15PYSCOPO3

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement Obligatoire

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

15PYSCOPO3

EXERCICE I : LE MUON, EXPLORATEUR DE VOLCAN (6 points)

Les muons, produits à haute altitude lors d'interactions entre les rayons cosmiques et les noyaux atomiques présents dans l'atmosphère terrestre, traversent cette dernière à une vitesse approchant la célérité de la lumière.
Certains des muons arrivant au sol possèdent une énergie suffisante leur permettant de traverser plusieurs centaines de mètres de roche avant de se désintégrer. Ils sont utilisés pour radiographier les volcans.



Télescope permettant la détection des muons, placé au bas de la Soufrière, volcan actif de Guadeloupe.
D'après Reflets de la physique, Janvier 2013

Données :

- célérité de la lumière dans le vide c = 299 792 458 m.s^{-1} ;
- 1 eV = 1,60 $\times$ 10^{-19} J ;
- facteur de Lorentz : $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ où v est la vitesse de la particule dans le référentiel du laboratoire ;
- la durée de vie ΔT d'une particule animée d'une vitesse v, mesurée dans le référentiel du laboratoire, est liée à sa durée de vie propre $\Delta T0$ par l'égalité :
$$\Delta T = \gamma \Delta T0 ;$$
- énergie d'une particule de masse m en mouvement : $E = \gamma mc^2$;
- on supposera que dans les conditions de l'expérience une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique est soumise à une force magnétique d'intensité proportionnelle à la vitesse de la particule, à la valeur absolue de sa charge et au champ magnétique ; cette force est indépendante de la masse de la particule ;
- masse du muon : m_μ = 105,66 MeV.c^{-2} ;
- intensité du champ de pesanteur : g = 10 N.kg^{-1}.

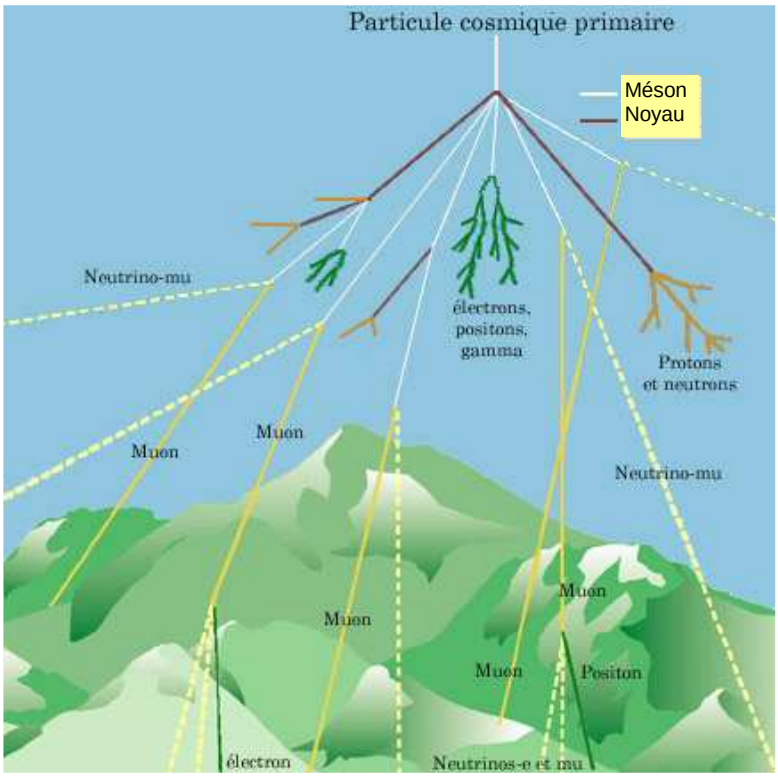
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

15PYSCOPO3

DOCUMENTS UTILES À LA RÉSOLUTION

Les muons

Découverts en 1936, les muons sont produits à grande hauteur dans l'atmosphère (5 à 30 km) à partir du rayonnement cosmique primaire.



