

令和6年度
一般選抜（前期）

14時00分～16時30分

理 科

科目名	問題冊子頁
物理	1～9頁
化学	11～16頁
生物	17～23頁

科目名	解答用紙頁
物理	1～3頁
化学	1～3頁
生物	1～3頁

注 意 事 項

1. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、この注意をよく読むこと。
2. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、問題冊子は表紙を上、解答用紙は裏面を上置き、問題冊子は開かないこと。
3. 試験開始の合図〔チャイム〕の後に問題冊子ならびに解答用紙の全ページの所定の欄に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答はかならず定められた解答用紙を用い、はっきり読みやすく記入すること。
また解答欄以外には何も書かないこと。
5. 解答用紙のホチキスはずさないこと。
6. 試験開始60分以内および試験終了前10分間は、途中退場を認めない。
7. 途中退場、質問、トイレ、体調不良等で用件がある場合は、挙手のうえ監督者の指示に従うこと。
8. 問題冊子に、落丁や乱丁があるときは、挙手のうえ交換を求めること。
9. 試験終了の合図〔チャイム〕があったときは、ただちに筆記用具を置くこと。
10. 試験終了の合図〔チャイム〕の後は、解答用紙は裏返しにして、通路側に置くこと。
なお、途中退場の場合は解答用紙を裏返しにして、問題冊子の上に置くこと。
11. 問題冊子は持ち帰ること。なお、途中退場する場合は問題冊子を持ち帰れない。
12. 選択科目の変更は認めない。
13. その他、監督者の指示に従うこと。

受験番号		氏 名	
------	--	-----	--

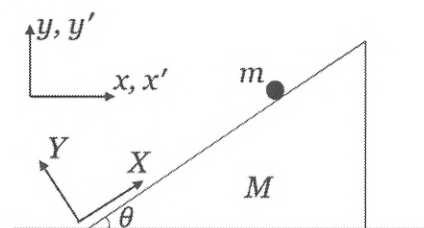
物 理

解答はすべて解答欄に記入しなさい。特に指示のない限り解答の過程は示さなくてよい。

1 以下の文章の (①) から (⑫) に適切な数値または語句を入れなさい。

- [1] なめらかな水平面上に静止している質量 4.0 kg の物体に対して、水平方向に 2.0 N の大きさの一定の力を 2.0 秒間加えると、物体の運動量の大きさは (①) $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 、運動エネルギーは (②) J になる。その後、この物体が鉛直な壁に対し、壁面に垂直に弾性衝突してはねかえると、物体が壁から受ける力積の大きさは (③) $\text{N} \cdot \text{s}$ である。
- [2] 自己インダクタンスが 10 H のコイルに 40 mA の電流が流れている。このコイルに蓄えられているエネルギーは (④) J である。このコイルに流れていた 40 mA の電流を 10 ミリ秒間に一様に減少させて 0 mA にした。このとき生じる誘導起電力の大きさは (⑤) V である。このコイルを 1 次コイルとした変圧器において、1 次コイルに対して同じ操作をしたら 2 次コイルには 24 V の誘導起電力が生じた。したがって、この 2 つのコイルの相互インダクタンスは (⑥) H である。
- [3] ある長さの閉管を鳴らしたところ、基本音の振動数が 500 Hz であった。音速を 340 m/s とすると、基本音の波長は (⑦) m である。したがって、この閉管の長さは開口端補正を無視すると (⑧) m である。この基本音の次に高い音の固有振動数は (⑨) Hz である。
- [4] ある熱機関が、高温の物体から熱量 2000 J を吸収し、低温の物体に熱量 1500 J を放出した場合、熱機関により得られた仕事は (⑩) J であり、その熱効率は (⑪) である。一般に、熱効率が 1 の熱機関は存在しないが、このことは熱が関与する現象は不可逆変化であることを意味している。不可逆変化の方向を示す自然法則を熱力学第 (⑫) 法則という。

