BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

Lycée de Chamalières — Janvier 2012

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3h** — Sur 20 points — CŒFFICIENT : 6

L'usage des calculatrices est autorisé

Ce sujet comporte un exercice de PHYSIQUE-CHIMIE, un exercice de CHIMIE et un exercice de PHYSIQUE, présentés sur 6 pages numérotées de 1 à 6, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices ***sur des feuilles doubles séparées****. Les trois exercices sont indépendants les uns des autres.*

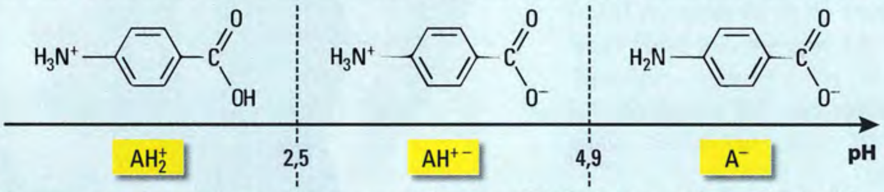
I.	**Les crèmes solaires**	**(5,5 points)**
II.	**Les lois de Képler**	**(4 points)**
III.	**L'impesanteur**	**(5,5 points)**

Exercice I – 5,5 points
Les crèmes solaires

1 Un premier type de filtre anti-UV

Document 1 L'acide 4-aminobenzoïque.

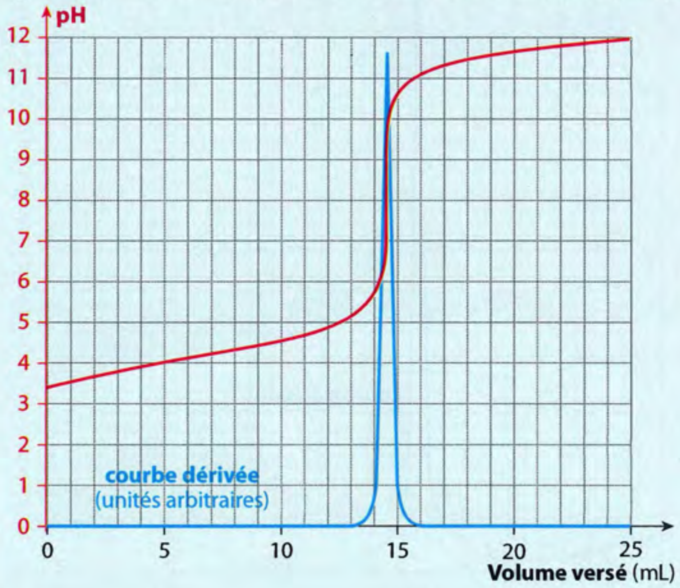
L'acide 4-aminobenzoïque est un acide aminé solide, il comporte un groupe amine NH_2 (base faible) qui lui donne des propriétés basique et un groupe carboxylique COOH (acide faible).
Il existe sous trois formes données sur le diagramme de prédominance ci-dessous :



Sa masse molaire est $M = 137{,}1\ g\cdot mol^{-1}$ et sa solubilité est $s = 5{,}9\ g\cdot L^{-1}$ à 25 °C.
Cet acide appelé PABA dans la nomenclature internationale des cosmétiques entre dans la composition des crèmes solaires où il joue le rôle de filtre UV-B à bande étroite (autour de 300 nm).

Document 2 Titrage du PABA.

Un étudiant en chimie veut vérifier la pureté d'un échantillon de PABA. Pour cela il prélève une masse $m = 200$ mg de PABA qu'il dissout de manière à obtenir 100 mL de solution aqueuse S. Cependant il se demande s'il doit titrer par une solution d'hydroxyde de sodium Na^+ (aq) + HO^- (aq) de concentration $c_B = 0{,}10\ mol\cdot L^{-1}$ ou par une solution d'acide chlorhydrique H_3O^+ (aq) + Cl^- (aq) de concentration $c_A = 0{,}10\ mol\cdot L^{-1}$.
Pour trancher, il réalise les deux titrages avec un volume de la prise d'essai de 100 mL, et il mesure le pH après chaque ajout de solution titrante. On admet qu'en solution aqueuse, la forme AH^{+-} est prédominante.
Il obtient les courbes suivantes :



Répondre à l'aide de ses connaissances et des documents.

1. Décrire le protocole de préparation de la solution S.

2. La courbe de titrage par les ions H_3O^+ n'est pas exploitable. Pourquoi ?

3. Justifier que la forme prédominante dans la solution S est bien la forme dite zwitterionique AH^{+-}.

4. Écrire l'équation de la réaction de titrage du PABA par les ions HO^-.

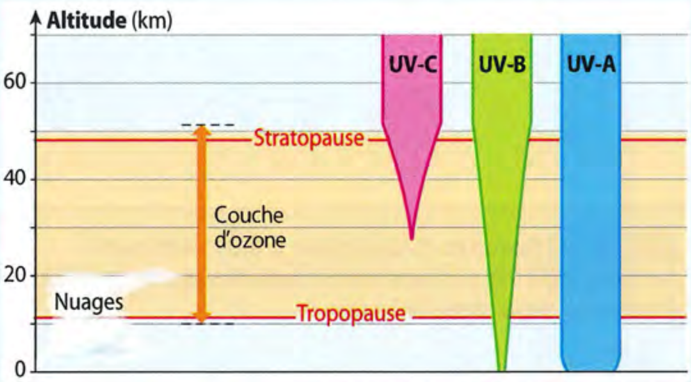
5. Calculer la masse, puis le pourcentage de PABA dans l'échantillon.