Site laradioactivite.com

Le muon porte une charge électrique négative. Dans le même champ magnétique et à vitesse égale, sa trajectoire est moins incurvée que celle d'un électron mais plus incurvée que celle d'un proton. En admettant que sa charge électrique négative est égale à celle de l'électron, on déduit que le muon a une masse de valeur comprise entre celle de l'électron et celle du proton.

Un muon créé à une hauteur de 20 km doit mettre environ 67 µs pour arriver au sol. Mais cette durée représente 30 fois la durée de vie du muon…

En 1976, des expériences réalisées au CERN à Genève ont permis de produire un faisceau de muons de vitesse 0,9994c. Injectés dans un grand anneau de stockage où ils sont confinés par des aimants puissants, ces muons circulent jusqu'à leur désintégration. Bien qu'un muon ne puisse survivre plus de 14 ou 15 tours selon la mécanique newtonienne, la plupart d'entre eux font plus de 400 tours. Les détecteurs d'électrons entourant l'anneau ont montré que ces muons ont un temps de vie environ égal à 30 fois leur temps de vie au repos.

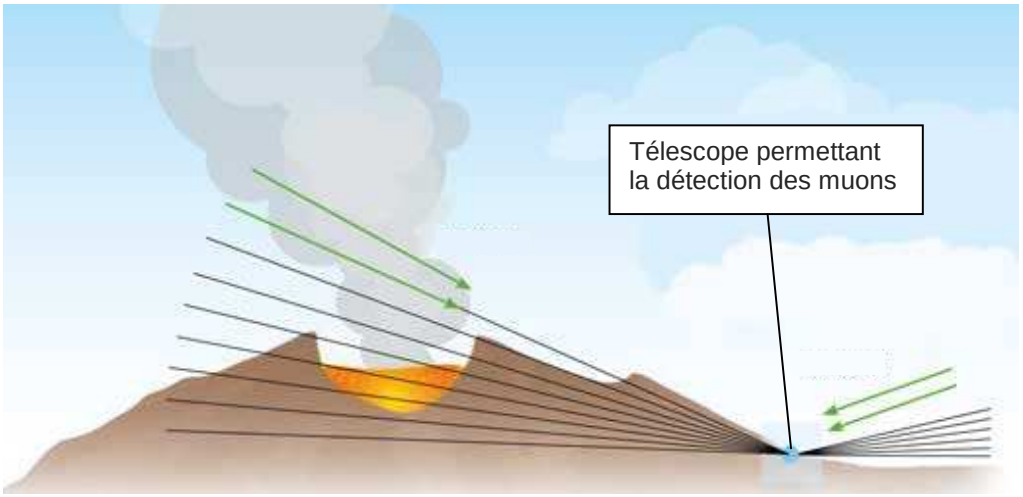
D'après « Ondes, optique et physique moderne », Hecht

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

15PYSCOPO3

Principe de la radiographie muonique

La radiographie muonique utilise les muons quasi-horizontaux : ceux-ci sont absorbés par les roches à travers lesquelles ils sont passés. Plus les roches sont denses, plus les muons sont absorbés.