2 水平な床に対して角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) の斜面をもつ、質量 M の台が図のように床に静止している。この台の斜面に質量 m の小球を静かに置いた後の、台と小球の運動を考える。床に静止した人の立場から見て、水平方向右向きを x 軸方向、鉛直方向上向きを y 軸方向として xy 座標を定める。また台上に静止した人の立場から見て、水平方向右向きを x' 軸方向、鉛直方向上向きを y' 軸方向として $x'y'$ 座標を定める。さらに台上に静止した人の立場から見て、台の斜面に沿って上がる向きを X 軸方向、斜面に垂直で斜め上向きを Y 軸方向として XY 座標を定める。



また a_x 、 a_y をそれぞれ小球の加速度の x 、 y 成分とし、また $a_{x'}$ 、 $a_{y'}$ をそれぞれ小球の加速度の x' 、 y' 成分とし、さらに a_X 、 a_Y をそれぞれ小球の加速度の X 、 Y 成分とする。重力加速度の大きさを g 、台が小球に与える垂直抗力の大きさを N とし、摩擦の影響は無視できるものとする。以下の文章 [A]、[B] の (①) から (⑯) に最も適切な式を入れなさい。

[A] 台を床に固定した。台の斜面に小球を置くと、小球は斜面に沿って運動を開始した。

小球の斜面上での運動をまずは XY 座標で考える。小球の運動方程式の X 、 Y 成分はそれぞれ

$$ma_X = (\text{①}), \quad ma_Y = (\text{②})$$

である。小球が斜面上を運動するという事は $a_Y = (\text{③})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、 N は m 、 θ 、 g を用いて $N = (\text{④})$ であることがわかる。

小球の斜面上での運動を今度は xy 座標で考える。小球の運動方程式の x 、 y 成分はそれぞれ

$$ma_x = (\text{⑤}), \quad ma_y = (\text{⑥})$$

である。小球が斜面上を運動するという事は $\frac{a_y}{a_x} = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{④})$ が得られる。

[B] 台が床の上を x 軸に沿った向きに動けるようにした。台の斜面に小球を置くと、台と小球はともに床に対して運動を開始した。 xy 座標において、床に対する台の加速度の x 成分を b とおくと、台の運動方程式の x 成分は $Mb = (\text{⑧})$ である。

小球の斜面上での運動をまずは XY 座標で考える。この場合、小球に慣性力がはたらく。 b を用いて慣性力を表せば、小球の運動方程式の X 、 Y 成分はそれぞれ

$$ma_X = (\text{⑨}), \quad ma_Y = (\text{⑩})$$

である。小球が斜面上を運動するという事は $a_Y = (\text{③})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、 N は m 、 M 、 θ 、 g を用いて $N = (\text{⑪})$ であることがわかる。

小球の斜面上での運動を今度は $x'y'$ 座標で考える。 b を用いて慣性力を表せば、小球の運動方程式の x' 、 y' 成分はそれぞれ

$$ma_{x'} = (\text{⑫}), \quad ma_{y'} = (\text{⑬})$$

である。小球が斜面上を運動するということは、 $\frac{a_y'}{a_x'} = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{⑪})$ が得られる。

小球の斜面上での運動を次は xy 座標で考える。小球の運動方程式の x 、 y 成分はそれぞれ

$$ma_x = (\text{⑭}), \quad ma_y = (\text{⑮})$$

である。ここで $\frac{a_y'}{a_x'}$ を、 a_x 、 a_y 、 b を用いて表すと $\frac{a_y'}{a_x'} = (\text{⑯})$ であるから、小球が斜面上を運動するということは、 $(\text{⑯}) = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{⑪})$ が得られる。

3 以下の各問に答えなさい。電荷、あるいは帯電球の電気量はすべて正とし、真空中にあるものとする。真空中でのクーロンの法則の比例定数を k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$] とする。円周率は π を用いなさい。

