

平成 31 年度

前期日程

理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で 1 冊にまとめてある。

問題は $\left. \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 14 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 15 \text{ ページから } 27 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 28 \text{ ページから } 43 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄（1 枚につき 2 か所）に 1 枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1 ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

〔1〕ヘリコプターなどで物資を空輸し、上空から地上に落下させることがある。着地時の衝撃が大きいと物資は壊れてしまう。物資を小物体とみなして、落下時に小物体が受ける力について考えてみよう。なお小物体の質量を m 、位置の座標を x 、速度と加速度をそれぞれ v 、 a とし、鉛直下向きを正の向きとする。運動は鉛直下向きの運動のみであり、パラシュートの質量は無視し、地面は十分に硬いとせよ。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とする。

I. 小物体は自由落下で着地すると衝撃で壊れることがある。そこで図1のように、パラシュートを用いて落下速度の大きさの増加を抑制する。小物体とパラシュートは一体のものと考えよ。空気抵抗の力は小物体の速度と逆の向きであり、大きさは落下速度の大きさに比例し、その比例定数を $b (> 0)$ とする。

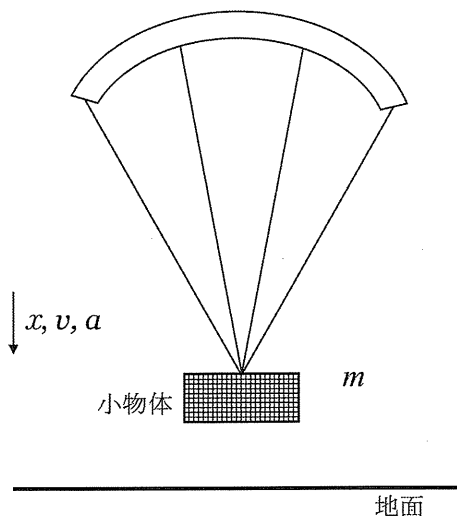


図 1

問 1 小物体についての運動方程式を、 a 、 b 、 g 、 m 、 v のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 小物体を十分高いところから落下させたところ、地面に達する前に重力と空気抵抗の力が釣り合って、一定の終端速度に達した。終端速度の大きさ v_f を、 b , g , m を用いて表せ。

II. たとえパラシュートを用いても、地面が硬ければ小物体は着地時の衝撃で壊れてしまう。この衝撃をやわらげるために、二つの方法を考えてみよう。最初の方法は、小物体の底面にばね定数 k のばねを取付けて、反発力で減速する方法である (図 2)。終端速度 (大きさ v_f) で落下してきた小物体は、ばねの下端が地面に接した後、重力に加えてばねから鉛直上向きの力を受けて減速し、速度が 0 になった。この間、ばねは一定のばね定数 k でフックの法則に従って縮んだ。ばねの下端が地面に接した後は、空気抵抗の力を 0 とせよ。ばねの質量は無視せよ。

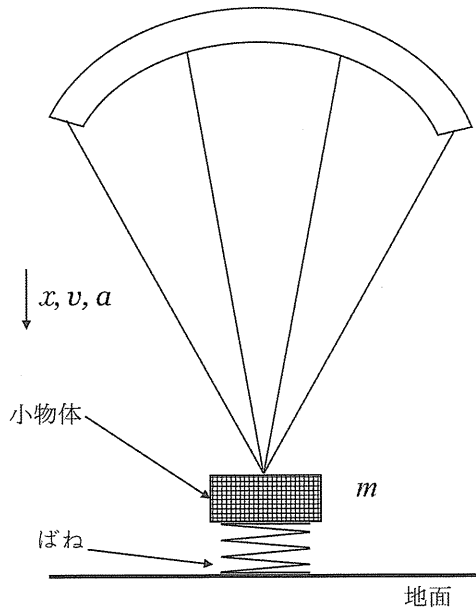


図 2

問 3 ばねの下端が地面に接した時の小物体の位置を $x = 0$ とする。この時、ばねは自然長であった。その後、ばねが縮んで $x = L_1$ になった時に、小物体の速度が 0 になった。ばねが縮んでいく間で成り立つ小物体の運動方程式を、 a , g , k , m , x のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 ばねの下端が地面に接した時と、ばねが縮んで小物体の速度が 0 になった時とで、小物体とばねの力学的エネルギーの合計が保存されていることを表す式を、 g , k , L_1 , m , v_f を用いて表せ。