D'après Science in School, décembre 2013

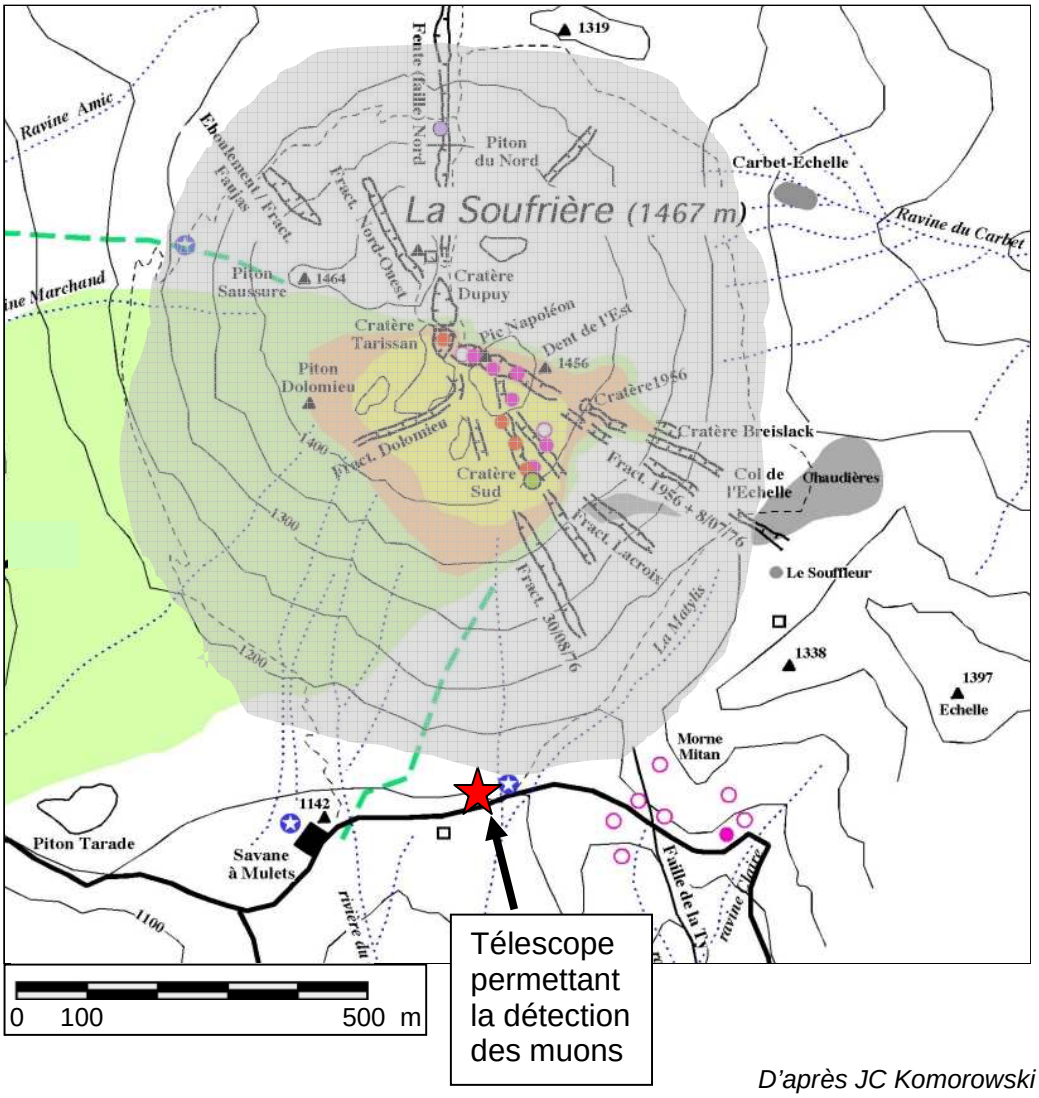
Au niveau du sol, le flux moyen de muons est d'environ 1 muon par cm^2 et par minute. Chaque muon perd en moyenne 2 MeV par cm de roche traversée. Les muons ordinaires ont une énergie moyenne de 4 GeV. Cependant, certains muons possèdent une énergie très importante, supérieure à 1000 GeV, leur permettant de traverser plusieurs centaines de mètres de roche avant de se désintégrer. Ce sont ces particules qui sont utilisées pour radiographier les volcans. Des télescopes comportant des matrices de détecteurs sont placés en contrebas du volcan pour compter et déterminer les trajectoires des muons possédant suffisamment d'énergie pour traverser le massif rocheux. En comparant le flux de muons ayant traversé le volcan au flux mesuré à ciel ouvert, il est possible de connaître la quantité de matière que les muons ont rencontrée pendant leur traversée.

D'après Reflets de la physique, article 32, Janvier 2013

15PYSCOPO3

Carte du volcan de la Soufrière

On peut considérer que la surface S grisée, proche de celle d'un disque de diamètre D, correspond à la surface de la Soufrière exposée au flux de muons.



D'après JC Komorowski

1. Les muons créés en haute atmosphère

1.1. Dilatation des durées

1.1.1. Retrouver à l'aide d'un calcul l'estimation faite dans les documents de la valeur du temps de parcours d'un muon créé à une altitude de 20 km pour arriver jusqu'au sol.