[1] 以下の文章はある法則の説明である。(①) から (③) に適切な式または語句を入れなさい。

電場の強さが E [N/C] の位置では、電場に垂直な 1 m^2 あたりの面積を E [本] の電気力線が貫くものと定める。任意の閉曲面の内部に電気量 Q [C] の電荷があるとき、この閉曲面を貫いて外部に出る電気力線の本数 N [本] は、 k を含む式として、式(*)のように表すことができる。

$$N = (\text{①}) \cdots (*)$$

ここで、真空の誘電率 ϵ_0 [F/m] を用いて N を表すと、 $N = (\text{②})$ と書ける。この法則を (③) の法則という。

[2] 以下の文章は [1] に示した法則から点電荷のつくる電場を導く方法である。(④)、(⑤) に適切な式を入れなさい。

電気量 Q の点電荷を含む閉曲面として、点電荷を中心とした半径 r [m] の球を考える。まず、式(*)の左辺、すなわち球面を貫く電気力線の総数 N を求める。電気力線は放射状に広がり、閉曲面を垂直に貫く。したがって、 N は、球面上の電場の強さ E 、球の半径 r を用いて、 $N = (\text{④})$ と表すことができる。次に、式(*)の右辺は (①) である。以上より、(④) = (①) が成り立つ。この式を変形すると、点電荷からの距離 r に対する電場の強さは $E = (\text{⑤})$ となる。

[3] 以下の文章は、電気量 Q の電荷が半径 R [m] の球の内部に一様に分布しているとき、この帯電球の内外の電場を求める方法である。(⑥) から (⑩) に適切な式を入れなさい。

帯電球を含む閉曲面として、帯電球の中心を中心とした半径 r の球を考える。帯電球内の電荷は一様に分布しているので、電気力線は閉曲面を垂直に貫き、閉曲面上の電場は一様である。

(ア) 帯電球の外部 ($r \geq R$) の電場

[1] に示した法則を適用すると、帯電球の外部の電場の強さ $E_{\text{外}}$ は、帯電球の中心からの距離 r を用いて、 $E_{\text{外}} = (\text{⑥})$ である。

