

2016 年度入学試験問題(後期)

理 科 (問 題)

注 意

- 1) 理科の問題冊子は全部で 29 ページあり，問題数は，物理 4 問，化学 4 問，生物 5 問である。白紙・余白の部分は計算・下書きに使用してよい。
- 2) 別に解答用紙が 3 枚ある。解答はすべてこの解答用紙の指定欄に記入すること。指定欄以外への記入はすべて無効である。
- 3) 3 枚の解答用紙のすべての所定欄に，それぞれ受験番号を記入すること。氏名を記入してはならない。また，※印の欄には何も記入してはならない。
- 4) 理科は物理・化学・生物のうち 2 科目を選択して解答すること。選択しない科目の解答用紙には(受験番号は忘れず記入の上)用紙全体に大きく×印をつけて，選択しなかったことがはっきりと分かるようにすること。
- 5) 3 科目全部にわたって解答したもの，および解答用紙 3 枚のうち 1 枚に×印のないものは，理科の試験全部が無効となる。
- 6) 問題冊子，解答用紙はともに持ち出してはならない。
- 7) 途中退場または試験終了時には，解答が他の受験生の目に触れないように解答用紙を裏返して，下から順に物理，化学，生物の解答用紙を重ねて，監督者の許可を得た後に退出すること。

2016年度後期入学試験問題 理科(問題) 訂正

物理

3ページ 大問：Ⅱ

補足

Δt (本文8行目) は Δt (5行目, 9行目, …) と同じ

6ページ 大問：Ⅲ 問3

問題文の記述を変更する

3行目 「レンズに入射する光は」

↓

「物体から出てレンズに入射する光は」

物 理

I 滑らかで水平な床の上に，図のような水平方向と角度 θ をなす滑らかな斜面を持つ質量 M の物体 A を置いた。A の上に質量 m の物体 B を置き，同時に A に水平方向に一定の力を加え始めると，A は一定の大きさ a の加速度で右向きに運動を始め，B は斜面を上り始めた。重力加速度の大きさを g として以下の問に答えよ。斜面はじゅうぶん広く，B が斜面から飛び出すことはないとする。途中の考え方も記せ。

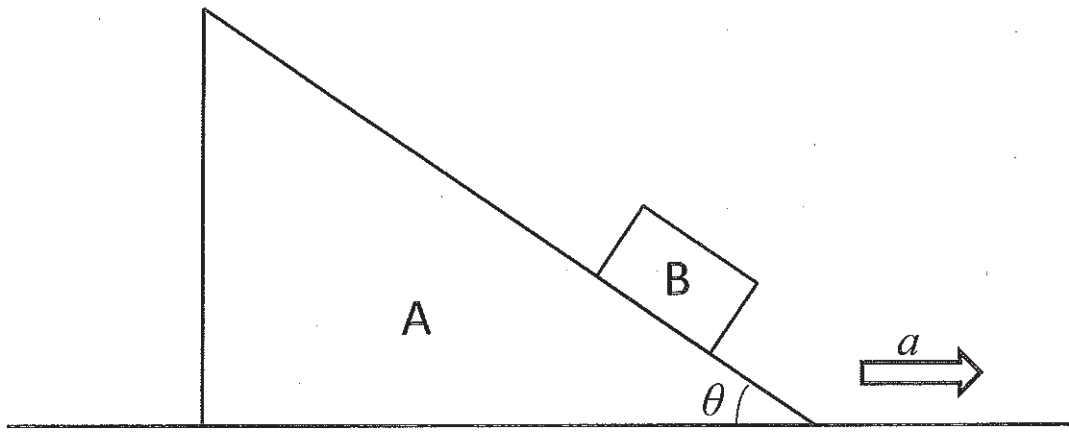
問 1 B が斜面を上るために加速度 a が満たすべき条件を求めよ。

問 2 A に水平方向に加える力の大きさはいくらか。

問 3 最初の位置から A が距離 L 移動した時点での B の高さはいくらか。最初の B の高さを 0 とする。

問 4 床上に静止している観測者を考える。観測者から見て，問 3 の時点での B の速さはいくらか。また，この観測者から見て，この時点までに B が移動した距離はいくらか。

問 5 A に力を加え始めてから問 3 の時点までに B に働く垂直抗力がした仕事はいくらか。



II 以下の文章を読み、設問に答えよ。

電気抵抗は、導体中の電場による電子の運動が、導体を構成する原子の振動などの障害物によって妨げられることによって生じる。これを、以下のようなモデルで考える。電子の質量を m 、電気素量を e とする。