1.1.2. Albert Einstein publie en 1905 une nouvelle théorie intitulée « la relativité restreinte » qui remet en cause la mécanique classique. Énoncer le postulat d'Einstein relatif à la vitesse de la lumière.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1.1.3. Expliquer sans calcul en quoi la détection d'un nombre important de muons au niveau de la surface terrestre constitue une preuve expérimentale de la « dilatation » des durées.

1.2. Pourquoi peut-on dire que le muon, le proton et l'électron sont soumis à une force magnétique de même intensité lorsqu'ils pénètrent à la même vitesse dans un champ magnétique ?
Justifier pourquoi la différence de courbure alors observée permet d'affirmer que le muon a une masse intermédiaire entre celle du proton et celle de l'électron.

2. Les muons au CERN

2.1. Justifier à l'aide d'un calcul l'affirmation : « Ces muons ont un temps de vie environ égal à 30 fois leur temps de vie au repos ».

2.2. Vérifier alors la cohérence entre les valeurs « 14 ou 15 tours » et « 400 tours » données dans les documents.

3. Les muons pour la tomographie d'un volcan

La tomographie est une technique d'imagerie permettant de reconstruire le volume d'un objet à partir d'une série de mesures.

3.1. Expliquer pourquoi un muon ordinaire d'énergie moyenne de 4 GeV ne peut pas être utilisé pour radiographier la Soufrière.

3.2. Déterminer l'ordre de grandeur de l'énergie apportée pendant une minute par le flux de muons ordinaires sur la surface de la Soufrière. Comparer la valeur obtenue à l'ordre de grandeur d'une énergie de votre choix.

3.3. Déterminer la valeur du rapport v/c où v est la vitesse d'un muon ordinaire d'énergie 4 GeV. En déduire pourquoi les muons utilisés pour la radiographie volcanique sont qualifiés d' « ultra-relativistes ».

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

15PYSCOPO3

EXERCICE II : LA VITAMINE C (9 points)

La vitamine C est une vitamine hydrosoluble, sensible à la chaleur et à la lumière. Elle joue un rôle important dans le métabolisme des êtres humains et de nombreux autres mammifères. Alors que la plupart des mammifères est capable de synthétiser la vitamine C, l'être humain en est incapable et il doit la puiser dans son alimentation. La vitamine C est principalement constituée d'acide L-ascorbique, un des stéréoisomères de l'acide ascorbique.

Données :

- numéro atomique de quelques atomes :

H	C	O
1	6	8

- électronégativité (échelle de Pauling) de quelques atomes :

H	C	O
2,2	2,5	3,5

- table de données pour la spectroscopie IR :

Liaison	O − H	C − H	C = O
Nombre d'onde (cm^{-1})	3200 - 3600	2800 - 3100	1650 -1750

- masse molaire moléculaire de l'acide ascorbique : $M(C_6H_8O_6) = 176\ g.mol^{-1}$

- zone de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur coloré	**Couleur acide**	**Zone de virage**	**Couleur basique**
Vert de bromocrésol	jaune	3,8 – 5,4	bleu
BBT	jaune	6,0 – 7,6	bleu
Phénolphtaléine	incolore	8,2 – 10	rose

- incertitude liée à une série de mesures indépendantes :

• valeur moyenne associée à n mesures indépendantes d'une variable aléatoire X :

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} ;$$

• écart type expérimental noté s_{exp} ou σ_{n-1} par les calculatrices :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}} ;$$

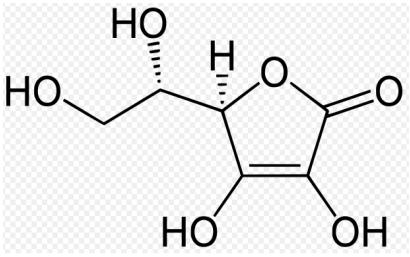
• incertitude pour un niveau de confiance de 95 % : $\Delta X = 2\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

15PYSCOPO3

1. À propos de l'acide ascorbique

La formule topologique de l'acide L-ascorbique est représentée ci-dessous.

