

1] 光の性質と光電効果

金属に光を当てると電子が飛び出した。この現象を何というか。また、飛び出した電子を何とよぶか。

金属板の表面にある振動数の光を照射したら電子が飛び出した。次の各場合、光電子の最大の運動エネルギーはどうなるか。

- (ア) 光量を変えずに振動数を増す。
- (イ) 振動数を変えずに光量を増す。

2] 16 光電効果 [2016 九州工業大]

光の粒子性、光子について考える。真空中にしたガラス管の中に電極 J と電極板 K を置いた図 1 のような装置を考える。電極には電圧の大きさとその向きを変えることができる電源装置を接続し、電極 J の電位 V と回路に流れる電流 I を測定する。電極 J の電位 V は電極板 K を基準 (0V) とし、電流 I の向きは電極 J から電極板 K に流れる向きを正とする。この装置の電極板 K に振動数  $\nu$  の単色光を当てると、電極板 K から光電子とよばれる電子が飛び出し、その電子が電極 J に到達すると電流 I が流れる。真空中の光の速さを  $c$ 、電子の電気量を  $-e$  とする。次の問いに答えよ。

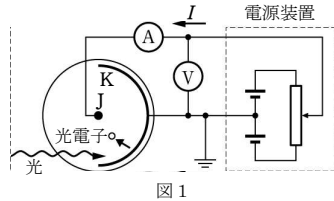


図 1

(1) 真空中での振動数  $\nu$  の単色光の波長を、 $\nu$ ,  $c$ ,  $e$  から必要なものを用いて表せ。  
 (2) 振動数  $\nu$  の光子 1 個がもつエネルギーをプランク定数  $h$  と  $\nu$  を用いて表せ。  
 (3) 電極板 K に入射する単色光をさえぎった場合、電位 V に関係なく  $I=0$  であった。次に、振動数  $\nu$  の単色光を電極板 K に入射させると、電位  $V < -V_0$  では  $I=0$ 、電位  $V \geq -V_0$  では  $I > 0$  で、電位 V と電流 I の関係は図 2 のようになった。ただし、 $V=0$  のとき  $I=I_1$  である。同じ単色光の強さを弱めて、 $V=0$  のときに流れる電流が半分  $I = \frac{I_1}{2}$  になるようにした場

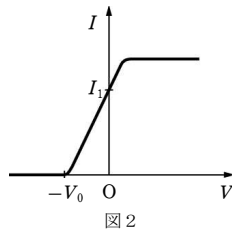


図 2

- 合、電位 V と電流 I の関係はどのようになるか。図 2 につ
- (4) 電極板 K から飛び出した瞬間の光電子がもつ運動エネルギー [J] の最大値を、 $\nu$  [Hz],  $c$  [m/s],  $e$  [C],  $h$  [J·s],  $V_0$  [V] から必要なものを用いて表せ。
  - (5) (2) の光子 1 個がもつエネルギーと、(4) の光電子がもつ運動エネルギーの最大値には差がある。その差にあたるエネルギーの名称を記せ。

3] 15 光電効果 [2015 秋田大]

次の文章中の [ア], [イ] を語句で埋め、[ウ], [オ], [カ] を数式で埋め、(エ) は ①, ② のうちから正しいものを 1 つ選び、[キ] は ①~④ のうちから正しいものを 1 つ選べ。

- (1) 金属などの物質に波長の短い光を当てたとき、金属から電子が外部に飛び出てくる現象を [ア] という。また、このとき飛び出てくる電子を [イ] という。この現象は、光は光子 (光量子) とよばれる粒子の集まりであり、振動数が  $\nu$  である光子の 1 個のエネルギー  $E$  は、プランク定数を  $h$  とすると [ウ] で与えられる、という光子説で説明される。金属から 1 個の電子を取り出すために必要な最小のエネルギー (仕事関数) を  $W$  とすると、(エ: ①  $E > W$  ②  $E < W$ ) のときに、金属から電子が飛び出るようになる。

- (2) さまざまな振動数の光を金属 A に当て、光の振動数  $\nu$  と、飛び出てくる電子の運動エネルギーの最大値  $K_0$  との関係を調べると、図 1 のようになった。図中の  $\nu_0$ ,  $\nu_1$ ,  $k_1$  を用いると、プランク定数  $h$  は [オ]、金属 A の仕事関数  $W_A$  は [カ] となる。次に、仕事関数  $W_B$  ( $W_B > W_A$ ) の金属 B においても、 $\nu$  と  $K_0$  との関係を調べた。2 つの金属 A, B における  $\nu$  と  $K_0$  との関係を表したグラフとして最も適当なものは、図 2 の [キ] である。ただし、図 2 において、実線が金属 A、破線が金属 B を表すものとする。

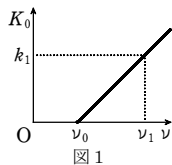


図 1

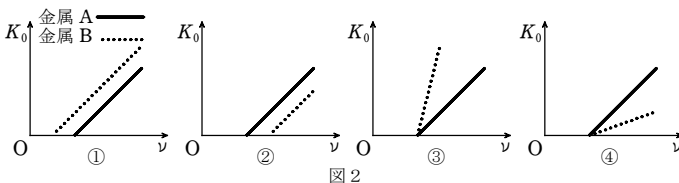
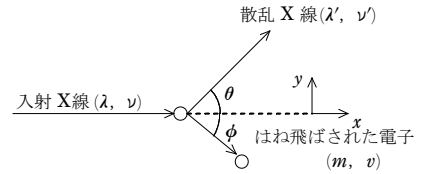


図 2

4] G コンプトン効果

図のように、振動数  $\nu$  [Hz] の入射 X 線が、静止している電子 ( $m$  [kg]) に衝突した後、X 線と電子はそれぞれ入射方向となす角  $\theta$  [rad],  $\phi$  [rad] で散乱された。プランク定数を  $h$  [J·s]、光の速さを  $c$  [m/s] とすると、X 線はエネルギー  $h\nu$ 、運動量