2 Un second type de filtre anti-UV

L'avobenzone est une molécule employée comme filtre anti-UV dans les crèmes solaires.

Document 1 **Le rayonnement ultraviolet.**

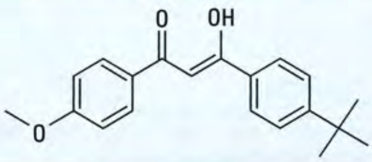
L'ultraviolet (UV) couvre les rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 10 et 400 nm. Une partie des rayonnements émis par le Soleil sont des UV, qui sont potentiellement nocifs : ils sont classés en différentes plages de longueurs d'onde en fonction de leur pénétration dans les couches de la peau et de leur effet biologique. La couche d'ozone absorbe la totalité des rayonnements UV de longueur d'onde inférieure à 290 nm, les UV-C. Les UV-B et les UV-A, de plus grande longueur d'onde, atteignent la surface de la Terre.



Document 2 **Classification des rayonnements UV.**

UV	UV-C	UV-B	UV-A « courts »	UV-A « longs »
Filtrés par la couche d'ozone	Totalement	Partiellement	Non	Non
λ (nm)	< 290	290-320	320-340	340-400

Document 3 **La molécule d'avobenzone.**

Formule topologique	
Formule brute	$C_{20}H_{22}O_3$
Masse molaire (M)	310,39 g·mol^{-1}
Couleur des solutions	Très légèrement jaunâtre (solutions concentrées)

Document 4 **Absorbance d'une solution d'avobenzone.**

Une solution est préparée par dissolution d'une masse m = 1,00 mg de cristaux d'avobenzone dans un volume V = 100 mL de propan-2-ol. Son absorbance dans l'UV est étudiée par spectrophotométrie, dans une cuve d'épaisseur l = 1 cm. Le « blanc » du spectrophotomètre a été effectué avec une cuve remplie de propan-2-ol.

λ (nm)	A
250	0,208
270	0,230
290	0,228
300	0,210
310	0,209
330	0,667
350	1,086
370	0,857
380	0,667
390	0,133

Répondre à l'aide de ses connaissances et des documents.

1. Déterminer la concentration molaire c de la solution d'avobenzone étudiée dans le document 4.

2. a. Rappeler la loi de Beer-Lambert.

b. Pour chaque longueur d'onde du document 4, calculer la valeur du coefficient ε.

c. Tracer le spectre de la molécule d'avobenzone : ε = f(λ).

3. En première approche, on considère qu'une espèce est un « bon » filtre à une longueur d'onde donnée lorsque ε > 10^4 L·cm^{-1}·mol^{-1}. Quelle(s) catégorie(s) de rayonnements UV est(sont) filtrée(s) par l'avobenzone ?

4. a. Interpréter la coloration des solutions d'avobenzone.

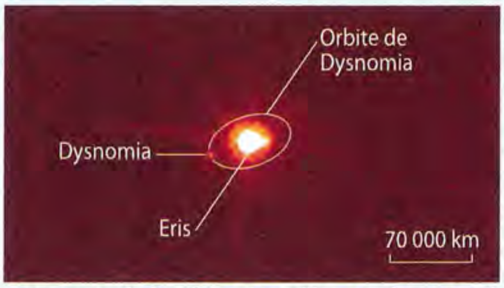
b. Relier le caractère coloré de l'avobenzone à la structure de la molécule.

Exercice II – 4 points
Les lois de Képler

Document 1 **Éris ou la discorde.**

Découverte par l'Américain Clyde Tombaugh en 1930, Pluton était considérée comme la neuvième planète de notre système solaire.
Le 5 janvier 2005, une équipe d'astronomes a repéré sur des photographies prises le 21 octobre 2003 un nouveau corps gravitant autour du Soleil. Provisoirement nommé UB313, cet astre porte maintenant le nom d'Éris du nom de la déesse grecque... de la discorde. La découverte d'Éris et d'autres astres similaires (2003 EL. 61, 2005 FY9, etc.) a en effet été le début de nombreuses discussions et controverses acharnées entre scientifiques sur la définition même du mot « planète ».
Au cours d'une assemblée générale, le 24 août 2006 à Prague, 2 500 astronomes de l'Union astronomique internationale (UAI) ont décidé à main levée de déclasser Pluton comme planète, pour lui donner le rang de « planète naine » en compagnie d'Éris et de Cérès (gros astéroïde situé entre Mars et Jupiter). Éris parcourt une orbite elliptique autour du Soleil avec une période de révolution T_E valant environ 557 années terrestres.

Document 2 **Dysnomia ou l'anarchie.**



Les astronomes ont découvert ensuite qu'Éris possède un satellite naturel qui a été baptisé Dysnomia (fille d'Éris et déesse de l'anarchie...). Six nuits d'observation depuis la Terre ont permis de reconstituer l'orbite de Dysnomia (ci-contre). Le mouvement de Dysnomia autour d'Éris est supposé circulaire et uniforme, de rayon $R_D = 3{,}60 \cdot 10^7$ m.