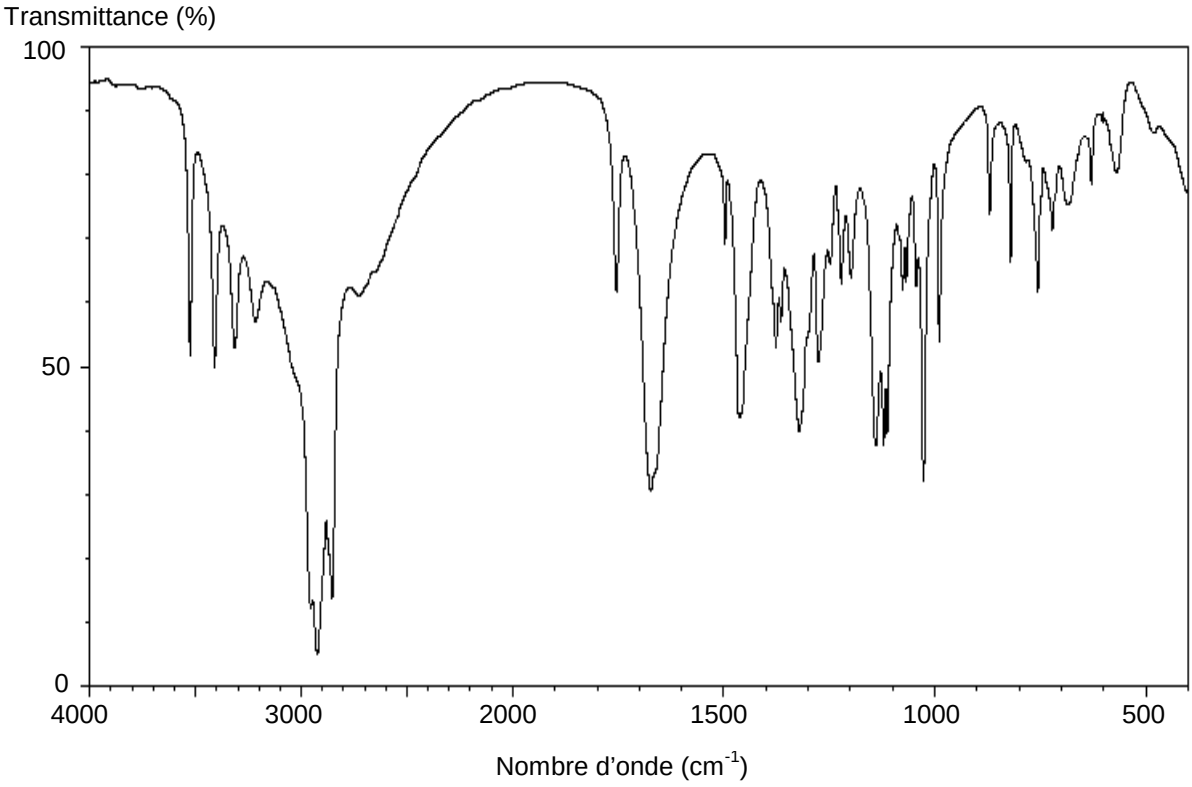


1.1. Isomérie

1.1.1. Recopier la formule de l'acide L-ascorbique et identifier par un astérisque * le (ou les) carbone(s) asymétrique(s). Justifier la chiralité de cette molécule.

1.1.2. Représenter l'énantiomère de la molécule d'acide L-ascorbique.
Cette molécule possède-t-elle d'autres stéréoisomères ? Si oui, combien ? Préciser les types de relation de stéréoisomérie qui les lie à l'acide L-ascorbique.

1.2. Spectroscopie IR de l'acide L-ascorbique
Le spectre IR de l'acide L-ascorbique est reproduit ci-dessous.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