$\frac{h\nu}{c}$  の光子としてふるまう。X 線の入射方向を  $x$  軸とし、散乱が起こる平面内で  $x$  軸と垂直な方向を  $y$  軸とする。この平面で散乱された X 線の振動数を  $\nu'$  [Hz]、はね飛ばされた電子の速さを  $v$  [m/s] として次の問いに答えよ。

- (1)  $x$  軸方向の運動量保存則を式で表せ。
- (2)  $y$  軸方向の運動量保存則を式で表せ。
- (3) エネルギー保存則を式で表せ。
- (4) 入射 X 線の波長を  $\lambda$  [m]、散乱 X 線の波長を  $\lambda'$  [m] として、(1)~(3) を整理すると  $\lambda' - \lambda \approx \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$  となる。 $\lambda'$  と  $\lambda$  の差が最も大きくなる角度  $\theta$  はいくらか。

5] G 物質波

今世紀の初期に、光電効果やコンプトン効果などの現象を理解するためには、光は波動の性質をもつとともに、[ア] とよばれる粒子の流れでもあったと考えねばならないことが示された。この粒子のもつエネルギー  $E$  [J] と運動量  $p$  [kg·m/s] は、光の速さを  $c$  [m/s]、波長を  $\lambda$  [m]、プランク定数を  $h$  [J·s] とし、 $E =$  [イ]、 $p =$  [ウ] と表される。

また逆に、それまで粒子と考えられてきた電子などは、波動の性質をもつことが、干渉や回折の実験で確かめられた。このような物質粒子にともなう波を [エ] という。そして、この波に対しても上記のエネルギー  $E$  および運動量  $p$  の関係式は、そのまま成立することが分かった。したがって、電子の質量を  $m$  [kg]、速度を  $v$  [m/s] とすれば、その波長  $\lambda$  [m] は運動量  $p$  に対する式を用いて  $\lambda =$  [オ] となる。いま、初速度 0 の電子が電圧  $V$  [V] で加速されれば、電子の運動エネルギーは、電子の電荷を  $e$  [C] とすると、[カ] となるので、電子の速さは [キ] である。また、この電子の波長  $\lambda$  [m] は、 $m$  [kg],  $e$  [C],  $h$  [J·s],  $V$  [V] を用いて  $\lambda =$  [ク] と表すことができる。

6] G 電子波

静止している電子を電圧  $V = 1.0 \times 10^4$  V で加速したとき、次の各問いに答えよ。電子の質量を  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg、電子の電荷を  $-e = -1.6 \times 10^{-19}$  C、プランク定数を  $h = 6.6 \times 10^{-34}$  J·s、真空中の光の速さを  $c = 3.0 \times 10^8$  m/s とする。

- (1) 電子の運動エネルギー  $E$  を求めよ。
- (2) 電子の速さ  $v$  を求めよ。
- (3) この電子にともなう電子波の波長  $\lambda_e$  は何 m か。

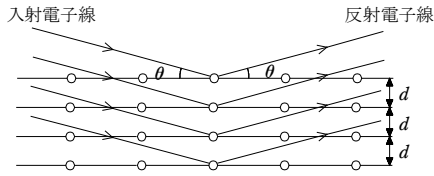
7] G 物質波の波長

次の場合、物質波の波長は何 m か。ただし、プランク定数は  $h = 6.6 \times 10^{-34}$  J·s、光の速さは  $c = 3.0 \times 10^8$  m/s とする。

- (1) 質量 60 g のテニスボールが 72 km/h で飛んでいる。
- (2) 電子 (質量  $9.1 \times 10^{-31}$  kg) が、光の速さの  $\frac{1}{100}$  の速さで飛んでいる。

8]G電子線回折

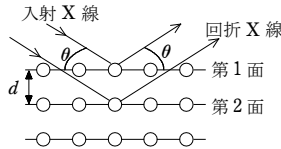
図のように、電子線を格子間隔  $d$  の結晶面に入射させ、反射電子線の強度を測定した。角度を  $0$  から増加させていったところ、 $\theta = \theta_0$  で反射強度が極大を示した。電子の質量を  $m$ 、プランク定数を  $h$  とし



- 電子の運動エネルギーを  $E$  とすると、この電子線の波長はいくらか。
- $E$  を  $m$ 、 $d$ 、 $\theta_0$  および  $h$  を用いて表せ。

9]Gブラッグ反射

X線が波の性質を示すことは、X線を結晶に当てたときの干渉現象によって確かめられた。図のように、原子面と入射X線とのなす角を  $\theta$  とし、隣りあう原子面の間隔を  $d$  とする。結晶中でもX線の波長は変わらないものとする。



- 第1面と第2面で反射したX線の道のりの差を  $d$ 、 $\theta$  を用いて表せ。
- $\theta$  の方向で波長  $\lambda$  のX線が強めあうとき、 $d$ 、 $\theta$ 、 $\lambda$  の間に成り立つ関係式(ブラッグの反射条件)を示せ。

10]17ド・ブロイ波長 [2017 センター物理 (2015～ )]

物質波に関する次の問い(1)～(3)に答えよ。ただし、プランク定数を  $h$ 、真空中の光の速さを  $c$  とする。

- 次の文章中の空欄 [ア]・[イ] に入れる式と語の組合せとして最も適当なものを、下の ①～⑨ のうちから1つ選べ。 [1]

19世紀末から20世紀にかけて、光電効果の実験やコンプトン効果の実験などにより、光が波動としての性質とともに、粒子としての性質をあわせもつことがわかった。振動数  $\nu$  の光の粒子(光子)1個は、エネルギー  $h\nu$  と、運動量 [ア] をもつ。一方、ド・ブロイは、物質も波動の性質をもつと考え、質量  $m$  の粒子の物質波の波長(ド・ブロイ波長)は、運動量の式を変形して、 $\lambda = \frac{h}{mv}$  であると提唱した。このような、一見すると相反する性質をあわせもつことを、粒子と波動の [イ] という。

