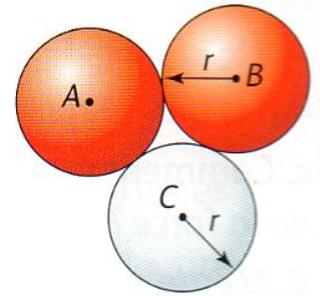


**EX1 : Interactions fondamentales 6 pts**

Le noyau d'hélium 3 comporte 2 protons A et B et un neutron C. On suppose que les centres des nucléons sont tous placés dans un même plan, ces nucléons étant jointifs.

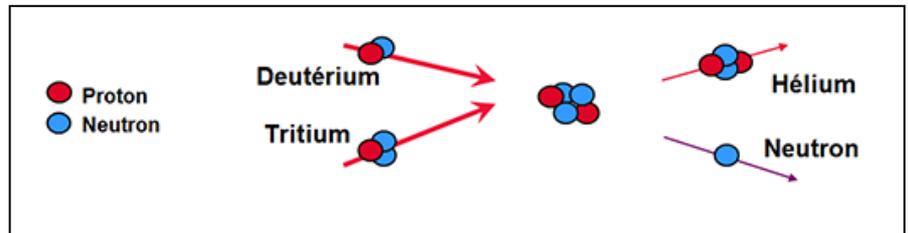
1. Donner l'expression littérale puis calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par A sur B.
2. Donner l'expression littérale puis calculer la valeur de la force électromagnétique exercée par A sur B. S'agit-il d'une force attractive ou répulsive ? Justifier.
3. Calculer le rapport des ordres de grandeur des forces calculées et commenter le résultat.
4. Comment expliquer la cohésion du noyau d'hélium 3 ?



**Données :**  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$        $m_{\text{nucléon}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$        $r = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$   
 $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$        $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

**EX2 : Un mégalaser pour faire de la fusion 14 pts****DOC 1 : Expériences de fusion**

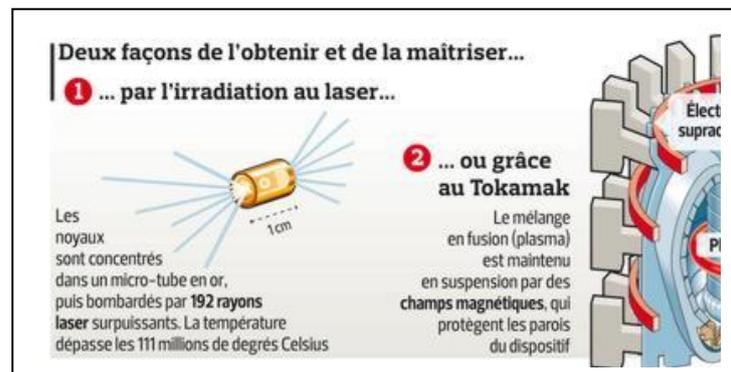
La maîtrise des réactions de fusion est un des grands défis scientifiques de notre siècle. La réaction la plus étudiée est la fusion du deutérium (D) et du tritium (T), deux isotopes de l'hydrogène, qui en fusionnant vont former un noyau d'hélium et émettre un neutron très énergétique.



Ce phénomène ne peut avoir lieu que dans des conditions de température et de pression extrêmement élevées.

Pour cela, deux types d'expériences sont réalisées en laboratoire :

- La fusion par confinement magnétique (grâce à un énorme électroaimant appelé "Tokamak" ).....
- La Fusion par confinement inertiel utilisant des lasers de puissance comme le **Laser Mégajoule (LMJ)** qui vont produire un *plasma* (\*) très dense mais de très courte durée.  
 (\*) En physique, un *plasma* décrit un état de la matière constitué de particules chargées : ions et électrons



L'énergie du LMJ, de l'ordre du Mégajoule, a été calculée de façon à atteindre l'ignition (\*) avec un gain considérable entre l'énergie produite par les réactions thermonucléaires et l'énergie laser fournie à la cible.