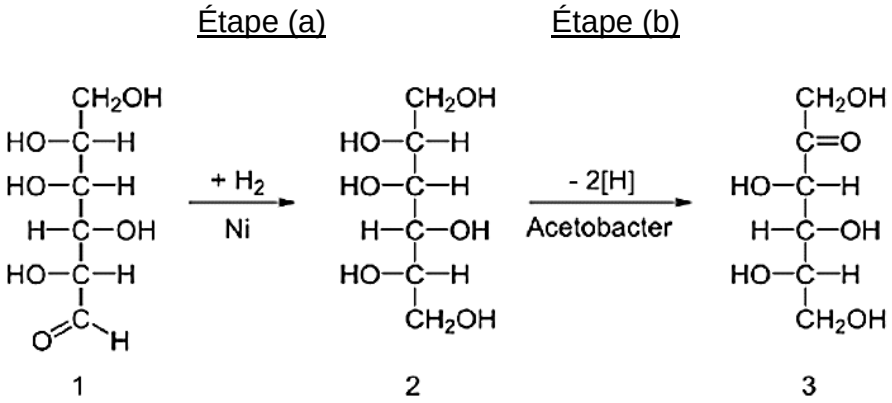
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1.2.1. Vérifier que le domaine de longueurs d'onde de ce spectre se situe bien dans l'infrarouge.

1.2.2. Identifier, sur ce spectre, deux bandes d'absorption caractéristiques de l'acide L-ascorbique.
Pourrait-on distinguer le spectre IR de l'acide L-ascorbique de ceux des autres stéréoisomères de l'acide ascorbique ?

2. Une synthèse de la vitamine C

La vitamine C peut être obtenue à partir du D-glucose selon un procédé chimique découvert en 1933, le procédé Reichstein décrit ci-après**.**



L'étape (a) est l'hydrogénation du D-glucose en D-sorbitol à l'aide d'un catalyseur : le nickel de Raney. L'étape (b) est l'oxydation par fermentation microbienne du D-sorbitol en L-sorbose. Des étapes ultérieures non détaillées ici permettent d'obtenir la vitamine C.

Le nickel de Raney est un catalyseur solide utilisé dans de nombreux procédés industriels. Constitué d'une fine poudre grise d'un alliage de nickel et d'aluminium, il a été développé en 1926 par l'ingénieur américain Murray Raney pour remplacer les catalyseurs utilisés à cette époque dans l'industrie pour l'hydrogénation des huiles végétales. Il est actuellement utilisé comme catalyseur hétérogène pour une grande variété de réactions de la chimie organique, le plus souvent pour des hydrogénations.

D'après Wikipédia

2.1. Étape (a)

2.1.1. Recopier la formule de la molécule de D-glucose. Identifier les groupes caractéristiques de cette molécule et nommer les familles de fonctions correspondantes.

2.1.2. Quel est l'intérêt de la présence du nickel de Raney dans l'étape (a) ?
Que signifie l'expression « catalyse hétérogène » ?

2.1.3. Quel type de modification a lieu au cours de cette étape ? Quelle est la catégorie de la réaction mise en jeu?

2.2. Étape (b)

2.2.1. Recopier la formule de la molécule de D-sorbitol et identifier un site donneur de doublets d'électrons qui est concerné par la réaction chimique de l'étape (b).

2.2.2. À quelle catégorie de réaction correspond cette étape ? Justifier.

2.2.3. Quelle relation lie le D-glucose et le L-sorbose ?

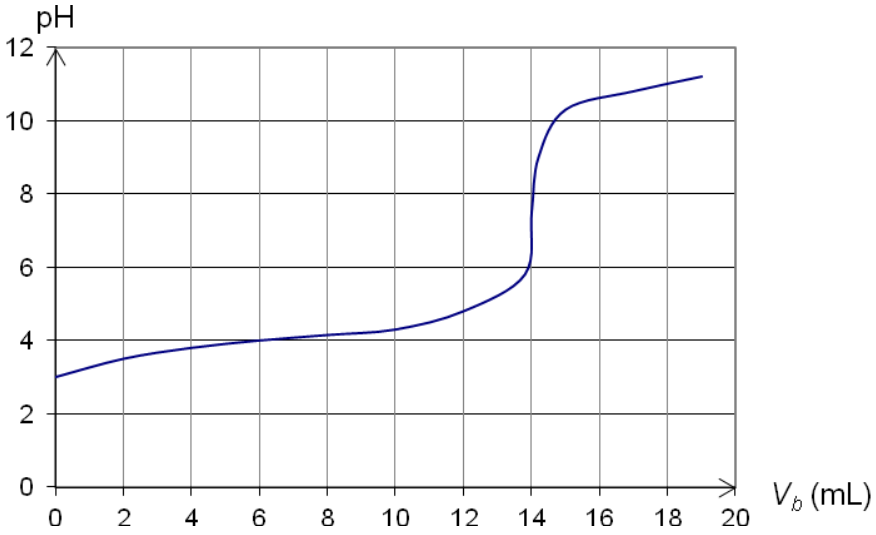
3. Analyse d'un comprimé de vitamine C

Afin de vérifier la quantité de vitamine C présente dans un comprimé à croquer « Vitamine C 500 mg », le protocole suivant est proposé :