まず、停止していた1個の電子が、妨げられることなく大きさ E の電場によって加速され、加速開始から Δt の時間が経過したときに障害物に衝突して運動量をすべて失うとする。衝突の直前の電子の速さは となるので、1回の衝突で電子が受ける力積の大きさは である。

次に、この現象を時間 Δt の間での平均で考えると、電子の平均の速さ \bar{v} は $\bar{v} =$ と表せる。また、上記の力積も散発的ではなく、時間 Δt の間、均等に電子に与えられ続けているとみなされる。電子1個が受ける平均の力の大きさ \bar{F} と \bar{v} の関係は $\bar{F} =$ \bar{v} となり、電子が障害物から受ける力が、A などと同様に、速さに比例する大きさを持ち運動方向と逆向きに作用する力であることがわかる。

ここで一様な断面積 S を持つ長さ L の導体を考え、その単位体積あたりの電子数を n とすると、流れる電流 I は、 Δt を用いて $I =$ と表せる。さらに、電場が導体の両端に与えた V の電位差で生じたとすると、 $I =$ V となり、オームの法則が導かれる。したがって、この導体の抵抗率 ρ は、 $\frac{\Delta t}{2} = \tau$ で定義した散乱時間 τ を用いれば、 $\rho =$ と表せる。これは1900年にドルーデが導いた電気伝導の理論に一致する。また、1回の衝突で1個の電子が障害物に受け渡す運動エネルギーは、 Δt を用いると と表せる。導体全体では、このような衝突が単位時間あたり 回起きるので、全電子から導体に受け渡される単位時間あたりのエネルギーは、 V 、 I を用いずに Δt で表すと となる。上で導いたオームの法則の式を見ると、このエネルギーがジュール熱を意味することがわかる。

問 1 空欄ア～コを適切な文字式で埋めよ。

問 2 下線部Aに入れるのにふさわしい語句を以下の①～⑨の中からすべて選び、記号で答えよ。ふさわしい語句がない場合は「該当なし」と答えよ。

- ① 物体が机の上を滑るときに机から物体に作用する水平方向の力
- ② 電子が一様な静磁場中を運動するとき静磁場から電子に作用する力
- ③ 物体が回転中心と糸でつながれて回転するとき糸から物体に作用する力
- ④ 物体が鉛直上方に投げ上げられて上昇しているときに地球から物体に作用する力
- ⑤ 人が乗ったエレベーターが一定速度で下降しているときにエレベーターの床から人に作用する力
- ⑥ 物体が流体中を運動するとき流体から物体に作用する力
- ⑦ 電子が一様な静電場中を運動するとき静電場から電子に作用する力
- ⑧ 物体がバネにつながれて振動運動するときバネから物体に作用する力
- ⑨ 人工衛星が地球のまわりを円軌道を描いて運動するとき地球から人工衛星に作用する力

Ⅲ 以下の文章を読み、設問に答えよ。問 2 から問 5 では、途中の考え方も記せ。

図 1 のように、空気(屈折率 1)中に屈折率 $n (> 1)$ の球体(中心点 C, 半径 r)を置いた。光軸上の点 P から出た光が球面上の点 R で屈折し、光軸上の点 Q に到達したとする。直線 PQ において、点 P から球面までの距離は s , 球面から点 Q までの距離は s' である。

$\overline{PR} = d_1$, $\overline{RQ} = d_2$, $\angle RCP = \beta$ とおくと、正弦定理より $\triangle RPC$ に対し

ア, $\triangle RQC$ に対し イ の関係式が得られ,

$$\frac{d_2}{d_1} = \text{ウ}$$

となる。点 R における屈折の法則 エ を用いると,

$$\frac{d_2}{d_1} = \text{オ}$$

となる。ここで、光線が光軸からあまり離れないという近似(近軸光近似)を導入すると、 $d_1 \doteq s$, $d_2 \doteq s'$ より、 d_1 と d_2 を消去することができ、

$$\frac{1}{s} + \frac{\text{カ}}{s'} = \frac{\text{キ}}{r}$$

となる。この式は、点 P から出た全ての光は、近軸光近似が成立する範囲において、点 Q に収束して像を作ることを示す。この式を結像の式と呼ぶ。

問 1 文中の ア から キ の空欄に適した式や関係式を記入せよ。

次に、図 2 のような、空気中に置いた屈折率 $n (> 1)$ の物質でできた 2 つの球面からなる薄いレンズによる結像を考える。2 つの球面の中心を結ぶ光軸上の P 点から出た光は、近軸光近似が成立する範囲において、球面 1 (曲率半径 r_1) 上の点 R で屈折した後、球面 2 (中心点 C', 曲率半径 r_2) 上の点 R' で屈折し、光軸上の点 Q' に到達する。直線 PQ' において、点 P から球面 1 までの距離は s_1 , 球面 2 から点 Q' の距離は s_2 である。