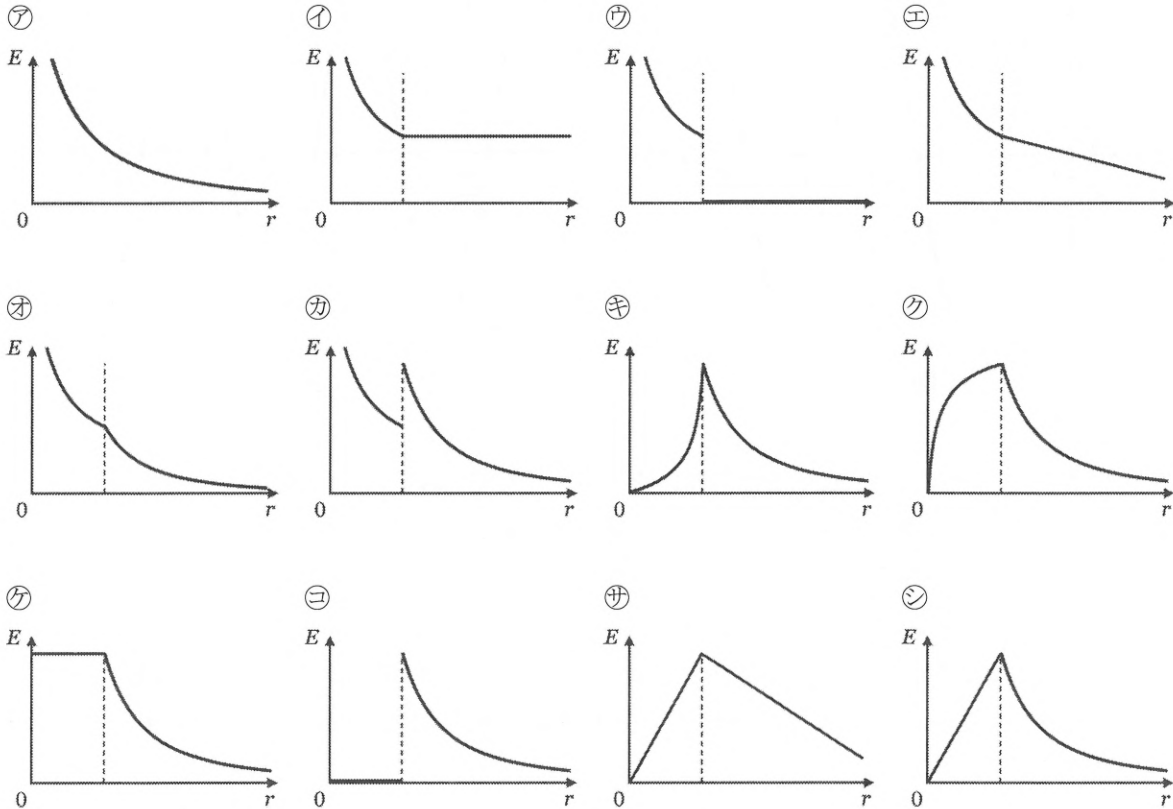
(イ) 帯電球の内部 ($r < R$) の電場

まず、式(*)の左辺を考える。閉曲面を貫く電気力線の総数 N は、閉曲面の球面上の電場の強さ $E_{\text{内}}$ 、球の半径 r を用いて、 $N = (\text{⑦})$ と書ける。次に、式(*)の右辺を考える。帯電球内の電荷は一様に分布しているので、単位体積あたりの電気量を一定値 ρ [C/m^3] とおくことができ、 ρ を Q 、 R を用いて表すと $\rho = (\text{⑧})$ である。閉曲面で囲まれている空間の体積を V [m^3] とすると、閉曲面内の電気量 q は $q = \rho V$ である。したがって、 q を r 、 R 、 Q を用いて表すと $q = (\text{⑨})$ となる。これで式(*)の左辺と右辺が定まった。以上より、 $E_{\text{内}}$ は帯電球の中心からの距離 r を用いて、 $E_{\text{内}} = (\text{⑩})$ となる。

[4] 電気量 Q の電荷が半径 R の球の内部に一様に分布している。球の中心からの距離 r に対する電場の強さ E を表す最も適切なグラフを【選択肢】から選び、その記号を答えなさい。

[5] 電気量 Q の電荷が半径 R の球の表面だけに一様に分布している。球の中心からの距離 r に対する電場の強さ E を表す最も適切なグラフを【選択肢】から選び、その記号を答えなさい。選んだ理由も簡潔に示しなさい。

【選択肢】



4 一様な媒質中を x 軸に沿って進む縦波を考える。図 1 は時刻 $t = 1$ s での縦波による媒質の変位を横波と同じような波形で表したものである。図 2 は位置 $x = 4$ cm での媒質の振動の様子を表している。2 つの図の縦軸は媒質の変位 y [μm] を表し、 x 軸の正の方向への媒質の変位を y 軸の正としている。いずれの変位も正弦曲線で表される。以下の各問に答えなさい。ただし、円周率は π を用いなさい。

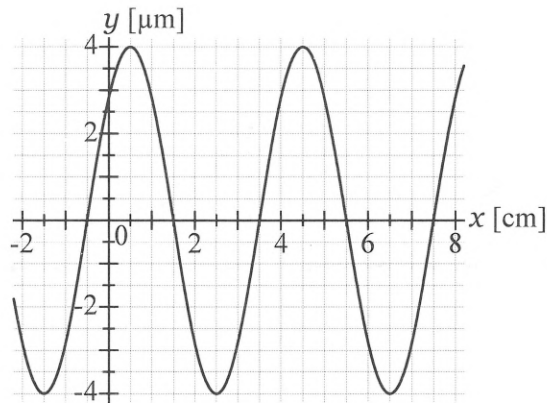


図 1

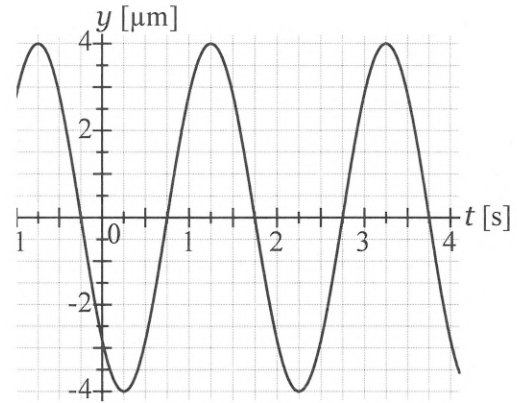
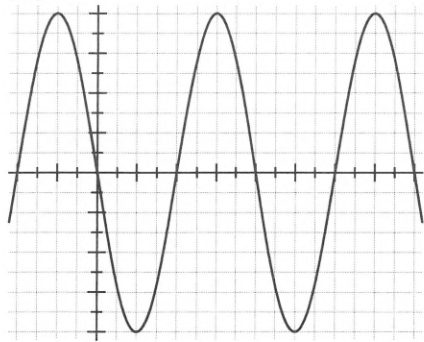