Document 3 **Données.**

Astre	Masse
Pluton	$M_P = 1{,}31 \cdot 10^{22}$ kg
Éris	M_E
Dysnomia	M_D

Astre	Période de révolution
Pluton	$T_P = 248$ ans
Terre	$T_T = 1{,}00$ an
Dysnomia	$T_D = 15{,}0$ jours $\approx 1{,}30 \cdot 10^6$ s

Constante de gravitation universelle :

$$G = 6{,}67.10^{-11} \mathrm{N \cdot kg^{-2} \cdot m^2}$$

Répondre à l'aide de ses connaissances et des documents.

1. a. Énoncer la 3^e loi de Kepler pour une planète autour du Soleil.
b. L'orbite d'Éris se situe-t-elle au-delà ou en-deçà de celle de Pluton ? Justifier sans calcul.

2. a. Définir le référentiel permettant d'étudier le mouvement de Dysnomia, supposée ponctuelle, autour d'Éris.
b. Établir dans ce précédent référentiel, supposé galiléen, l'expression de l'accélération de Dysnomia en fonction des paramètres de l'énoncé. On considérera que Dysnomia est soumise uniquement à l'attraction d'Éris.
c. En déduire que la période de révolution T_D de Dysnomia a pour expression :

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{{R_D}^3}{GM_E}}$$

d. Montrer que l'on retrouve la 3^e loi de Kepler.

3. a. Déduire de l'expression de T_D celle de la masse M_e d'Éris.
b. Calculer sa valeur.
c. En évaluant le rapport $\frac{M_E}{M_P}$, expliquer pourquoi la découverte d'Éris a remis en cause le statut de planète de Pluton.

Exercice III – 5,5 points
L'impesanteur

1 L'impesanteur dans l'espace

Document 1 L'impesanteur.

L'impesanteur est l'état d'un corps tel que l'ensemble des forces gravitationnelles et inertielles auxquelles il est soumis possède une résultante nulle.

D'après www.futura-sciences.com/fr/definition/t/univers-1/d/impesanteur_510/

Document 2 La station spatiale internationale (ISS).

Avec les États-Unis, la Russie, l'Europe et le Japon, le Canada est partenaire de la Station spatiale internationale (ISS), un laboratoire de recherche orbital. Depuis le lancement de son premier module en 1998, la station fait le tour de la Terre 16 fois par jour à environ 370 km d'altitude à une vitesse de 28 000 km.h^{-1}. Elle parcourt quotidiennement une distance correspondant à un aller-retour entre la Terre et la Lune.

D'après www.asc-csa.gc.ca/fra/iss

Document 3 Le « fauteuil volant » (MMU).

C'est en 1984 que Bruce McCandless (ci-contre) expérimenta le premier MMU (*Manned Maneuvering Unit*), véritable « fauteuil volant », permettant à l'astronaute de se déplacer jusqu'à 90 mètres de la navette. L'astronaute s'adosse au MMU qui pèse 115,5 kg, l'attachant par-dessus sa combinaison spatiale. Le MMU comporte deux réservoirs d'azote comprimé, qui alimentent 24 unités de propulsion à réaction à vapeur d'azote d'une poussée de 3,58 newtons chacune, disposées autour de la structure.

D'après http://espaceaventure.free.fr/fauteuilvolant.htm

1. Le système {astronaute} est en impesanteur. Il est assimilé à un point matériel et est étudié dans le référentiel de la station spatiale.

a. Pourquoi le système est-il pseudo-isolé ?

b. Dans quelle mesure ce système peut-il « flotter » dans l'espace?

2. a. Pourquoi est-ce envisageable de faire endosser à des astronautes de la station spatiale le « fauteuil volant » MMU de plus de 100 kg ?

b. À quel danger serait confronté un astronaute hors de la station spatiale si la propulsion du MMU était défaillante ?

c. Proposer une explication du principe des propulseurs à azote.

2 L'impesanteur sur Terre

Document 1 Définition.

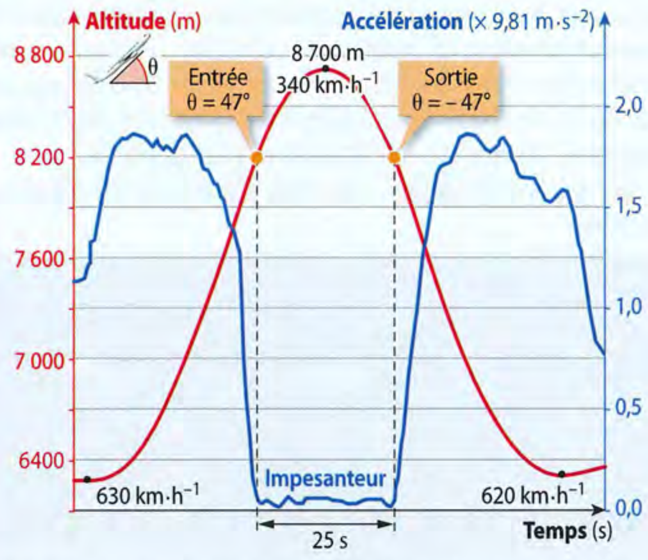
L'impesanteur est l'absence apparente de pesanteur dans un référentiel donné.