問 2 直線 RR' を延長した直線と光軸の交点を点 Q とし、直線 PQ において、球面 1 から点 Q までの距離を s_1' , 点 Q から球面 2 までの距離を s_2' とおく。球面 1 における結像の式を求めよ。また、 $\triangle R'QC'$ と $\triangle R'Q'C'$ を考えて、球面 2 における結像の式を求めよ。

問 3 レンズの厚さが s_1, s_2, s_1', s_2' に比べじゅうぶんに小さいとき, s_1 と s_2 の関係を, r_1, r_2, n だけで表せ。(これを薄いレンズの結像の式と呼ぶ。)

物体が無限遠にあるとき, レンズに入射する光は光軸に平行となる。このとき像を作る位置を後側焦点という。また, 像が無限遠にあるときの物体の位置を前側焦点という。薄いレンズの場合, レンズの中心から後側焦点および前側焦点までの距離を, それぞれ後側焦点距離, 前側焦点距離という。

問 4 薄いレンズの後側焦点距離を, r_1, r_2, n だけで表せ。

問 5 薄いレンズの前側焦点距離と後側焦点距離の間に成立する関係を示せ。

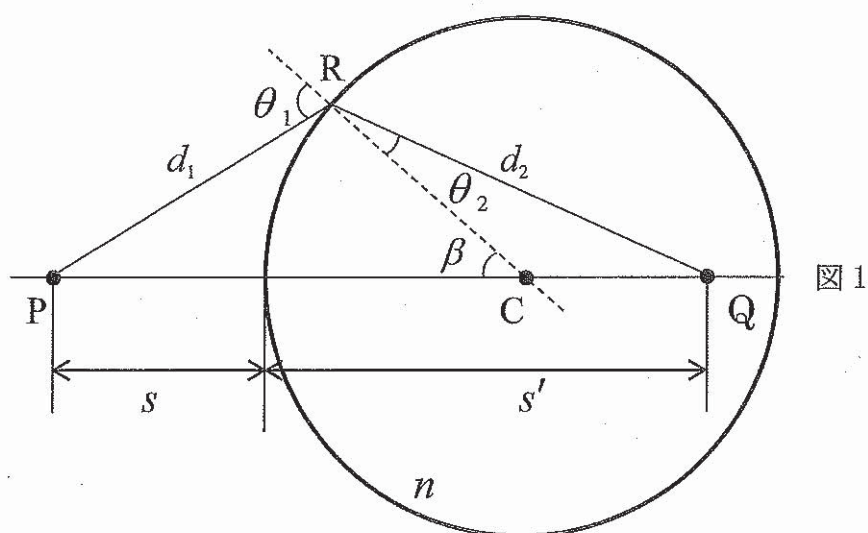


図 1

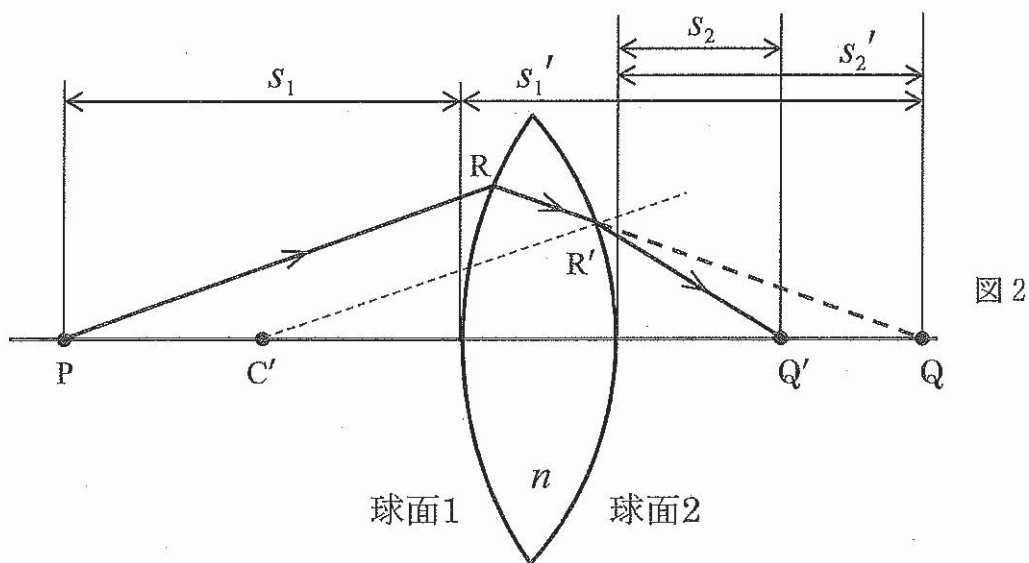


図 2

IV 次の文章を読み、以下の設問に答えよ。問6と問7については、途中の考え方も記せ。ただし、真空中の光速は 3.00×10^8 m/s, 電気素量は 1.60×10^{-19} C, $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}$ kg とする。

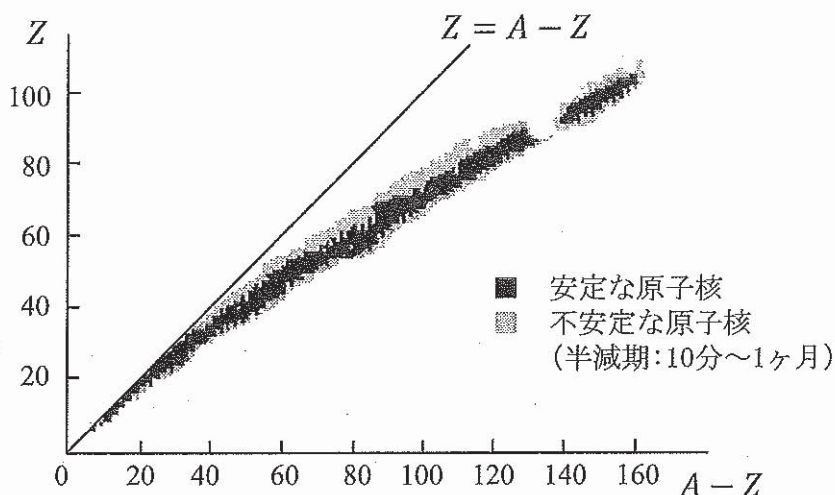
原子の中心には、半径が $10^{-15} \sim 10^{-14}$ m で、原子の質量の大部分を占める正に帯電した原子核が存在している。原子核は、一般に陽子と中性子という2種類の素粒子からできている。陽子は、 1.007276 u の質量を持ち、正の電気素量をもつ。陽子は、水素原子から質量 0.000549 u の電子1個を取り去った原子核そのものである。中性子は電氣的に中性で、質量は陽子よりもやや大きく 1.008665 u である。