図 2

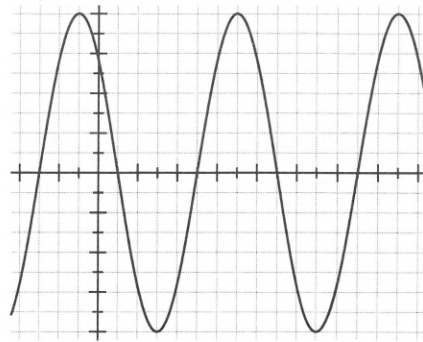
- [1] 図 1 および図 2 から、この波の振幅、波長および周期を読み取り、答えなさい。
- [2] 図 1 において、媒質が疎となっている位置を全て読み取り、答えなさい。
- [3] この波の速さを答えなさい。また、この波の進む向きは x 軸の正の方向か、負の方向かを答えなさい。
- [4] $t = 0$ s および $t = 5$ s での波形として最も適切なものを【選択肢】からそれぞれ選び、その記号を答えなさい。ただし、【選択肢】の図の横軸は x 軸、縦軸は y 軸、軸の交点は $(0 \text{ cm}, 0 \mu\text{m})$ とする。
- [5] $x = 0$ cm および $x = 9$ cm での媒質の振動として最も適切なものを【選択肢】からそれぞれ選び、その記号を答えなさい。ただし、【選択肢】の図の横軸は t 軸、縦軸は y 軸、軸の交点は $(0 \text{ s}, 0 \mu\text{m})$ とする。
- [6] 図 2 において、媒質が密となっている時刻を全て読み取り、答えなさい。
- [7] この波の変位は $y = A \sin \left[B \left(t - \frac{x}{C} \right) + D \right]$ と表すことができる。 A 、 B 、 C 、 D にあてはまる物理量を答えなさい。位相の単位はラジアン (記号 rad) を用いなさい。ただし、 $A > 0 \text{ m}$ 、 $0 \leq D < 2\pi \text{ rad}$ とする。

【選択肢】

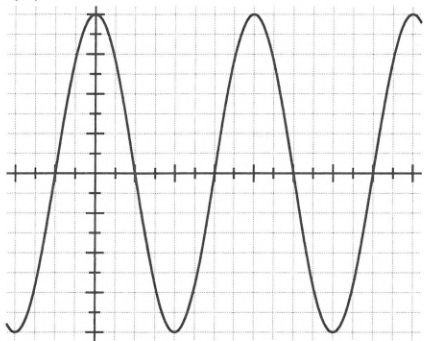
あ)



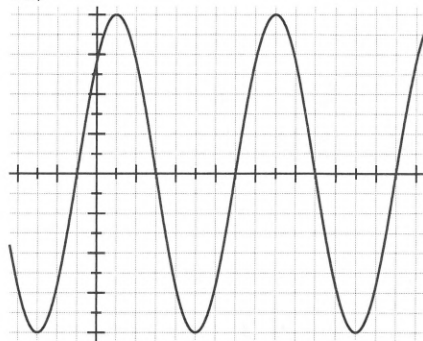
い)



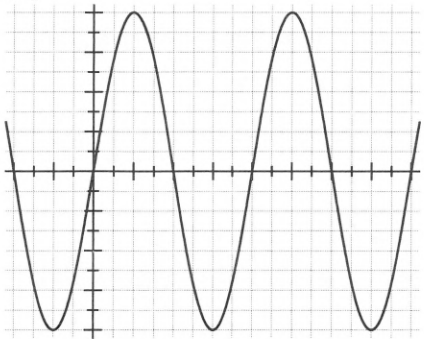
う)



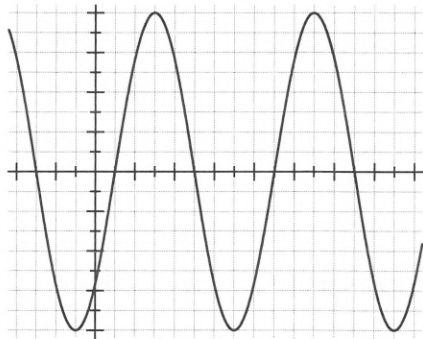
え)