問 5 この小物体は下向き重力に加えてばねから上向きの力を受けるが、その結果として加速度 a の大きさが $15g$ (重力加速度の大きさ g の 15 倍) を超えると、壊れてしまうものであった。小物体が壊れないようにするための、ばね定数 k の上限値を、 g , L_1 , m を用いて表せ。

問 6 これまでの結果を用いて、ばね定数 k を問 5 で求めた上限値にした場合の L_1 を、 g , v_f を用いて表せ。ばねの自然長はこれより長い必要がある。

もう一つの方法は、図 3 のように、平らな緩衝材を小物体の底面に取り付けるものである。この緩衝材はつぶれていく間、小物体に大きさ F_R で一定の上向きの力を与え続け、緩衝材の厚みが 0 になる前に小物体は静止した。緩衝材の下端が地面に接した後は、空気抵抗の力を 0 とせよ。また緩衝材の質量は無視せよ。

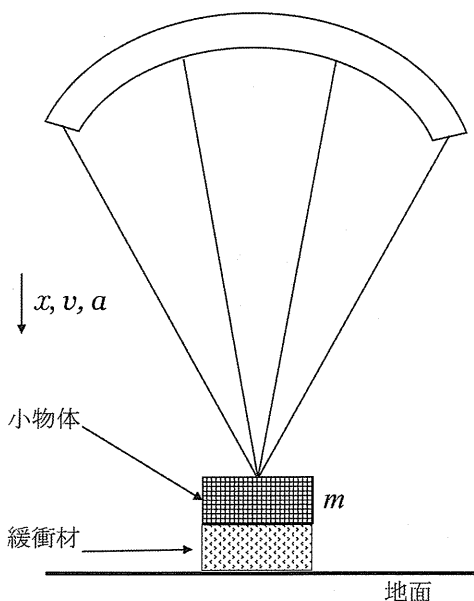


図 3

問 7 緩衝材がつぶれていく間で成り立つ小物体の運動方程式を, a, F_R, g, m のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 緩衝材の下端が地面に接してから小物体が静止するまでにかかる時間 T を, F_R, g, m, v_f を用いて表せ。

問 9 小物体は重力に加えて緩衝材から上向きの力を受ける。これらによる加速度 a の大きさが $15g$ を超えると小物体が壊れるので, 加速度の大きさがちょうど $15g$ になるように緩衝材の F_R を決めた。この場合に, 小物体が静止するまでに緩衝材が厚み L_2 だけつぶれた。 L_2 を, g, v_f を用いて表せ。緩衝材の厚みはこれ以上必要である。

問 10 上の問 6, 問 9 で求めた L_1, L_2 を比較した以下の文章の空欄に最もふさわしいものを, 下の選択肢 (あ)~(け) からそれぞれ一つずつ選べ。なお, 選択肢は複数回使用してよい。

小物体が壊れないために必要なばねの長さや緩衝材の厚みを比較してみよう。力学的エネルギーの保存則を用いて考える。ばねあるいは緩衝材が地面に接した後, 小物体はこれらに力を及ぼしながら下降することで仕事をし, 最終的に運動エネルギーがゼロになって静止する (ばねの場合は反発力によって小物体が再上昇するが, 一旦静止するまでのみを考える)。小物体が静止するまでに, 緩衝材がされる仕事の大きさは, 小物体が緩衝材に及ぼす力と (a) の積である。ばねでも緩衝材でも, 小物体が壊れない最大の力の大きさは同じである。緩衝材の場合は一定の力を出すことができる。一方, ばねの場合は力の大きさが変化するために, その平均は (b) 値より (c) なる。従って, 衝撃をやわらげる方法としては, (d) のほうが (e) より厚みを薄くできる。