Document 2 Principe du vol parabolique.

Pour s'entraîner à l'impesanteur, les astronautes peuvent faire des vols paraboliques en avion.
L'Airbus « Zéro G » qui est en vol horizontal à 6 300 mètres d'altitude monte en se cabrant à 47° par rapport à l'horizontale **(doc. 3)**. Le pilote diminue ensuite la poussée des réacteurs de façon à juste compenser le frottement de l'air et l'avion entre en phase de chute libre dès 8 200 mètres. Son contenu est en impesanteur. Son élan lui permet d'atteindre 8 700 mètres puis il retombe (phase descendante de la parabole). Après avoir remis les gaz à 8 200 mètres, l'avion reprend son vol horizontal à 6 300 mètres. L'opération dure environ une minute pour obtenir 25 secondes d'impesanteur.

D'après http://eduscol.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog2.htm

Document 3 Évolution temporelle des paramètres du vol parabolique.



D'après http://eduscol.education.fr/orbito/pedago/zerog/zerog2.htm

Le repère $(O\,;\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ est cartésien avec $\vec{k}$ vertical vers le haut et O au sol. Le vol parabolique de l'avion, supposé ponctuel en M, débute à la date $t = 0$ à la verticale du point O, avec la vitesse initiale $\vec{v}_0 = v_{0x}\vec{i} + v_{0z}\vec{k}$ qui fait un angle $\alpha = 47°$ avec l'horizontale. Le champ de pesanteur sera supposé uniforme, d'intensité $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

1. a. Que doit vérifier l'avion pendant la phase d'impesanteur ? Pourquoi ?

b. Quelle est la nature de la trajectoire de l'avion pour obtenir l'effet d'impesanteur pendant le vol?

2. Déterminer l'équation de cette trajectoire.

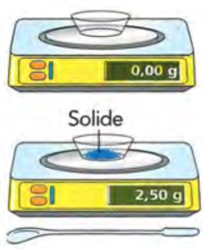
3. Retrouver la hauteur maximale de vol de l'avion.

4. Retrouver la durée maximale Δt durant laquelle il est possible d'être en impesanteur par ce procédé.

Exercice I – Les crèmes solaires

1.1. Protocole de la dissolution d'une quantité donnée de solide dans l'eau, en vue d'obtenir un volume donné de solution S :

1. Dans une coupelle de pesée préalablement tarée, peser la masse $m = 200$ mg de PABA ;

1. 

2. Introduire le solide dans une fiole jaugée de 100 mL, à l'aide d'un entonnoir à solide, en récupérant la totalité des eaux de rinçage de la coupelle et de l'entonnoir ;

2. 

3. Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à mi-parcours, afin de permettre une agitation ultérieure vigoureuse et donc une meilleure dissolution. Dissoudre le solide en agitant vigoureusement sans retournement ;

3. 

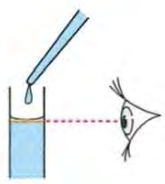
4. Une fois le solide dissout, compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;

4. 

5. Le trait de jauge doit affleurer au bas du ménisque de l'eau. Pour plus de précision, on peut terminer l'ajout à la pipette simple, à partir d'un petit volume d'eau distillée placée dans un bécher propre ;

5. 

6. Une fois le trait de jauge vérifié par le professeur, agiter vigoureusement par retournement, afin d'homogénéiser la solution.

6. 

1.2. La courbe de titrage par les ions oxonium H_3O^+ n'est pas exploitable, car elle ne présente pas de saut de pH.

1.3. Sur les courbes du document 2, lorsque le volume versé est nul, l'ordonnée à l'origine de la courbe du pH en fonction du volume versé donne le pH initial de la solution.

Lecture graphique :

$$\text{pH} = 3,3$$

Le diagramme de prédominance donné au document 1 indique que l'espèce zwitterionique $AH^{\pm}$ prédomine pour un pH entre 2,5 et 4,9. À $\text{pH} = 3,3$ on peut donc bien effectivement dire que cette espèce prédomine.

1.4. Demi-équations pour les couples $(AH^{\pm}/A^-)$ et (H_2O/OH^-), telles que l'espèce prédominante du PABA, l'espèce zwitterionique $AH^{\pm}$, réagisse en tant qu'acide avec les ions hydroxyde OH^- en tant que base :

$$\begin{array}{rcl} AH^{\pm} & = & A^- + H^+ \\ OH^- + H^+ & = & H_2O \\ \hline AH^{\pm}_{(aq)} + OH^-_{(aq)} & \rightarrow & A^-_{(aq)} + H_2O_{(\ell)} \end{array}$$

On a utilisé une simple flèche pour la réaction de dosage et pas une double flèche, car la réaction de dosage est quantitative ou totale.