	ア	イ
①	$h\nu c$	対称性
②	$h\nu c$	二重性
③	$h\nu c$	不確定性
④	$\frac{h\nu}{c}$	対称性
⑤	$\frac{h\nu}{c}$	二重性
⑥	$\frac{h\nu}{c}$	不確定性
⑦	$\frac{hc}{\nu}$	対称性
⑧	$\frac{hc}{\nu}$	二重性
⑨	$\frac{hc}{\nu}$	不確定性

- 理想気体では、分子の平均運動エネルギーは温度だけで決まる。理想気体の温度が  $T$  から  $4T$  に変化するとき、平均運動エネルギーをもつ分子のド・ブロイ波長は元の何倍になるか。正しいものを、次の ①～⑦ のうちから1つ選べ。 [2] 倍

- ①  $\frac{1}{4}$    ②  $\frac{1}{2}$    ③  $\frac{1}{\sqrt{2}}$    ④ 1   ⑤  $\sqrt{2}$    ⑥ 2   ⑦ 4

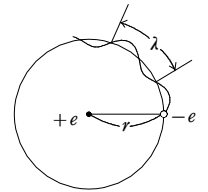
- 次の文章中の空欄 [ウ]・[エ] に入れる語句の組合せとして最も適当なものを、下の ①～⑧ のうちから1つ選べ。 [3]

物質が波動性を示すことは、[ウ] を観測することで確かめられる。数千ボルトの電圧で加速された電子のド・ブロイ波長は、X線の波長と同程度になるので、電子線を [エ] に当てるとX線同様の [ウ] を観測できる。

	ウ	エ
①	ラザフォード散乱	原子核
②	ラザフォード散乱	結晶
③	発光現象	原子核
④	発光現象	結晶
⑤	回折現象	原子核
⑥	回折現象	結晶
⑦	重力波の発生	原子核
⑧	重力波の発生	結晶

11]G水素原子模型

質量  $m$  [kg]、電荷  $-e$  [C] の電子が、 $+e$  [C] の電荷をもつ原子核(陽子)のまわりを半径  $r$  [m]、速さ  $v$  [m/s] の等速円運動をしている。電子の軌道円周はそのドブロイ波長の  $n$  (自然数) 倍であると仮定する。クーロンの法則の比例定数を  $k_0$  [ $N \cdot m^2/C^2$ ]、プランク定数を  $h$  [J·s] として次の問いに答えよ。



- 原子核と電子が及ぼしあう静電気力の大きさはいくらか。
- 電子は静電気力を向心力として円運動している。静電気力と向心力の関係を示して式で表せ。
- 電子のドブロイ波長  $\lambda$  はいくらか。  $m$ 、 $v$ 、 $h$  を用いて表せ。
- 軌道半径  $r$  を  $e$ 、 $m$ 、 $h$ 、 $k_0$ 、 $n$  を用いて表せ。
- 電子は運動エネルギー  $(\frac{1}{2}mv^2)$  と静電気力による位置エネルギー  $(-k_0\frac{e^2}{r})$  をもつ。電子のもつ全エネルギー  $E$  を  $e$ 、 $m$ 、 $h$ 、 $k_0$ 、 $n$  を用いて表せ。

12]Gバルマーの公式

バルマーは水素の線スペクトルの波長が

$$\lambda = 3.646 \times \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \times 10^{-7} \text{ [m]} \quad (n=3, 4, 5, \dots)$$

で表されることを示した。

- この系列の線スペクトルで目に見える線は何本あるか。ただし、可視光線の波長の範囲を  $4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  から  $7.7 \times 10^{-7} \text{ m}$  とする。
- 上のバルマーの式は逆数をとると、次のように2項の差として表される。

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

これからリュードベリ定数  $R$  の値を有効数字4桁まで求めよ。

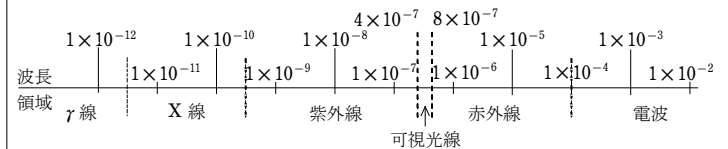
13]Gライマン系列の光

水素原子から出るライマン系列の光(電磁波)の波長  $\lambda$  は

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n=2, 3, 4, \dots)$$

と表される。ここで、 $R$  はリュードベリ定数でその値は  $1.1 \times 10^7$  [1/m] である。

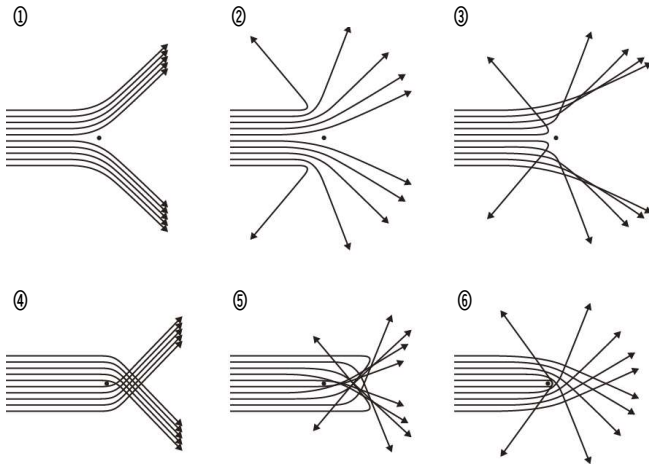
ライマン系列で放射される光(電磁波)は、下表のどの領域のものか。



14 15原子モデル [2015 センター物理 (2015～ )]

原子核の発見と原子の構造の解明に関する次の問い(1)～(3)に答えよ。

- (1) 金箔(きんぱく)に照射した  $\alpha$  粒子(電気量  $+2e$ ,  $e$  は電気素量)の散乱実験の結果から、ラザフォードは、質量と正電荷が狭い部分に集中した原子核の存在を突き止めた。金の原子核による  $\alpha$  粒子の散乱の様子を示した図として最も適当なものを、次の ①～⑥のうちから1つ選べ。ただし、図中の黒丸は原子核の位置を、実線は原子核の周辺での  $\alpha$  粒子の飛跡を模式的に示している。 1