選択肢

- (あ) ばね (い) 緩衝材 (う) 最大 (え) 最小 (お) ゼロ
(か) 小さく (き) 大きく (く) 縮む長さ (け) 縮む時間

〔2〕 以下のような、二種類の回路で起こる現象について考えよう。

I. 図1に示すように、3枚の平行極板 A, B, D が置かれている。極板 A と極板 B の位置は固定されており、極板 D は摩擦なく、平行を保ったまま極板に垂直な方向に動く。極板 D は、スイッチ S_1 を介して電圧 V の直流電源、スイッチ S_2 を介して自己インダクタンス L のコイルとつながっている。

最初に極板 D は極板 A-B の中間に置かれており、極板 D-A と極板 D-B の間隔はともに d で、極板間は真空になっている。このとき極板 D-A, 極板 D-B からなるコンデンサーの静電容量は両方ともに C であった。スイッチ S_1 とスイッチ S_2 はともに開いていて、どの極板にも電荷は蓄積していないものとする。極板 D の変位を x ($|x| < d$)、最初の位置を $x = 0$ とし、極板 B から極板 A への向きを x の正の向きとする。極板の面積 S は十分広く、極板の厚みは d に比べて十分薄いものとする。極板の端の影響は無視できる。また導線及びコイルの抵抗は十分小さく、無視できるとする。

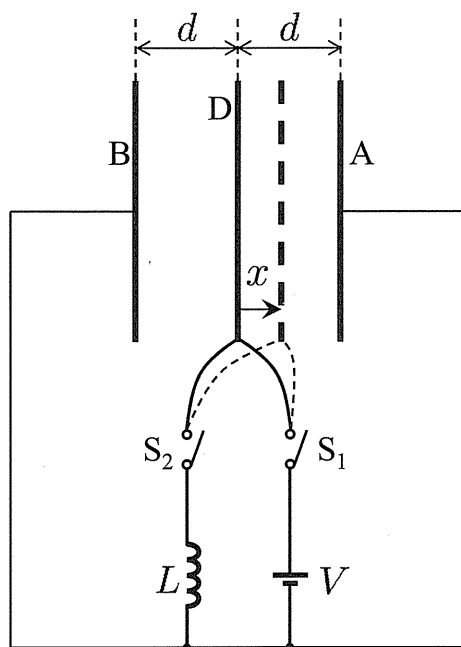


図1

極板 D は $x = 0$ で固定されている。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過した後にスイッチ S_1 を開いて、スイッチ S_2 を閉じたところ、極板 D に蓄積する電荷（電気量） q が振動し、その振幅は減衰しなかった。スイッチ S_2 を閉じた時刻を $t = 0$ とする。

問 1 このとき極板 D に蓄積する電荷 q の振動の周期 T を、 V, L, d, C, S のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 極板 D に蓄積する電荷 q の時間変化を、 $t = 0$ から 1 周期の範囲 ($0 \leq t \leq T$) で図示せよ。ただし図中に、電荷の最大値、最小値を、 V, L, d, C, S のうち必要なものを用いて記すこと。

図 1 の回路で次の異なる実験を考える。スイッチ S_1 とスイッチ S_2 はともに開いていて、どの極板にも電荷は蓄積していないことを確認した。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過後にスイッチ S_1 を開いて、今度は極板 D の固定を外して、極板 A の向きに x だけ動かした。

問 3 極板 D-A、極板 D-B からなるコンデンサーの静電容量を、それぞれ V, d, C, x, S のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 極板 A、B に対する極板 D の電位 V_D を、 V, d, C, x, S のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 極板 D-A 間の電場 E_A 、極板 D-B 間の電場 E_B を、 V, d, C, x, S のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板 B から極板 A への向きを正とする。

問 6 極板 D に働く力 F_D を、 V, d, C, x, S のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板 B から極板 A への向きを正とする。なお、一般に 2 枚の平行板コンデンサーの両極板に、正負等量の電荷 $Q, -Q$ を与え、極板間の電場の大きさが E のとき、 $\frac{1}{2}QE$ の大きさの力が各極板に働くことを用いてよい。