1.5. Lecture graphique du volume équivalent, abscisse du maximum de la courbe dérivée :

$$V_{BE} = 14,5 \text{ mL}$$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits en proportions stœchiométriques :

$$n\,(\text{PABA})_{\text{dosé}} = n\left(OH^-\right)_{\text{versé}}$$
$$n = c_B \cdot V_{BE}$$
$$n = 0,10 \times 14,5 \times 10^{-3}$$
$$n = 1,45 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Masse de PABA dans l'échantillon :

$$m = n \cdot M$$
$$m = 1,45 \times 10^{-3} \times 137,1$$
$$m = 0,199 \text{ g} = 199 \text{ mg}$$

Pourcentage massique :

$$p = \frac{199}{200} = 0,995 = 99,5\,\%$$

2.1. Concentration molaire c :

$$c = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V}$$
$$c = \frac{1,00 \times 10^{-3}}{310,39 \times 100 \times 10^{-3}}$$
$$c = 3,22 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

2.2.a. Loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot c$$

2.2.b. Calcul du coefficient d'extinction molaire ε :

$$\varepsilon = \frac{A}{\ell \cdot c}$$

On se contente de détailler un calcul :

$$\varepsilon = \frac{0,208}{1 \times 3,22 \times 10^{-5}}$$
$$\varepsilon = 6,46 \times 10^{3}\ \mathrm{L \cdot cm^{-1} \cdot mol^{-1}}$$

L'ensemble des valeurs regroupées :

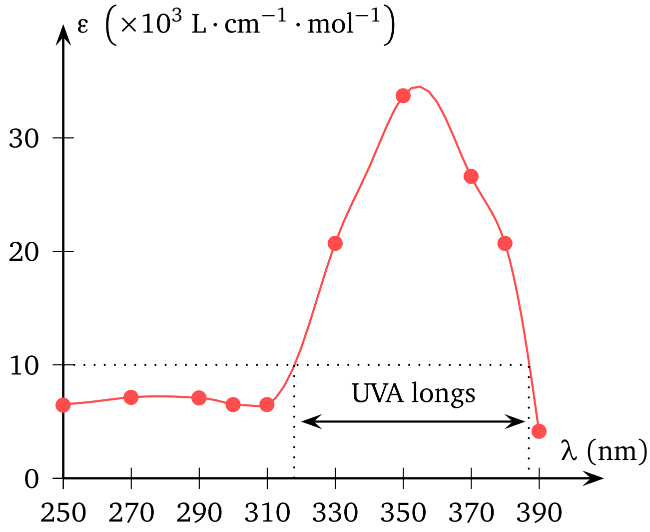
λ (nm)	A	ε ($\mathrm{L \cdot cm^{-1} \cdot mol^{-1}}$)
250	0,208	$6,46 \times 10^3$
270	0,230	$7,14 \times 10^3$
290	0,228	$7,08 \times 10^3$
300	0,210	$6,51 \times 10^3$
310	0,209	$6,49 \times 10^3$
330	0,667	$2,07 \times 10^4$
350	1,086	$3,37 \times 10^4$
370	0,857	$2,66 \times 10^4$
380	0,667	$2,07 \times 10^4$
390	0,133	$4,14 \times 10^3$

2.2.c. Spectre de la molécule d'avobenzone, ci-contre.

2.3. Effectuons une lecture graphique du domaine de longueurs d'onde tel que $\varepsilon > 10^4\ \mathrm{L \cdot cm^{-1} \cdot mol^{-1}}$:

$$318\ \mathrm{nm} < \lambda < 387\ \mathrm{nm}$$

Cette plage de longueurs d'onde est dans les UVA dits « longs ».



2.4.a. Le spectre montre une absorption dans l'UV et dans le violet (absorption néanmoins faible dans le violet) ; le document 3 indique une coloration légèrement jaunâtre pour les solutions d'avobenzone, c'est la couleur complémentaire du violet (il n'est pas indispensable d'avoir l'étoile des couleurs complémentaires pour répondre).

2.4.b. La représentation topologique de la molécule, proposée dans le document 3, montre de nombreuses liaisons doubles conjuguées, c'est-à-dire séparées les unes des autres par une seule simple liaison (on peut en compter jusqu'à huit). Ce grand nombre de liaisons doubles conjuguées est typique d'une molécule colorée, c'est-à-dire une molécule qui absorbe dans le visible.

Exercice II – Lois de Képler

1.a. Troisième loi de Képler pour une planète autour du Soleil : « Le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi-grand axe de l'orbite ».

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

Dans le cas particulier d'une orbite circulaire, $a = r$ où r est le rayon de l'orbite, et en notant k la constante, qui ne dépend que de l'astre attracteur (ici le Soleil) :

$$\frac{T^2}{r^3} = k$$

1.b. Éris et Pluton ont le même astre attracteur (le Soleil), donc on peut comparer les demi-grands axes de leurs orbites en utilisant la troisième loi de Képler (la constante est la même pour tous les corps en rotation autour d'un même astre) :

$$\frac{T_P^2}{a_P^3} = \frac{T_E^2}{a_E^3}$$

Le document 3 indique $T_P = 248$ ans pour l'orbite de Pluton, et le document 1 indique $T_E = 557$ ans pour l'orbite d'Éris, donc $T_E > T_P$. Par suite, le rapport étant constant, $a_E > a_P$, l'orbite d'Éris est donc au-delà de l'orbite de Pluton.

Remarque : les orbites sont elliptiques, donc il faut comparer les demi-grands axes a et non d'hypothétiques rayons des orbites R.