(\*) On parle du seuil d'*ignition* d'une réaction nucléaire lorsque celle-ci franchit le point auquel elle se suffit à elle-même 1.

<http://www-lmj.cea.fr/fr/experiences/index.htm>

**DOC 2 : Le Laser Mégajoule (LMJ)**

Le LMJ est dimensionné pour délivrer sur une cible de quelques millimètres, en quelques milliardièmes de seconde, une énergie lumineuse supérieure à un million de joules.

Le LMJ a été mis en service fin 2014, avec une première campagne de physique des armes. Il est installé au sein du Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine (Cesta), sur la commune du Barp en Gironde

« Dans une cavité en or de quelques millimètres de long, on place une micro-bille contenant quelques dixièmes de milligrammes d'atomes de la famille de l'hydrogène: 0,40 mg de deutérium et une masse  $M$  de tritium. Les faisceaux laser UV de longueur d'onde 351 nm convergent dans la cavité en émettant une énergie de 1,8 MJ et sont absorbés par les parois qui jouent le rôle d'un four. Dans la micro-bille, de la taille d'un grain de riz, la température et la pression augmentent jusqu'à atteindre les conditions pour la fusion. À ce stade, la matière est un mélange d'atomes, d'ions et d'électrons. Grâce à l'intense agitation thermique au centre de la micro-bille, les noyaux de même charge électrique de deutérium et de tritium, qui naturellement se repoussent, viennent en contact et se combinent dans un temps très court pour former un noyau d'hélium en libérant un neutron. En se produisant simultanément un grand nombre de fois, cette réaction libère un fort dégagement d'énergie. »

d'après <http://aquitaine.univ-nam.net/spip.php?article13>

### Données :

| Noyaux     | Neutron          | Electron            | Deutérium        | Tritium          | Hélium            |
|------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Symbole    | ${}_0^1\text{n}$ | ${}_{-1}^0\text{e}$ | ${}_1^2\text{H}$ | ${}_1^3\text{H}$ | ${}_2^4\text{He}$ |
| Masse en u | 1,00866          | 0,00055             | 2,01355          | 3,01355          | 4,00150           |

Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,660 54 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Électron - volt :  $1 \text{ eV} = 1,602 18 \times 10^{-19} \text{ J}$

Vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 2,997 924 58 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

### Questions générales sur la radioactivité

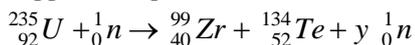
- Le tritium et le deutérium sont des noyaux radioactifs.
  - Qu'est-ce qu'un-noyau radioactif ?
  - Donner la composition des noyaux de deutérium et de tritium. Comment nomme-t-on de tels noyaux ?
  - Le noyau de tritium est radioactif  $\beta^-$ . Écrire l'équation de sa désintégration en rappelant les lois de conservation utilisées.
- Le noyau de tritium a une demie-vie  $t_{1/2} = 12 \text{ ans}$ .  
Une source de tritium a une activité  $A_0 = 5,62 \cdot 10^{24} \text{ Bq}$  à la date  $t = 0$ .  
Quelle sera son activité 36 ans plus tard ?
- Définir l'**activité** d'une source radioactive et donner un exemple de valeur
- Citer deux applications utiles de la radioactivité (préciser les noyaux radioactifs)

### Étude de la réaction de fusion

- Expliquer pourquoi la fusion nécessite "des conditions de température et de pression extrêmement élevées "
- Écrire l'équation de la réaction de fusion mise en œuvre dans la micro-bille du laser Mégajoule.
- Exprimer l'énergie libérée par cette fusion en fonction des masses des noyaux et des particules mise en jeu.  
Calculer cette énergie en joule et en mégaelectronvolt (MeV).
- Dans le cas du Laser Mégajoule, calculer, en joule puis en Megajoule, l'énergie libérée par la réaction de fusion impliquant **0,40 mg** de deutérium.  
(Aide : l'énergie calculée en 7. est l'énergie libérée lors de la fusion impliquant **un** noyau de deuterium )
- Justifier l'affirmation du DOC 1 "... un gain considérable entre l'énergie produite par les réactions thermonucléaires et l'énergie laser fournie à la cible"

