** L'indétermination

En physique quantique, les valeurs des grandeurs physiques ne sont pas en général fixées avant la mesure mais possèdent une certaine dispersion.

A. Vrai

B. Faux

Vu en cours.

## Thermodynamique

### **Question 15** 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 8 degrés Celsius. On suppose que la masse de la main qui vous atteint est de 0.95 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 :  $C_{\text{joue}} = 3.8 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .

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

- A. 36 km.h<sup>-1</sup>
- B. 72 km.h<sup>-1</sup>
- C. 144 km.h<sup>-1</sup>
- D. 288 km.h<sup>-1</sup>**

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

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

L'application numérique donne 80 m.s<sup>-1</sup>, soit 288 km.h<sup>-1</sup>.

## Technologies quantiques

On donne l'expression générale d'un qubit  $|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2} |0\rangle + e^{i\phi} \sin\frac{\theta}{2} |1\rangle$

On rappelle les portes quantiques :

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{pmatrix}$$

$$\text{cNOT}(|x\rangle|y\rangle) = |x\rangle |y \oplus x\rangle$$

### **Question 16** Porte quantique

Quelle est la porte quantique qui échange les nombres complexes des deux vecteurs de base ?

- A. La porte H
- B. La porte S
- C. La porte Z
- D. La porte X**

La porte X qui est représentée par une matrice diagonale effectue une inversion des vecteurs de base tel que  $X |\psi\rangle = e^{i\phi} \sin\frac{\theta}{2} |0\rangle + \cos\frac{\theta}{2} |1\rangle$ .

**Question 17** La porte cNOT

La porte cNOT à deux qubits avec x qubit de contrôle :

- A. Inverse x si y est à 1
- B. Inverse x si y est à 0
- C. Inverse y si x est à 0
- D. Inverse y si x est à 1**

La porte cNot par définition avec x qubit de contrôle, inverse l'état du qubit y s'il est à 1. La réponse D est la bonne. Le qubit de contrôle x n'est jamais modifié.

**Question 18** L'algorithme de Shor

L'algorithme de Shor permet :

- A. De trouver rapidement un nombre dans un tableau.
- B. De factoriser un nombre très grand en un temps polynomial.**

L'algorithme de Peter Shor permet en trouvant la période d'une fonction modulaire du nombre à factoriser, de trouver les facteurs premiers de ce nombre dans un temps polynomial, ce qu'aucun algorithme non quantique ne peut réaliser.

**Question 19** Le chiffrement RSA

Dans un système de chiffrement RSA à clé publique et à clé privée, le chiffrement du message est obtenu par une exponentiation modulaire.

- A. Vrai**
- B. Faux

En cryptographie RSA, étant donné N nombre produit de deux nombres premiers p et q, on calcule le chiffré m du message M avec c qui est premier avec (p-1)x(q-1) par la formule  $m = M^c \text{ mod } N$  qui est donc un calcul d'exponentiation modulaire.

**Question 20** La cryptographie quantique

La cryptographie quantique est parfaitement sûre car une analyse statistique permet de déterminer si la clé a été interceptée.

- A. Vrai**
- B. Faux

En cryptographie quantique, l'interception de la clé provoque une anomalie statistique, c'est donc une analyse statistique des résultats des comparaisons des bases de mesures qui permet de déterminer qu'il y a une interception. C'est pourquoi la cryptographie est parfaitement sûre.