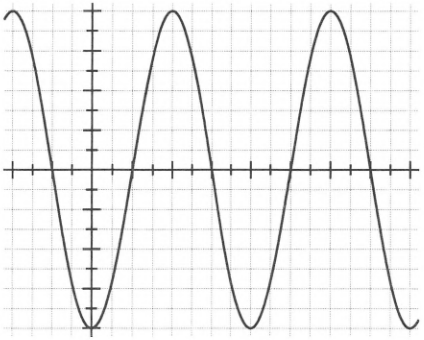
お)



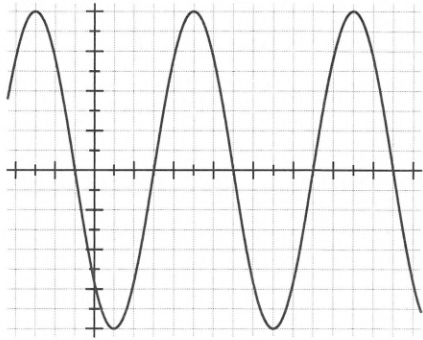
か)



き)



く)



5 以下の文章を読み、それに続く各問に答えなさい。特に指示のない限り光速を c とする。また、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、統一原子質量単位を $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とする。本問に用いられる元素記号はすべて原子核を表すものとする。

^1H 以外の原子核の質量は、それを構成する核子の質量の和よりも小さい。この質量差を質量欠損という。原子核の質量欠損は、アインシュタインの相対性理論における質量とエネルギーの等価性により、原子核を構成する核子をばらばらの陽子または中性子にするためにエネルギーが必要であることを意味する。このエネルギーを結合エネルギーという。原子核の結合エネルギーを表す単位として、電子ボルト（記号 eV ）が用いられることがある。1 eV は、電子が真空中で 1 V の電圧によって加速されるときに得る運動エネルギーに等しい。

太陽のような恒星の内部では、核融合による発熱反応が起きており、主に結合エネルギーのより大きな原子核が生成される。例えば ^1H と ^1H が反応し、 ^2H と陽電子とニュートリノが生成される反応などである（ここで陽電子とは電子と同じ質量を持ち、電気素量と同じ正の電荷をもつ粒子である）。この他の複数の反応も段階的に起こることで、太陽内部では 4 個の ^1H から 1 個の ^4He が生成されている。

- [1] 1 eV は何 J かを答えなさい。
- [2] 原子番号 Z 、質量数 A の原子核を考える。この原子核の質量を M 、陽子の質量を m_p 、中性子の質量を m_n とするとき、この原子核の質量欠損 Δm を、 Z 、 A 、 M 、 m_p 、 m_n 、 c のうち必要なものを用いて表しなさい。
- [3] 原子番号 Z 、質量数 A の原子核の質量欠損を Δm とするとき、この原子核の核子 1 個あたりの結合エネルギーを、 Z 、 A 、 Δm 、 c のうち必要なものを用いて表しなさい。
- [4] 次の反応式は、太陽中心部で起こる核融合反応の一つを表したものである。
- $$^3\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow \text{X} + \gamma$$
- ここで X はある原子核を表し、 γ は光子を表す。 X の質量数と原子番号を答えなさい。
- [5] ^4He の質量は 4.0015 u である。 ^4He の核子 1 個あたりの結合エネルギーは何 MeV かを求めなさい。ただし $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、陽子の質量を 1.0073 u 、中性子の質量を 1.0087 u とする。
- [6] 次の反応式は、太陽中心部で起こる核融合反応の一つを表したものである。
- $$^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + 2\ ^1\text{H}$$
- ^3He の核子 1 個あたりの結合エネルギーは 2.6 MeV である。この反応で放出されるエネルギーは何 MeV かを求めなさい。
- [7] 太陽が 1 秒間に放出するエネルギーは $3.9 \times 10^{26} \text{ J}$ であり、太陽の質量は $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ である。太陽の質量は 1 秒間に何%減少しているかを求めなさい。ただし $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

以 上