II. 図2に示すように、図1と同じ3枚の極板A, B, Dとスイッチ S_1 及び電圧 V の直流電源を考え、さらに極板D-A間、極板D-B間にそれぞれ同種の気体を漏れないように封入した場合を考える。

最初、極板Dは極板A-Bの中間に置かれており、極板D-A間と極板D-B間の気体の圧力はともに p であった。極板Dの変位を x 、最初の位置を $x = 0$ とし、極板Bから極板Aへの向きを x の正の向きとする。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過した後にスイッチ S_1 を開いて、極板Dを極板Aの向きに x だけ動かした。極板Dには $x = 0$ に戻ろうとする復元力が働いた。気体の温度は常に一定で、理想気体の状態方程式に従うものとする。気体の比誘電率は1とする。

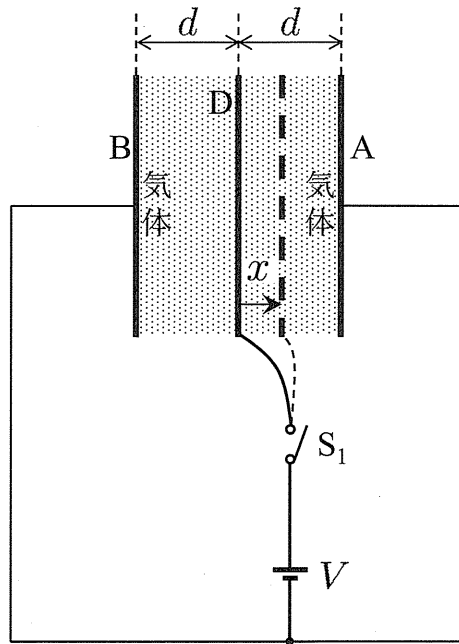


図2

問 7 極板Dを x だけ動かした後の状態では、極板Dは左右両方の気体から合力 F' を受ける。 F' を、 V , d , C , x , S , p のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板Bから極板Aへの向きを正とする。

問 8 平行板コンデンサーでは、問6にあるように、極板間に働く電氣的

な力 F_D も考慮する必要がある。あらゆる x の範囲 ($|x| < d$) で極板 D に復元力が働くための p の条件を, V, d, C, S のうち必要なものを用いて, 解答欄に合う形で記入せよ。

〔3〕以下のA, Bの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 固体媒質を伝播する波には縦波と横波が存在する。例えば地震波のP波は縦波でありS波は横波である。一般に、縦波は横波よりも速く伝播する。以下のような実験を行なって、この性質を確認してみる。

図1に示すように、真空中に大きな面積を有する厚さ d の絶縁体の固体平板を設置する(図1は固体平板の断面図である)。平板の厚さ方向に z 軸をとり、これに垂直な方向に x 軸と y 軸をとる。平板の中央面に細長い導線が y 軸と平行に多数埋め込まれている。下面下方に設置した変位計測器は、平板の下面が変形したとき、下面の x 方向の変位 u_x と z 方向の変位 u_z の和 ($u_x + u_z$) を非接触に計測し出力することができる。平板の左右遠方の端は動かないように固定されているとする。また、平板内に発生した波は平面波であるとし、波は平板の上下面で自由端反射するとし、その波長は $2d$ 以下とする。なお、導線は十分に細いため、波の伝播には影響を与えないとする。また、平行電流が及ぼし合う力や誘導電流は無視する。