- réduire en poudre le comprimé dans un mortier ;
- verser l'intégralité du solide dans un erlenmeyer à l'aide d'eau distillée ;
- réaliser le titrage colorimétrique du contenu de l'erlenmeyer par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_b = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1} et repérer le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

La réaction support du titrage de la solution de vitamine C par la solution d'hydroxyde de sodium a pour équation : $C_6H_8O_{6(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow C_6H_7O_6^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$.

Il est possible de suivre ce titrage pHmétrie. La courbe alors obtenue a l'allure suivante :



Huit titrages sont successivement réalisés dans un laboratoire d'analyse afin d'augmenter la précision du résultat. Un tableau regroupe les valeurs des différents volumes versés à l'équivalence :

V_{bE} (mL)	14,1	14,2	13,8	14,3	14,0	14,3	14,1	14,2

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3.1. Proposer une méthode permettant de repérer visuellement l'équivalence de ce titrage. Argumenter la réponse à l'aide des données et de vos connaissances.

3.2. Les résultats expérimentaux sont-ils en accord avec l'indication du fabricant ? Argumenter la réponse en l'appuyant sur un encadrement du volume de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

3.3. Que pourrait-on envisager pour améliorer la précision du résultat de l'analyse ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

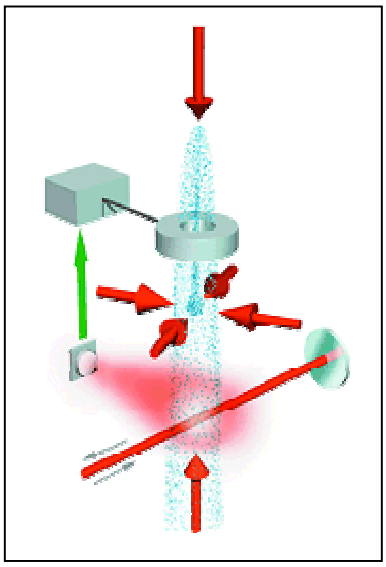
15PYSCOPO3

EXERCICE III : PHARAO, L'HORLOGE ATOMIQUE DE L'ESPACE (5 points)

La mise en orbite(*) de l'horloge spatiale à atomes froids PHARAO permettra de distribuer aux utilisateurs sur Terre, en utilisant un lien micro-onde spécifique, une échelle de temps de très grande stabilité. La précision de cette échelle de temps sera de 30 picosecondes sur un jour.

- (*) Lancement prévu en 2016 ; phase opérationnelle prévue à partir de 2017 à bord de la station spatiale internationale (ISS).

- PHARAO signifie Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbite



D'après le site du CNES
http://smsc.cnes.fr/PHARAO/

Les atomes ou les molécules qui constituent toute matière, quel que soit l'état de celle-ci, ne sont jamais immobiles mais en perpétuelle agitation. Ce mouvement continuel est directement corrélé à la température : il est de moins en moins important lorsque la température diminue et inversement. Il s'agit de l'agitation thermique.

Données :

- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;

- célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;

- masse d'un atome de rubidium 87 : $m = 1{,}45 \times 10^{-25}$ kg.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1. Interaction d'un atome avec un rayonnement

Un atome supposé immobile dans le référentiel du laboratoire est placé sur le trajet d'un faisceau laser de fréquence ν_0. Cet atome peut alors passer d'un état d'énergie E_a à un état d'énergie supérieure E_b en absorbant un photon d'énergie $h\nu_0$.
Ce phénomène d'absorption provoque le déplacement de l'atome dans le sens de propagation du photon incident. L'atome se désexcite ensuite par émission spontanée d'un photon : il se déplace alors dans une direction aléatoire.