- (2) 次の文章中の空欄 ア・イ に入れる語の組合せとして最も適当なものを、下の ①～⑥のうちから1つ選べ。 2

電子が原子核のまわりを円運動していると考えたラザフォードの原子模型では、電子が電磁波を放射して徐々にアを失い、電子の軌道半径が時間とともに小さくなってしまふという問題があった。ボーアはこの問題を解決するために「原子中の電子は、ある条件を満足する円軌道上のみで運動している」という仮説を導入した。このとき、電子はある決まったエネルギーをもち電磁波を放射しない。この状態を定常状態という。

さらに、「電子がある定常状態から別のエネルギーをもつ定常状態に移るとき、その差のエネルギーをもつ1個のイが放出または吸収される」という仮説も導入し、水素原子のスペクトルの説明に成功した。

	ア	イ
①	質量	光電子
②	質量	光子
③	エネルギー	光電子
④	エネルギー	光子
⑤	電荷	光電子
⑥	電荷	光子

- (3) 定常状態は、ド・ブロイによって提唱された物質波の考えを用いることにより、波動としての電子が原子核を中心とする円軌道にあたかも定常波をつくっている状態だと解釈されるようになった。このとき、量子数  $n$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) の定常状態における円軌道の半径  $r$ 、電子の質量  $m$ 、電子の速さ  $v$ 、プランク定数  $h$  の間に成り立つ関係式として正しいものを、次の ①～⑥のうちから1つ選べ。 3

- ①  $\pi r^2 = \frac{nmv}{h}$       ②  $\pi r = \frac{nmv}{h}$       ③  $2\pi r = \frac{nmv}{h}$   
 ④  $\pi r^2 = \frac{nh}{mv}$       ⑤  $\pi r = \frac{nh}{mv}$       ⑥  $2\pi r = \frac{nh}{mv}$

15 07水素原子モデル [2007 香川大]

水素原子は、原子核のまわりを、電荷  $-e$  [C]、質量  $m$  [kg] の電子1個が、クーロン力  $k \frac{e^2}{r^2}$  [N] ( $k$ : 比例定数) を受けて、速さ  $v$  [m/s] で半径  $r$  [m] の等速円運動をしていると考えられる。この水素原子では、電子の波動性にもとづく物質波(ド・ブロイ波)が、円周上で定常波をつくって安定化していると考えられ、原子のエネルギーはとびとびの値をとる。原子内の電子の状態とエネルギーについて、次の問いに答えよ。ただし、プランク定数を  $h$  [J·s] とする。また、(1), (3), (4) 以外は  $v$  を用いずに答えよ。

- 電子が水素原子核のまわりを等速円運動しているときの円運動の方程式を表せ。
- この電子の全エネルギー(運動エネルギーと位置エネルギーの和)を表せ。
- この水素原子において、電子の波動性にもとづく物質波の波長を表せ。
- 電子の物質波が定常波をつくる条件を、量子数  $n$  を用いて表せ。
- 水素原子内の電子が  $n$  番目の定常状態にあるときの軌道半径  $r_n$  を、量子数  $n$  を用

いて表せ。

- $n$  番目の定常状態の原子のエネルギー準位  $E_n$  を、量子数  $n$  を用いて表せ。
- 水素原子において、基底状態から  $n=4$  の励起状態まで電子が励起されたとき、観測しうる線スペクトルの輝線の総数は何本か。
- 電子が  $n=4$  の励起状態から  $n=2$  の状態に遷移したときに放射される電磁波の波長を求めよ。ただし、光の速さを  $c$  [m/s] とする。

16 97 X線の発生 [1997 中央大]

次の文章の空欄にあてはまる語句、式または数値を記せ。

X線装置では、原理的には、1図のように陰極 K から出た電子が電圧  $V$  によって加速され、陽極(対陰極) A を構成する金属に激突して X線が発生する。

発生した X線の波長と強さの関係を調べると、一般に2図のようなスペクトルが得られる。ここで、最短波長  $\lambda_0$  をもち、なめらかな曲線で表される部分を 1 X線、鋭いピークの部分を 2 X線とよぶ。

まず、最短波長  $\lambda_0$  に注目しよう。初速度  $0$  m/s で陰極を出発した電子は電圧  $V$  [V] で加速される。陽極に達したときの電子の速度を  $v$  [m/s] とすると、そこでの電子の運動エネルギーは、電子の質量を  $m$  [kg]、電荷を  $e$  [C] として

$$\frac{1}{2}mv^2 = \text{③} \text{ [J]}$$

と表される。このエネルギーが発生する X線光子に与えられるので、X線光子のエネルギーは電子の運動エネルギーより 4 なることはできない。X線の最短波長  $\lambda_0$  [m] に対応する最大振動数を  $\nu_0$  [1/s] とすると、これは光の速さ  $c$  [m/s] と  $\lambda_0$  [m] を使って  $\nu_0 = \text{⑤}$  と表される。プランク定数  $h$

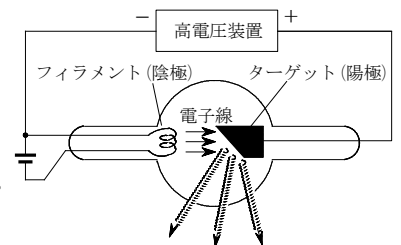
と  $\nu_0$  を使えば、得られる X線光子の最大エネルギーは 6 [J] だから、これと 3 より  $\nu_0 = \text{⑦}$  となる。したがって、5 より、 $\lambda_0 = \text{⑧}$  が得られる。電圧  $V = 5.0 \times 10^4$  (V) のとき

$\lambda_0 = 2.5 \times 10^{-11}$  (m) であった。 $c = 3.0 \times 10^8$  (m/s),  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  (C) とすると、プランク定数  $h$  は単位も含めて 9 と求められる。

他方、2 X線のピークの位置は陽極をつくる金属で決まり、加速電圧  $V$  には 10。これは陽極に達した高エネルギーの電子がそれを構成する原子の低いエネルギー準位  $E_n$  にある電子をたたきだしてできた空席に、それより高いエネルギー準位  $E_m$  にある電子が落ちこむためである。このとき、振動数条件  $h\nu = \text{⑪}$  によって陽極を構成する原子の2つのエネルギー準位差に相当する振動数  $\nu$  をもつ X線光子が放出されるのである。