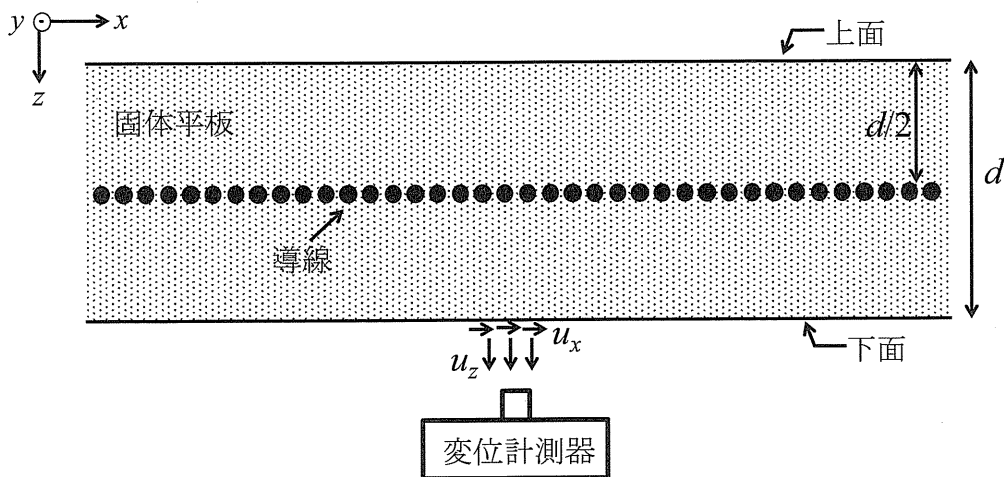


図1

問1 まず、平板内に x 軸方向に一様な静磁場(時間的に変化しない磁場)を印加した。この状態で、全ての導線に同時に周波数 f の交流電流を

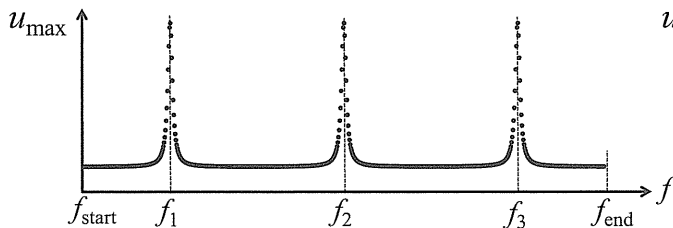


図 2

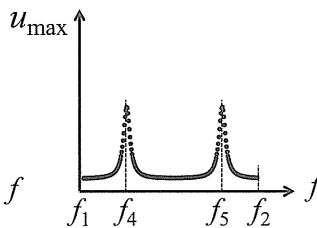


図 3

同位相で流した。すると、変位計測器の出力値が周期 $\frac{1}{f}$ で変動しはじめた。この理由を以下に示す。空欄 (a)~(c) に入るべき語句として最も適切なものを、下記の選択肢から選べ。

静磁場中で交流電流が流れる導線には、 軸に平行に振動数 f で振動する力がはたらき、振動数 の が z 軸方向に伝播したため。

選択肢 (あ) x (い) y (う) z (え) f (お) $\frac{f}{2}$
 (か) $2f$ (き) 縦波 (く) 横波

問 2 全ての導線に流す交流電流の周波数 f をある適当な値 f_{start} に設定し十分に時間が経過してから、変位計測器の出力の時間変化を長時間観測して、出力の最大値 u_{max} を測定した。その後、 f を少しだけ増加させて同様に変位計測器の出力の最大値 u_{max} を測定した。この作業を $f = f_{\text{end}}$ となるまで少しずつ f を増加させて繰り返し、 f と u_{max} の関係を調べた。この結果を図にしたところ、図 2 に示すように f_1, f_2, f_3 の 3 つの周波数において u_{max} が大きな値を示し、また、 $f_3 - f_2 = f_2 - f_1$ であった。このとき平板内に発生した波が伝播する速さを、 f_1, f_2, d を用いて表せ。

問 3 次に、 x 軸方向の静磁場の印加を停止し、その後、平板全体に z 軸方向に一樣な静磁場を印加した。そして、 $f_1 < f < f_2$ の範囲で **問 2** の実験と同様に全ての導線に流す交流電流の周波数を少しずつ変化させな

がら u_{\max} を測定したところ、図3に示すように、2つの周波数 f_4 と f_5 において u_{\max} は大きな値を示した。平板内を伝播する縦波の速さに対する横波の速さの比を、 f_1 , f_2 , f_4 , f_5 により表せ。(この結果から、縦波は横波より速く伝播することが分かる。)