Pour mesurer l'importance du déplacement de l'atome ainsi provoqué, on introduit une vitesse dite « vitesse de recul », donnée par $V = \frac{h\nu_0}{mc}$: elle représente la vitesse qu'acquiert un atome initialement au repos par absorption ou émission d'un photon.

Dans le cas de l'isotope 87 du rubidium, couramment utilisé lors de la manipulation d'atomes froids, la vitesse de recul obtenue avec un laser de longueur d'onde λ de valeur 0,78 µm est égale à environ 6 mm.s^{-1}.

Un atome de l'isotope 87 du rubidium effectue en moyenne 10^8 cycles « absorption-désexcitation » en une seconde. Dans une première approche, seule l'action de l'absorption intervient, puisqu'elle s'effectue toujours dans le même sens tandis que l'effet sur la vitesse de l'émission spontanée est en moyenne nul. On peut alors évaluer l'accélération de l'atome : l'ordre de grandeur est de 10^6 m.s^{-2}.

Ceci permet d'arrêter des atomes ayant une vitesse initiale de quelques centaines de mètres par seconde en quelques millisecondes, sur quelques mètres, et rend les manipulations d'atomes lents en laboratoire possibles.

1.1 Absorption et émission

1.1.1 Illustrer à l'aide d'un diagramme de niveaux d'énergie la signification des termes « absorption » et « émission spontanée ».

1.1.2 Quel autre type d'émission peut-on rencontrer ? Dans quel dispositif est-il utilisé ?

1.2 La quantité de mouvement p d'un photon de fréquence ν est donnée par : $p = \frac{h\nu}{c}$. À quelle particularité de la lumière fait référence cette relation ?

1.3 Cas de l'isotope 87 du rubidium

1.3.1 En considérant que le système constitué d'un atome de rubidium et d'un photon est isolé et en utilisant la conservation de la quantité de mouvement totale, retrouver l'expression de la vitesse de recul V et l'ordre de grandeur de sa valeur donnés dans les documents.

1.3.2 Définir l'accélération de l'atome et retrouver l'ordre de grandeur de sa valeur donné dans les documents en admettant que la durée du processus d'absorption soit de l'ordre de la période du cycle « absorption-désexcitation ».

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

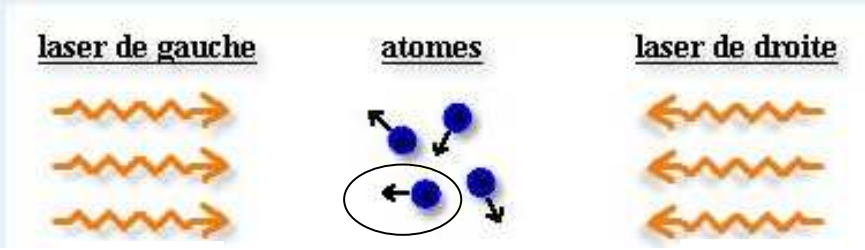
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1.4 Expliquer qualitativement pourquoi l'effet sur la vitesse de l'émission spontanée est en moyenne nul.

2. Principe du refroidissement Doppler

Principe du refroidissement Doppler selon une direction

On note ν_0 la fréquence des photons pouvant être absorbés par un atome immobile dans le référentiel du laboratoire et ν celle des photons émis par les lasers utilisés. ν est légèrement inférieure à ν_0.



D'après le site de l'équipe « atomes ultrafroids » du laboratoire Kastler Brossel
http://www-old.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/welcome.htm

2.1 Expliquer qualitativement le principe physique de l'effet Doppler.

2.2 L'atome 1 entouré sur le schéma précédent se déplace vers le « laser de gauche ».
Justifier pourquoi l'effet Doppler permet d'expliquer que cet atome est ralenti.

2.3 Le schéma de la fontaine atomique représentée en introduction de l'exercice fait apparaître six flèches représentant chacune un laser. Justifier la position de ces six lasers.

2.4 L'utilisation d'un laser pour refroidir peut, en première approche, paraître étonnante. Expliquer simplement en quelques mots en quoi le système étudié permet effectivement de refroidir des atomes.