17 06 X線の発生 [2006 秋田大]

図は X線管の概略を描いたものであり、フィラメントから放出される熱電子が高電圧で加速され、ターゲットに当たって X線が発生するしくみを示したものである。次の文中の空欄を数式で埋め、(エ)については ①～③のうち正しいものを1つ選べ。ただし、電気素量を  $e$  [C]、プランク定数を  $h$  [J·s]、真空中の光の速さを  $c$  [m/s] とする。



- 電圧  $V$  [V] によって加速された電子の、ターゲット(陽極)に衝突する直前の運動エネルギーは ア [J] である。
- その X線の最高振動数は イ [Hz] であり、最短波長は ウ [m] である。
- X線が物質中の電子と衝突して、電子をはじき飛ばし、X線の運動量が変化し X線のエネルギーが減少するので、入射 X線よりも波長の長い X線が散乱 X線に含まれるようになる。この現象は[エ] ① 光電効果, ② コンプトン効果, ③ 放射性崩壊] として知られており、X線の粒子性を示すよい例である。

18 00 X線の発生とブラッグ反射 [2000 東京都大]

以下の各問いに答えよ。

(1) 図1はX線の動作原理を示したものである。ガラス管G内の真空中に置かれた陰極Cから出てきた電子を、陰極Cと陽極(対陰極)Aの間で高圧電源のつくる電圧Vにより加速する。陰極から出た電子は運動エネルギーeVを得て陽極Aに衝突する。ここで、eは電気素量である。衝突後の1個の電子の運動エネルギーをT、発生するX線の振動数をνとすると「ア」なる関係が成立する。したがって、X線の波長は必ず「イ」より大きい。ただしcは真空中の光の速さ、またhはプランク定数である。

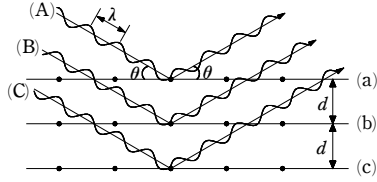
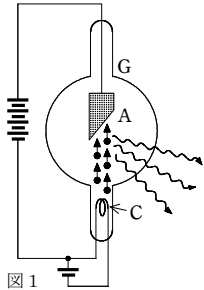


図2

(2) X線管で発生したX線のうち、ある特定の方向に進むものだけをスリットを用いて選び出し、図2のように間隔がdの結晶格子面に斜めθの角度で入射させ、格子面に対し同じ角度θをなす方向に反射されてくるX線を観測した。(A)の波は格子面(a)で、(B)の波は格子面(b)で、(C)の波は格子面(c)でそれぞれ散乱されると考えると、(A)の波と(B)の波、(B)の波と(C)の波の散乱後の経路の差は「ウ」となる。X線は波長がλのものだけを考えればよいとすると、強いX線の反射が観測されるのは「エ」の場合である。いま、角度θを0°から次第に増加させていったとすると、θ=17°で最初の強い反射が観測されたとすると、波長λは「オ」×10<sup>-10</sup>mであることがわかる。ただしd=3.0×10<sup>-10</sup>(m)であるとする。角度θを17°からさらに増加させてゆくと、次に強い反射X線が観測されるのはθが「カ」度するときである。なお解答にあたっては、図3の三角関数のグラフを参照せよ。

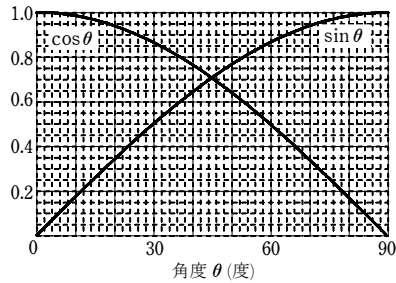


図3

19 G原子の構造

次の文中の「」を埋めよ。

ラザフォードのα粒子の散乱実験から、原子の中心部に「ア」があることがわかった。(ア)のまわりには、-e[C]の「イ」があり、(ア)は+e[C]の電荷をもつ「ウ」と電氣的に中性な「エ」からなっている。(ウ)と(エ)の数は原子の種類によって異なり、(ウ)の数を「オ」、(ウ)の数と(エ)の数の和を「カ」という。(オ)がたがいに等しい原子でも、(カ)の異なる原子が存在し、それを「キ」という。

20 G原子の構成

ウラン<sup>238</sup>Uの原子核は、何個の中性子と何個の陽子からできているか。また、この原子核は何Cの電荷をもつか。ただし、電子の電荷は-1.6×10<sup>-19</sup>Cとする。

21 G原子の構成粒子

次の空欄(ア)~(オ)を例にならって埋めよ。

陽子(p)	重陽子(D)	三重陽子(T)	中性子(n)	電子(e <sup>-</sup> )	陽電子(e <sup>+</sup> )
<sup>1</sup> H(例)	ア	イ	ウ	エ	オ

22 G放射線

次の文中の「」を埋めよ。

放射線には大きく分けてα線、β線、γ線の3つがある。α線は「ア」の原子核の流れであり、β線は高速の「イ」の流れである。またγ線は一種の「ウ」で、その波長は非常に短い。電場の中をこれらの放射線が進んだとき、α線が右方に曲がって進んだとすると「エ」線は左方に曲がって進み、「オ」線は直進する。これは放射線のもつ「カ」の違いによるものである。これらの放射線をうすい紙でさえぎったとき、透過することができないのは「キ」線である。

23 G放射性崩壊

次の文章の「」の中に数値、または語句を記せ。

α崩壊は原子核内の陽子2個と中性子2個が<sup>4</sup>Heになって出ていく現象で、生じた新しい元素はもとの元素より原子番号が「ア」、質量数が「イ」だけ少ない。これに対し、β崩壊は原子核内の中性子が陽子に変化することによって生じた「ウ」が飛び出す現象であるから、生じた新しい元素はもとの元素より原子番号は「エ」だけ増加し、質量数は「オ」。たとえば、ラジウム<sup>226</sup>Raはα崩壊により別の元素ラドンRnになるが、このRnの原子番号は「カ」で、質量数は「キ」である。また、リン<sup>32</sup>Pはβ崩壊すると原子番号「ク」、質量数「ケ」の新しい元素である硫黄Sになる。