B. 太陽の中心部では、陽子（水素原子核）などの軽い原子核が起こす様々な核融合反応によって莫大なエネルギーが発生している。そこで、陽子（ ${}^1_1\text{H}$ ）と重陽子（重水素原子核、 ${}^2_1\text{H}$ ）が衝突して核融合反応し、ヘリウム3原子核（ ${}^3_2\text{He}$ ）とガンマ線になる過程を考える。

陽子と重陽子はともに正電荷を持っているため、粒子間には静電気力による斥力が生じている。核融合が起こるためには、この斥力に打ち勝って原子核同士が核融合を起こす距離まで接近することが必要である。陽子の質量を m_p 、重陽子の質量を m_d 、ヘリウム3原子核の質量を M とし、素電荷を e 、光速を c とし、以下の問に答えよ。ただし、陽子や重陽子、ヘリウム3原子核の速さは光速 c に比べて十分に小さいものとする。なお、電荷 q_1 と q_2 が距離 r 離れて位置している場合の位置エネルギーは、静電気力の比例係数を k_0 とし、 $\frac{k_0 q_1 q_2}{r}$ である。

まず、陽子が初期運動エネルギー E_p を持ち、十分に離れた位置に静止している重陽子に正面から接近する場合を考える。ただし、核融合反応は起こらないとし、陽子と重陽子はある同一直線上を運動するものとする。両粒子は互いに静電気力を及ぼしながら接近し、陽子は減速され、重陽子は加速される。両粒子が向き、大きさともに同じ速度になった時に最接近する。

問 4 最接近した瞬間の両粒子の速度の大きさを、 m_p 、 m_d 、 E_p を用いて表せ。

問 5 両粒子の間の最接近距離を、 m_p 、 m_d 、 E_p 、 k_0 、 e を用いて表せ。

次に、逆に、陽子が静止していて、重陽子が初期運動エネルギー E_d で接近する場合を考える。

問 6 このとき、最近接距離が **問 5** の場合と同じになるための E_d の大きさは、先の場合の E_p の何倍か。次の選択肢の中から最も近いものを選び記号で答えよ。

選択肢

(あ) 0.5 倍 (い) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍 (う) 1 倍 (え) $\sqrt{2}$ 倍 (お) 2 倍

次に、陽子と重陽子が互いに十分に離れた位置で逆向きに同じ大きさの初期運動量で出発し、同一直線上を運動し正面衝突して核融合反応を起こし、速さ V_h のヘリウム3原子核とエネルギー E_G のガンマ線（光子1個）になる反応を考える。

問 7 この核融合反応による質量欠損で発生するエネルギーを、 M , m_p , m_d , c を用いて表せ。ただし、光子には質量は無い。

問 8 運動量保存の法則を用いることにより、 E_G を、 V_h , M , c を用いて表せ。

問 9 ヘリウム3原子核の運動エネルギーの、ガンマ線のエネルギーに対する比を V_h と c を用いて表せ。（これにより、核融合で放出されるエネルギーのほぼ全てはガンマ線のエネルギーであることがわかる。）

問 10 一般の原子核において、核子の間の距離はおよそ 10^{-15} m である。陽子と重陽子が核融合を起こす距離を 10^{-15} m としたとき、その距離での位置エネルギー E_s を、電子ボルトの単位で、有効数字1桁で求めよ。ただし $k_0 = 9.0 \times 10^9$ N·m²/C²、素電荷の値を $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C とする。

問 11 陽子と重陽子が気体としてふるまうと考える。気体の温度が、粒子の熱運動の平均エネルギーが **問 10** の E_s と等しくなる温度 T_s 以上であれば、核融合反応はひんばんに起こると考えられる。この温度 T_s [K] を有効数字1桁で求めよ。ただしボルツマン定数の値を 1.4×10^{-23} J/K とし、粒子の熱運動の平均エネルギーについては、理想気体の場合を仮定した式を用いよ。（ T_s に比べて、太陽の中心部の推定温度は非常に低い。しかし、トンネル効果という現象により、この反応が起きていると考えられる。）