2.a. Le mouvement de Dysnomia est étudié dans un référentiel dont le centre est le centre d'inertie d'Éris, avec trois axes pointant vers trois étoiles lointaines supposées fixes, et une horloge réglée sur le temps universel (UTC ou temps universel coordonné, anciennement relié au mouvement des astres, dont la Terre).

En pratique, deux axes du repère sont choisi dans le plan de l'écliptique, plan dans lequel se déplacent les planètes autour du Soleil, ce référentiel « Éris-centrique » est donc en mouvement de translation circulaire autour du Soleil, mouvement dont les effets seront négligés. Autrement dit, ce référentiel est supposé galiléen.

2.b. Comme l'indique le document 2, le mouvement de Dysnomia dans le référentiel Éris-centrique précédent est circulaire et uniforme. Dysnomia est soumise à une seule force, l'interaction gravitationnelle due à Éris :

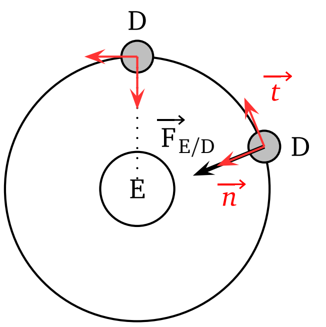
- direction : la droite (ED) reliant les centres d'inertie d'Éris et de Dysnomia ;
- sens : de Dysnomia vers Éris ;
- point d'application : le centre d'inertie D de Dysnomia ;
- valeur :

$$F_{E/D} = G\frac{M_E M_D}{R_D^2}$$

On utilise la base de Frenet, repère mobile $(D; \vec{t}, \vec{n})$ centré sur D, avec des vecteurs unitaires tangent $\vec{t}$ et normal $\vec{n}$ à la trajectoire :

$$\vec{F}_{E/D} = G\frac{M_E M_D}{R_D^2}\,\vec{n}$$

En physique, les schémas sont obligatoires :



Deuxième loi de Newton :

$$\sum \vec{F}_{ext} = M_D\,\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{E/D} = M_D\,\vec{a}$$

$$\Rightarrow \quad M_D\,\vec{a} = G\frac{M_E M_D}{R_D^2}\,\vec{n}$$

$$\Rightarrow \quad \vec{a} = G\frac{M_E}{R_D^2}\,\vec{n}$$

2.c. On utilise le résultat du cours suivant : pour un mouvement circulaire uniforme, de rayon R_D, l'accélération est centripète (uniquement selon $\vec{n}$, dirigée vers le centre E) et la valeur ou norme de l'accélération vaut :

$$a = \frac{v^2}{R_D}$$

On identifie avec l'expression de la question précédente :

$$\frac{v^2}{R_D} = G\frac{M_E}{R_D^2}$$

On simplifie par R_D et l'on prend la racine carrée :

$$v^2 = \frac{GM_E}{R_D} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{GM_E}{R_D}}$$

Le mouvement est uniforme, donc la vitesse de Dysnomia s'exprime simplement comme une distance divisée par la durée du parcours (il faudrait utiliser une dérivée si le mouvement n'était pas uniforme). Pour une orbite complète, la distance parcourue est le périmètre du cercle $2\pi R_D$, et la durée du parcours est la période T_D :

$$v = \frac{2\pi R_D}{T_D}$$

On identifie les deux expressions de la vitesse :

$$\sqrt{\frac{GM_E}{R_D}} = \frac{2\pi R_D}{T_D}$$

On isole T_D par un produit en croix :

$$T_D = 2\pi R_D\sqrt{\frac{R_D}{GM_E}}$$

On « rentre » R_D dans la racine carrée :

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{R_D^3}{GM_E}}$$

2.d. On met au carré ; un produit en croix permet de regrouper T_D et R_D :

$$T_D^2 = \frac{4\pi^2 R_D^3}{GM_E} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{T_D^2}{R_D^3} = \frac{4\pi^2}{GM_E}$$

On retrouve ainsi la troisième loi de Képler.

3.a. Un simple produit en croix à partir de la troisième loi de Képler permet de trouver l'expression de la masse de l'astre attracteur, ici Éris :

$$\frac{T_D^2}{R_D^3} = \frac{4\pi^2}{GM_E} \quad \Leftrightarrow \quad M_E = \frac{4\pi^2 R_D^3}{GT_D^2}$$

3.b. Application numérique :

$$M_E = \frac{4\pi^2 \times \left(3,60\times 10^7\right)^3}{6,67\times 10^{-11} \times (1,30\times 10^6)^2}$$

$$M_E = 1,63\times 10^{22}\ \text{kg}$$

3.c. Rapport des masses d'Éris et de Pluton :

$$\frac{M_E}{M_P} = \frac{1,63\times 10^{22}}{1,31\times 10^{22}} = 1,24$$

Les masses des deux astres sont du même ordre de grandeur. Ainsi, il n'y a aucune raison (autre que considérer l'excentricité des trajectoires) pour que seule Pluton mérite le statut de planète. Pour éviter une multiplication du nombre de planètes, les astronomes ont préféré « déclasser » Pluton de son statut, parlant d'un ensemble de planètes naines.