### La fusion , comme alternative à la fission

- La fusion est appelée un jour à remplacer la fission pour la production d'énergie.  
Rappeler ce qu'est **une réaction de fission** et trouver le nombre  $y$  de neutrons émis lors de la réaction suivante :



**EX1 : Interactions fondamentales 6 pts**

$$1. F_g = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} = G \times \frac{m_{\text{nucléon}}^2}{(2r)^2} \quad F_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{(1,67 \cdot 10^{-27})^2}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 3,2 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

$$2. F_e = k \times \frac{q_A \times q_B}{d^2} = k \times \frac{(+e)^2}{(2r)^2} \quad F_e = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{(1,60 \cdot 10^{-19})^2}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 40 \text{ N}$$

3.  $F_e/F_g = 40/3,2 \cdot 10^{-35} = 1,25 \cdot 10^{36}$ . L'ordre de grandeur du rapport des forces est  $10^{36}$   
La force électromagnétique qui est ici répulsive, est  $10^{36}$  fois plus grande que la force gravitationnelle attractive.

4. Il y a donc une autre interaction qui explique la cohésion du noyau : c'est **l'interaction forte**

**EX2 : Un mégalaser pour faire de la fusion 14 pts**

1. Le tritium et le deutérium sont des noyaux radioactifs.

a. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

Un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre spontanément avec émission de particules et de rayonnements.

ou cours :

Un noyau radioactif est un noyau instable.

La radioactivité est la manifestation spontanée d'une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau radioactif se désintègre. La radioactivité est dite **naturelle** lorsque les noyaux instables existent dans la nature, elle est dite **artificielle** lorsqu'ils sont créés en laboratoire.

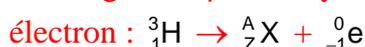
b. Donner la composition des noyaux de deutérium et de tritium. Comment nomme-t-on de tels noyaux  
Deutérium  ${}^2_1\text{H}$  : 1 proton et  $(2 - 1) = 1$  neutron

Tritium  ${}^3_1\text{H}$  : 1 proton et  $(3 - 1) = 2$  neutrons

Ces deux noyaux sont **isotopes** car ils possèdent le même nombre de proton, mais des nombres de neutrons différents.

c. Le noyau de tritium est radioactif  $\beta^-$ . Écrire l'équation de sa désintégration en rappelant les lois de conservation utilisées.

Désintégration  $\beta^-$  du noyau de tritium  ${}^3_1\text{H}$  soit désintégration avec émission d'un



Conservation du nombre de charge Z :  $1 = Z - 1 \Rightarrow Z = 2$  (élément hélium)

Conservation du nombre de nucléons A :  $3 = A + 0 \Rightarrow A = 3$

Donc  ${}^A_Z\text{X} = {}^3_2\text{He}$

2. Le noyau de tritium a une demie-vie  $t_{1/2} = 12$  ans.

Une source de tritium a une activité  $A_0 = 5,62 \cdot 10^{24}$  Bq à la date  $t = 0$ .

Quelle sera son activité 36 ans plus tard ?

Tous les 12 ans, l'activité est divisée par deux.

Donc au bout de 36 ans ( $3 \times 12$  ans), l'activité sera divisée par  $2^3$  donc par 8 :  $A = A_0/8 = 5,62 \cdot 10^{24}/8 = 7,025 \cdot 10^{23}$  Bq

3. Définir l'**activité** d'une source radioactive et donner un exemple de valeur

Cours : L'activité A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations qu'il produit par seconde.