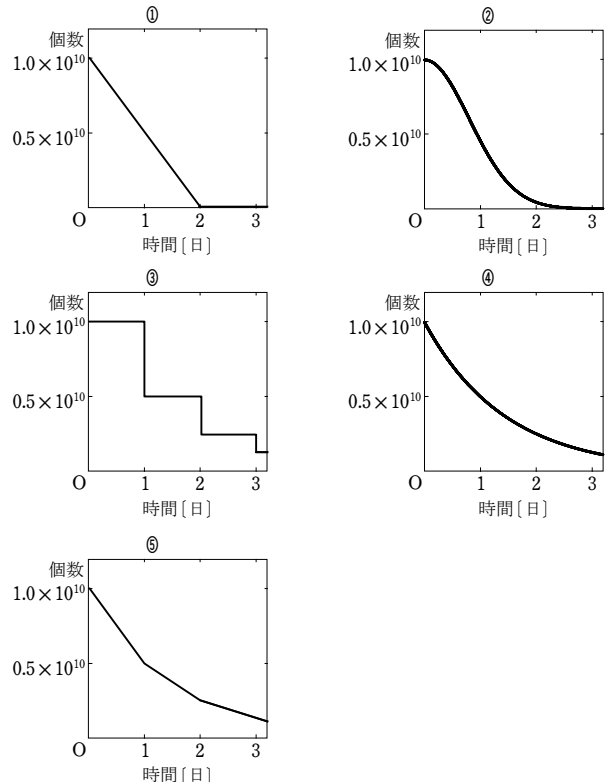
24 G年代測定

生きた植物体内には<sup>12</sup>Cと<sup>14</sup>Cが一定の割合で補給される。しかし、植物が死ぬと補給が止まり、<sup>14</sup>Cはβ崩壊して減少していく。ある古い遺跡より掘り出された植物の<sup>14</sup>Cの割合を測ったら、現在のものに比べ12.5%に減少していた。ただし、<sup>14</sup>Cの半減期は5.7×10<sup>3</sup>年である。

- <sup>14</sup>Cのβ崩壊によってできる元素は何か。元素記号を用い、原子番号、質量数もつけて答えよ。
- この遺跡は何年前のものかと推定されるか。

25 04放射性原子核の半減期 [2004 センター物理 I A (1997~2006)]

半減期が1日の放射性原子核が1.0×10<sup>10</sup>個ある。この原子核の個数の今後の時間変化を表すグラフとして最も適当なものを、次の①~⑥のうちから1つ選べ。①



26]G核反応式

次の核反応式を完成させよ。

- (1)  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 \times \square$       (2)  ${}^{14}_7\text{N} + \square \rightarrow {}^{15}_8\text{O}$
- (3)  ${}^{16}_8\text{O} + \square \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$       (4)  ${}^9_4\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \square$
- (5)  ${}^9_4\text{Be} + \gamma \rightarrow \square + {}^1_0\text{n}$       (6)  ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow \square + {}^1_0\text{n}$

27]G核分裂・核融合

次の文の  $\square$  を埋めよ。

${}^{235}_{92}\text{U}$  は強い  $\square$  を吸収すると不安定になり、ほぼ半分の質量の2つの原子核に壊れる。これを  $\square$  という。分裂の際、大きなエネルギーが解放される。分裂のときに放出される2~3個の速い(ア)は  ${}^{235}_{92}\text{U}$  に吸収されないが、減速材を用いて遅くすると、 ${}^{235}_{92}\text{U}$  に吸収され(イ)を起こし、次々と  ${}^{235}_{92}\text{U}$  の分裂が広がっていく。これを  $\square$  反応という。(イ)によって新たに生成された原子核は、すべて強い  $\square$  をもち、危険である。

軽い原子核どうしが反応して、より重い原子核ができる反応を  $\square$  という。(オ)によってできる原子核は(エ)をもたないため、クリーンなエネルギーといわれているが、平和利用のための実用化にはまだいたっていない。太陽の中心部では(オ)により  $\square$  原子核4個から  $\square$  原子核1個がつけられている。

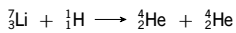
28]G質量欠損と結合エネルギー

次の文中の  $\square$  を埋めよ。

原子核の質量は、それを構成する核子が単独にあるときの質量の和よりもわずかに  $\square$  い。原子番号  $Z$ 、質量数  $A$  の原子の原子核は、 $\square$  個の陽子と  $\square$  個の中性子から成っている。そこで陽子および中性子の質量をそれぞれ  $m_p$ 、 $m_n$  とし、この原子核の質量を  $m_0$  とすれば、上に述べた質量の差  $\Delta m$  は  $\Delta m = \square - m_0$  と表せる。この  $\Delta m$  を  $\square$  という。また、このように原子核をばらばらの核子にするために必要なエネルギー  $\Delta m \cdot c^2$  を  $\square$  という。

29]G原子核反応

運動エネルギーが 0.50 MeV の陽子を、静止しているリチウム原子核に当てると、次の原子核反応が起こった。実験では反応後の  ${}^4_2\text{He}$  の運動エネルギーの和は 17.3 MeV であった。



- (1) この核反応の結果、失われた質量は何 kg か。ただし、 ${}^7_3\text{Li} = 7.0160 \text{ u}$ 、 ${}^1_1\text{H} = 1.0073 \text{ u}$ 、 ${}^4_2\text{He} = 4.0026 \text{ u}$ 、 $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$  とする。
- (2) この核反応で生じるエネルギーは何 J か。光の速さを  $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  とする。
- (3) この反応で生じるエネルギーがすべて運動エネルギーになるとすると、反応後の2個の  ${}^4_2\text{He}$  の運動エネルギーの和は何 MeV か。ただし、電気素量を  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$  とする。

30]03質量欠損[2003 岡山大]