Exercice III – L'impesanteur

1 – L'impesanteur dans l'espace

1. a. Le système est dit « pseudo isolé » car toutes les forces se compensent. Il est incorrect de dire que le champ de gravité est nul.

b. Le système étant soumis à des forces qui se compensent, aucune force nette ne vient modifier son mouvement et par conséquent rien ne vient influer sur son état de repos ou de mouvement ; « flottement ».

2. a. En impesanteur, la masse est toujours la même (cela ne fait pas maigrir...), mais en revanche le poids a une valeur très faible, quasi nulle. Par conséquent l'astronaute a une force musculaire suffisante pour déplacer des masses considérables sans effort.

b. En cas de panne de propulsion, l'astronaute est dans l'impossibilité d'appliquer la moindre force nette (il est en impesanteur, dans le vide...), par conséquent il va d'après la première loi de Newton rester dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme (même si en pratique il finira par retomber sur Terre, au bout d'un temps long, les frottements étant faibles mais pas totalement négligeables). Sans force, pas de changement de direction ni de la valeur de sa vitesse, donc pas de retour à la navette !

c. Il est incorrect ici d'invoquer la troisième loi de Newton, puisque le gaz éjecté ne peut « s'appuyer » sur aucune matière (vide...) pour subir une quelconque force. Donc ce qui était une explication correcte (quoique partielle !) pour la force de poussée dans l'air, ne convient pas à expliquer la force de poussée dans le vide. Il faut invoquer le principe de la conservation de la quantité de mouvement. En supposant le référentiel d'étude comme galiléen, la deuxième loi de Newton s'écrit :

$$\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = \frac{d\overrightarrow{p}}{dt}$$

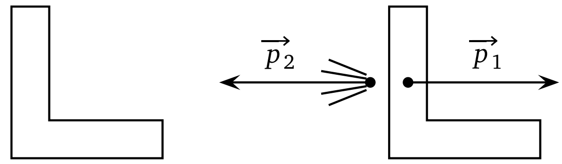
Or les forces se compensent, donc la résultante vectorielle des forces extérieures appliquées au système est nulle. Ceci implique que la dérivée de la quantité de mouvement $\overrightarrow{p}$ est nulle :

$$\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = \overrightarrow{0} \quad \Rightarrow \quad \frac{d\overrightarrow{p}}{dt} = \overrightarrow{0}$$

Donc en effectuant une primitive on trouve que le vecteur quantité de mouvement du système est un vecteur constant :

$$\Rightarrow \quad \overrightarrow{p} = \overrightarrow{\text{cte}}$$

Lorsque du gaz est explusé par l'une des valves, il emporte avec lui une certaine quantité de mouvement, qui du coup « manque » au fauteuil (pour simplifier, on a supposé le fauteuil immobile dans le référentiel d'étude, mais un mouvement rectiligne uniforme ne change rien à l'explication) :



$\overrightarrow{p} = \overrightarrow{0}$ $\qquad\qquad$ $\overrightarrow{p} = \overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} = \overrightarrow{0}$

Le fauteuil a ainsi gagné la quantité de mouvement indiquée $\overrightarrow{p_1}$ sur le schéma : il est en mouvement. L'astronaute a l'impression de subir une force de poussée, comme sur Terre, et il peut donc diriger son fauteuil à sa guise.

2 – L'impesanteur sur Terre

1. a. Il faut que l'avion soit en chute libre. Pour cela la force de poussée exerccée par les réacteurs et les forces de portance sur les ailes doivent exactement compenser le poids et les forces de traînée (frottements).

b. La trajectoire doit être parabolique. Plus précisément, il faut exactement reproduire une trajectoire d'équation horaire du type $z(t) = -\frac{1}{2}gt^2$.

2. Système, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection sur deux axes dans le plan (xOz)... comme dans le cours, mais il ne faut ômettre d'ajouter une altitude h à l'équation horaire $z(t)$:

$$\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\alpha)\, t \\ z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t + h \end{cases}$$

Équation de la trajectoire comme dans le cours, mais avec le même h en plus :

$$z(x) = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} + (\tan\alpha)x + h$$

Et on vérifie bien que la trajectoire est une parabole, du type $z(x) = \text{A}x^2 + \text{B}x + \text{C}$.

3. L'altitude maximale est atteinte lorsque la vitesse verticale $v_z(t)$ s'annule en changeant de signe :

$$v_z(t_S) = -gt_S + v_0 \sin\alpha = 0 \quad \Rightarrow \quad t_S = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$$

En remplaçant comme dans le cours dans l'expression $z(t)$, on trouve l'altitude maximale atteinte :

$$z(t_S) = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} + h$$

Application numérique :

$$z(t_S) = \frac{\left(\frac{590}{3{,}6}\right)^2 \sin^2(47^{\circ})}{2 \times 9{,}81} + 8\,000 = 8{,}7 \times 10^3 \text{ m}$$

4. La parabole est une courbe symétrique :

$$\Delta t = 2t_S = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} = \frac{2 \times \frac{590}{3{,}6}\sin 47^{\circ}}{9{,}81} = 24 \text{ s}$$