A s'exprime en becquerel (Bq) avec  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration/s}$  On peut retenir la valeur **8000 Bq pour un être humain et 10 millions de Bq pour 1 kg de minerai d'Uranium**

4. Citer deux applications utiles de la radioactivité (préciser les noyaux radioactifs)  
cours : Datation au carbone 14 , traceurs radioactifs en médecine : iode 131 et technétium 99

### Étude de la réaction de fusion

5. Expliquer pourquoi la fusion nécessite "des conditions de température et de pression extrêmement élevées "  
Comme tous les noyaux d'atomes , les noyaux de deutérium et de tritium sont chargés + et ont tendance à se repousser en raison de l'interaction électromagnétique . Et pour réaliser leur fusion , il faut trouver un moyen de les faire se rapprocher .  
On sait qu'augmenter la température permet d'augmenter la vitesse d'agitation des particules au niveau microscopique. Donc en chauffant on pourra plus facilement faire se rapprocher les noyaux car ils seront "lancés" à grande vitesse . Augmenter la pression permet aussi de les rapprocher

6. Écrire l'équation de la réaction de fusion mise en œuvre dans la micro-bille du laser Mégajoule.  
Un noyau de tritium  ${}^3_1\text{H}$  se combine avec un noyau de deutérium  ${}^2_1\text{H}$  pour former un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  et un neutron  ${}^1_0\text{n}$  :  ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

7. Exprimer l'énergie libérée par cette fusion en fonction des masses des noyaux et des particules ..  
Calculer cette énergie en joule et en mégaelectronvolt (MeV).

Énergie libérée par la fusion  ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2 = |m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}}| \times c^2$$

$$\Delta m = m({}^4_2\text{He}) + m({}^1_0\text{n}) - m({}^3_1\text{H}) - m({}^2_1\text{H}) = 4,00150 + 1,00866 - 3,01355 - 2,01355 \\ = -0,01694 \text{ u} = -0,01694 \times 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = -2,81295476 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2 = 2,81295476 \cdot 10^{-29} \times (2,997\,924\,58 \times 10^8)^2 = 2,52816 \times 10^{-12} \text{ J} \\ = 2,52816 \times 10^{-12} / 1,602\,18 \times 10^{-19} = 15\,779\,485 \text{ eV} = \mathbf{15,8 \text{ MeV}}$$

L'énergie libérée par la réaction de fusion est de 15,8 MeV

8. Dans le cas du Laser Mégajoule, calculer, en joule puis en Megajoule, l'énergie libérée par la réaction de fusion impliquant **0,40 mg** de deutérium.  
(Aide : l'énergie calculée en 7. est l'énergie libérée lors de la fusion impliquant **un** noyau de deuterium )

La masse  $m = 0,40 \text{ mg}$  de deutérium contient un nombre de noyaux égal à  $N({}^2_1\text{H}) = \frac{m}{m({}^2_1\text{H})}$

$$N({}^2_1\text{H}) = \frac{0,40 \times 10^{-3}}{2,01355 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times 10^3} = 1,1963 \times 10^{20} = 1,2 \times 10^{20} \text{ noyaux.}$$

1 noyau de deutérium libère  $2,53 \times 10^{-12} \text{ J}$  lors de la fusion.

$1,2 \times 10^{20}$  noyaux de deutérium libèrent donc une énergie égale à :

$$1,2 \times 10^{20} \times 2,53 \times 10^{-12} \text{ J} = \mathbf{3,0 \times 10^8 \text{ J}}$$

9. Justifier l'affirmation du DOC 1 "...

L'énergie nécessaire au déclenchement de la fusion est **1,8 MJ**.

L'énergie libérée par la fusion est  **$3,0 \times 10^8 \text{ J}$**  soit **300 MJ**.

La fusion à l'aide du laser Megajoule libère environ 167 fois plus d'énergie qu'elle n'en consomme, d'où son intérêt.

### La fusion , comme alternative à la fission

10. La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd , dit fissile , est scindé en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron . On trouve facilement  $\gamma = 3$