次の文中の空欄を埋めよ。

$Z$  個の陽子と  $N$  個の中性子から構成される原子核がある。その質量数  $A$  は、 $Z$  および  $N$  を用いて  $A = \square$  と書ける。以下では、元素記号を  $X$  とし、この原子核を  ${}^A_Z\text{X}$  と表す。また、陽子と中子を総称して核子とよぶ。

原子核の質量はそれを構成する核子の質量の総和よりも  $\Delta m$  だけ小さい。たとえばホウ素原子核  ${}^{11}_5\text{B}$  の  $\Delta m$  は、陽子の質量を  $1.0073 \text{ u}$ 、中子の質量を  $1.0087 \text{ u}$ 、 ${}^{11}_5\text{B}$  の質量を  $11.0066 \text{ u}$  とすると、 $\Delta m = \square \text{ u}$  となる。ここで、 $\text{u}$  は原子質量単位を表す。一方、アインシュタインの相対性理論によるとエネルギーと質量は等価であり、 $\Delta m$  に相当するエネルギー  $\Delta E$  は、真空中の光の速さを  $c$  とし、 $\square$  に等しい。ここで、 $1 \text{ u}$  を  $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、光の速さ  $c$  を  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  とすると、ホウ素原子核  ${}^{11}_5\text{B}$  の  $\Delta E$  は  $\square \text{ J}$  となる。このエネルギーはこの原子核の結合エネルギーに相当している。また、2つの原子核が反応した場合にも同様なことが生じる。たとえば、1個の重水素原子核  ${}^2_1\text{H}$  と1個の三重水素原子核  ${}^3_1\text{H}$  が反応して、1個のヘリウム原子核  ${}^4_2\text{He}$  と1個の中性子が形成される場合には、 $2.82 \times 10^{-12} \text{ J}$  のエネルギーが放出される。この例のように、質量数の小さい原子核が互いに結合して質量数の大きい原子核になる反応を  $\square$  反応という。

31]02核反応[2002 センター物理 I A (1997~2006)]

ウラン 235 の原子核に  $\square$  が衝突し吸収されると、2つの別の原子核と複数個の  $\square$  に分かれる。この現象を  $\square$  という。この現象によって生じた  $\square$  が別のウラン 235 の原子核に吸収され、さらに次々と同様な現象がくり返される反応を  $\square$  という。こうした反応がゆっくり進行するように調整して、その際に生じる大きなエネルギーを継続的に取り出す装置が原子炉である。 $\square$  によってできる原子核のなかには半減期の長い放射能をもつものがあり、原子炉を運転するにつれて、炉の内部にはそのような核を含む物質がたまっていく。そのため、この放射性物質が炉の外に漏れ出さないような安全対策が重要である。また、こうした放射性物質を大量に含む使用済みの核燃料の取扱いには、十分な注意を払う必要がある。

上の文章中の空欄  $\square$  ~  $\square$  に入れるのに最も適当なものを、次の ①~⑤のうちから1つずつ選べ。

- ① 陽子      ② 中性子      ③ 電子      ④ 核分裂      ⑤ 核融合
- ⑥ 連鎖反応      ⑦ 放射性崩壊

32]00中性子の発見[2000 センター物理 I A (1997~2006)]

物質の内部構造を研究する過程で中性子が発見されたいきさつと、それが与えた影響を考えよう。

物質は原子から、原子はさらに  $\square$  と電子からそれぞれ構成されていることが、1920年代には知られていた。また、 $\alpha$ 線をベリリウムという物質に当てると、透過力の強い放射線が発生し、この放射線をパラフィンに当てると陽子が飛び出すこともわかった。この放射線は、鉛の厚板を簡単に通り抜けることから、はじめ  $\gamma$ 線ではないかと考えられた。

しかし、1932年、チャドウィックはこの放射線が  $\gamma$ 線ではなく、むしろ電的に中性で質量が陽子とほぼ同じ粒子であると考えた方が、実験結果をうまく説明できることに気づいた。こうして中性子が発見されたのである。化学的に区別できない  $\square$  は、 $\square$  が同じで  $\square$  数が異なるが、これは中性子の存在で説明できることになった。

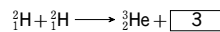
電的に中性である中性子は電界(電場)の影響を受けないため、原子核に衝突させやすい。実際、中性子を吸収すると、2つの原子核にこわれ、2, 3個の中性子や放射線とともに大きなエネルギーを放出する重い原子核の起こす現象も見つかった。この現象は  $\square$  とよばれ、原子爆弾や原子力発電などに用いられるようになった。

問 上の文章中の空欄  $\square$  ~  $\square$  に入れるのに最も適当なものを、次の ①~⑤のうちから1つずつ選べ。

- ① 電磁波      ② 陰極線      ③  $\beta$ 線      ④  $\gamma$ 線      ⑤ クォーク
- ⑥ 同位体      ⑦ 質量      ⑧ 放射能      ⑨ 核分裂      ⑩ 核融合
- ⑪ 電子      ⑫ 原子核      ⑬ 半減期      ⑭ 原子番号

33]02核反応で放出されるエネルギー[2002 日本医科大]

質量数の小さい原子核どうしが  $\square$  的な斥力によって互いに衝突して結合すると、質量数の大きな、より安定な原子核が生じ、エネルギーが放出される。このような反応を  $\square$  反応とよぶ。その反応の例として



がある。 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^3_2\text{He}$ 、 $\square$  の質量はそれぞれ  $2.01355 \text{ u}$ 、 $3.01493 \text{ u}$ 、 $1.00866 \text{ u}$  である。原子核  ${}^3_2\text{He}$  1個が出るこの反応で放出されるエネルギーは、アボガドロ数を  $6.02 \times 10^{23}$ 、真空中の光の速さを  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電気素量を  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$  とするとき、 $\square$  MeV である。もし重水素  $1 \text{ g}$  がすべてこの反応を起こすとすればそのとき放出されるエネルギーは電力量の単位で表すと  $\square \text{ kWh}$  となる。

34]17放射線と原子核反応[2017 センター物理 (2015～ )]