Grille BB2 TS2

I – Filtres anti-UV **.../18**

- ❑ Coupelle + spatule + balance pour 200 mg de PABA + Agiter la fiole !
- ❑ Fiole jaugée de 100 mL + jusqu'au trait de jauge à l'eau distillée
- ❑ Pas de saut de pH
- ❑ Initialement $\mathrm{pH} = 3,4$ sur l'une des deux courbes
- ❑ $3,5 < \mathrm{pH} < 3,9$ donc bien le domaine de $\mathrm{AH}^{\pm}$
- ❑ $\mathrm{AH}^{\pm}_{(aq)} + \mathrm{OH}^{-}_{(aq)} \rightarrow \mathrm{A}^{-}_{(aq)} + \mathrm{H_2O}_{(\ell)}$
- ❑ $\mathrm{V_{BE}} = 14,5$ mL
- ❑ $n = c_{\mathrm{B}}\mathrm{V_{BE}} = 1,45$ mmol
- ❑ $m = n\mathrm{M} = 199$ mg
- ❑ 99,5 %
- ❑ $c = m/\mathrm{MV} = 3,22 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$
- ❑ $\mathrm{A} = \varepsilon \ell c$
- ❑ 1 calcul de ε détaillé, de $6,46 \times 10^{3}$ à $4,14 \times 10^{3}$
- ❑ 7,14 / 7,08 / 6,51 / 6,49 pour les 10^3 et 2,07 / 3,37 / 2,66 / 2,07 pour les 10^4
- ❑ Spectre $\varepsilon = f(\lambda)$ avec légende et unités
- ❑ Au dessus de 10^4 entre 310 et 380 nm, UV-A longs
- ❑ Légère absorbtion du violet, jaune couleur complémentaire
- ❑ Nombreuses doubles liaisons conjuguées donc absorption dans le visible

II – Lois de Képler **.../12**

- ❑ Énoncé troisième loi de Képler
- ❑ $\mathrm{T_E} = 557$ ans $> \mathrm{T_P} = 248$ ans donc $\mathrm{R_E} > \mathrm{R_P}$ d'après la 3ᵉ loi de Képler
- ❑ Référentiel Éris-centrique + définition
- ❑ Bilan des forces $\overrightarrow{\mathrm{F}}_{\mathrm{E/D}}$ + deuxième loi de Newton $\sum \overrightarrow{\mathrm{F}}_{\mathrm{ext}} = m\,\overrightarrow{a}$
- ❑ $\overrightarrow{a} = \mathrm{GM_E}/\mathrm{R_D^2}\,\overrightarrow{n}$
- ❑ $a = v^2/\mathrm{R_D}$ donc $v = \sqrt{\mathrm{GM_E}/\mathrm{R_D}}$
- ❑ $v = 2\pi \mathrm{R_D}/\mathrm{T_D}$ donc $\mathrm{T_D} = 2\pi\sqrt{\mathrm{R_D^3}/\mathrm{GM_E}}$
- ❑ Étapes jusqu'à la 3ᵉ loi de Képler
- ❑ $\mathrm{M_E} = 4\pi^2\mathrm{R_D^3}/\mathrm{GT_D^2}$ démontrée
- ❑ $\mathrm{M_E} = 1,63 \times 10^{22}$ kg
- ❑ $\mathrm{M_E}/\mathrm{M_P} = 1,24$
- ❑ Discussion du statut de Pluton et d'Éris

III – L'impesanteur **.../20**

- ❑ Système pseudo-isolé car les forces se compensent (on ne précise pas plus)
- ❑ Si les forces se compensent, rien ne vient modifier le mouvement dans l'espace : « flottement »
- ❑ En impesanteur, peu importe la masse !
- ❑ Si propulsion défaillante, impossibilité d'appliquer une force
- ❑ Si pas de force, pas de modification du mouvement et donc pas de retour à la navette...
- ❑ Conservation de quantité de mouvement du système { gaz + astronaute }
- ❑ Implique l'existence d'une force de poussée
- ❑ Avion en chute libre, forces qui se compensent, pour avoir impesanteur
- ❑ Trajectoire parabolique avec $-\frac{1}{2}gt^2$ exactement
- ❑ Bilan des forces $\overrightarrow{\mathrm{P}}$ + deuxième loi de Newton $\sum \overrightarrow{\mathrm{F}}_{\mathrm{ext}} = m\,\overrightarrow{a}$
- ❑ $a_x = 0$ et $a_z = -g$
- ❑ $v_x = v_0 \cos\alpha$ et $v_z = -gt + v_0 \sin\alpha$
- ❑ $x = (v_0\cos\alpha)\,t$ et $z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)\,t + h$ ou hauteur initiale si origine du repère à 8 200 m !
- ❑ $z(x)$ en accord avec les équations horaires précédentes
- ❑ $v_z(t_{\mathrm{S}}) = 0$ au sommet donc $t_{\mathrm{S}} = v_0 \sin\alpha / g$
- ❑ $z_{\mathrm{S}} = v_0^2 \sin^2\alpha/2g + h$ ou formule cohérente avec notations précédentes
- ❑ $z_{\mathrm{S}} = 8\,700$ m, calcul posé avec conversion de 590 km/h en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- ❑ $\Delta t = 2t_s = 2v_0 \sin\alpha/g$
- ❑ $\Delta t = 24$ s, en accord avec les 25 s du texte

Total .../50

Note **.../20**