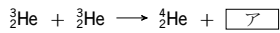
放射線と原子核反応に関する次の問い(1)～(3)に答えよ。

- (1) 放射線に関する記述として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。
- 1
- ①  $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線のうち、 $\alpha$ 線のみが物質中の原子から電子をはじき飛ばして原子をイオンにするはたらき(電離作用)をもつ。  
 ②  $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を一樣な磁場(磁界)に対して垂直に入射すると、 $\beta$ 線のみが直進する。  
 ③  $\beta$ 崩壊の前で、原子核の原子番号は変化しない。  
 ④ 自然界に存在する原子核はすべて安定であり、放射線を放出しない。  
 ⑤ シーベルト(記号 Sv)は、人体への放射線の影響を評価するための単位である。
- (2) 原子核がもつエネルギーは、ばらばらの状態にある核子がもつエネルギーの和よりも小さい。このエネルギー差  $\Delta E$  を結合エネルギーという。原子番号  $Z$ 、質量数  $A$  の原子核の場合、原子核の質量を  $M$ 、陽子と中性子の質量をそれぞれ  $m_p$ 、 $m_n$  とするとき、 $\Delta E$  を表す式として正しいものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。ただし、真空中の光の速さを  $c$  とする。 $\Delta E = \square 2$

- ①  $\{A(m_p + m_n) - AM\}c^2$       ②  $\{Zm_p + (A - Z)m_n - AM\}c^2$   
 ③  $\{A(m_p + m_n) - M\}c^2$       ④  $\{Zm_p + (A - Z)m_n - M\}c^2$   
 ⑤  $\{(A - Z)m_p + Zm_n - AM\}c^2$       ⑥  $\{Zm_p + Am_n - AM\}c^2$   
 ⑦  $\{(A - Z)m_p + Zm_n - M\}c^2$       ⑧  $\{Zm_p + Am_n - M\}c^2$

- (3) 次の文章中の空欄□ア・□イに入れる式と語の組合せとして最も適当なものを、下の①～⑥のうちから1つ選べ。□ 3

太陽の中心部では、 ${}^1_1\text{H}$  が次々に核融合して、最終的に  ${}^4_2\text{He}$  が生成されている。その最終段階の反応の1つは、次の式で表すことができる。



この反応ではエネルギーが□イされる。ただし、 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^3_2\text{He}$ 、 ${}^4_2\text{He}$  の結合エネルギーは、それぞれ 2.2 MeV、7.7 MeV、28.3 MeV であるとする。

	ア	イ
①	${}^1_1\text{H}$	放出
②	${}^1_1\text{H}$	吸収
③	$2{}^1_1\text{H}$	放出
④	$2{}^1_1\text{H}$	吸収
⑤	${}^2_1\text{H}$	放出
⑥	${}^2_1\text{H}$	吸収
⑦	$2{}^2_1\text{H}$	放出
⑧	$2{}^2_1\text{H}$	吸収

35]00原子核反応[2000 大分大]

次の文章中の□を埋めよ。

原子核は、正電荷をもつ陽子と電荷をもたない□アで構成されている。これらの2種類の粒子は核子とよばれ、核子と核子を結び付ける力を核力という。原子核の中の陽子の数  $Z$  を□イ、陽子の数と(ア)の数の和  $A$  を□ウという。

(イ)  $Z$ 、(ウ)  $A$  の原子核の質量  $M$  [kg] は、その原子核を構成する核子の質量の和よりも小さい。この差を質量欠損という。陽子と(ア)の質量をそれぞれ  $m_p$  [kg]、 $m_n$  [kg] とすると質量欠損  $\Delta M$  [kg] は、次のように表される。

$$\Delta M = \square \text{エ}$$

アインシュタインの相対性理論によると、質量とエネルギーは同等であり、エネルギーを  $E$  [J]、質量を  $m$  [kg]、真空中の光の速さを  $c$  [m/s] とすれば、次の関係が成り立つ。

$$E = \square \text{オ}$$

上の2式から、陽子などの核子がばらばらに存在するときよりも、核子が集まって原子核を構成するときのエネルギーの方が、 $\Delta M$  に相当する量のエネルギー  $\Delta E$  [J] だけ小さいことになる。逆に、原子核をばらばらの核子にするためには、 $\Delta E$  だけのエネルギーを与える必要がある。この  $\Delta E$  を結合エネルギーという。

大きなエネルギーをもった陽子などの粒子を原子核に衝突させると、原子核が異なる原子核に変化することがある。このような現象を核反応という。静止しているリチウム原子核  ${}^7_3\text{Li}$  に、加速した陽子  ${}^1_1\text{H}$  を当てると、2個の  $\alpha$  粒子に変わった。このとき  $\alpha$  粒子も元素記号を用いて、この核反応を式で表すと次のようになる。

$$\square \text{カ}$$

陽子、Li 原子核、 $\alpha$  粒子の質量をそれぞれ  $1.6726 \times 10^{-27}$  kg、 $11.6478 \times 10^{-27}$  kg、 $6.6447 \times 10^{-27}$  kg とすると、この反応で減少した質量は□キ kg である。また光の速

さを  $3.00 \times 10^8$  m/s とすると、反応によって生じたエネルギーは、□ク J であり、これは2個の  $\alpha$  粒子の運動エネルギーとなる。上の Li 原子核と陽子の核反応において、静止している  $+Ze$  [C] の電荷をもつ Li 原子核に  $+e$  [C] の電荷をもつ陽子を無限遠方から  $R$  [m] の距離まで近づけるには、両者の間にはたらく□ケ にさからって

$$U = \frac{kZe^2}{R} \text{ [J] の仕事が必要である。ここで } k \text{ は定数、} e \text{ は電気素量である。陽子に}$$

$0.6 \times 10^6$  eV (= 0.6 (MeV)) の運動エネルギーを与えると、陽子は□コ m の距離まで

近づくことができ、核反応が起こりうる。必要ならば、

$$ke^2 = 2.30 \times 10^{-28} \text{ (J} \cdot \text{m)} = 1.44 \times 10^{-15} \text{ (MeV} \cdot \text{m)} \text{ の関係を用いよ。}$$