ある元素において、その原子核の中にある陽子の個数をその元素の(ア)といひ Z で表す。原子核の中の陽子と中性子の総数をその原子の(イ)といひ A で表す。よって、原子核の中の中性子の数は $A-Z$ となる。原子の化学的性質を決定するのは Z である。^① そのため、同数の陽子を含む原子核からなり(イ)の異なる原子は、化学的には同じ性質を持つが、原子核としての性質は異なる。したがって、原子核の問題を取り扱う場合には、必ず Z と A を指定する必要がある。天然に存在する元素の多くには、同位体が存在する。水素には、3種類の同位体が天然に存在し、それぞれの A は、1, 2, 3 である。それらを区別するため、化学記号を用い、 ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ と表す。ヘリウムにも ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ という同位体が天然に存在している。

原子核を構成する陽子と中性子を総称して(ウ)といひ、(ウ)間には 10^{-15} m 程度の近距離にしか働かない引力が存在し、陽子間には電氣的な反発力が存在する。^② 図は、天然に存在する原子核について、原子核の中の Z と $A-Z$ との関係をグラフで表したものである。 Z の小さい領域では Z と $A-Z$ がほぼ等しいところで安定な原子核を形成しているが、 Z が大きくなると Z と $A-Z$ が等しいところ^③ で安定な原子核を形成していない。^④

安定な原子核を個々の(ウ)にするためには外からエネルギーを加えなければならない。逆に、(ウ)を結合して原子核を形成するときにはエネルギーが放出される。これを原子核の結合エネルギーという。この結合エネルギーは、質量とエネルギーの等価性より求めることができる。 ${}^1\text{H}$ 原子の原子核に中性子1個を結合

し、 ${}^1_1\text{H}$ 原子を形成するとき放出される結合エネルギーを求めてみよう。 ${}^1_1\text{H}$ 原子のイオン化エネルギーは 13.6 eV であるので、陽子と電子の結合前後での質量の差は^⑤ 無視できるほどに小さい。実際の ${}^1_1\text{H}$ 原子の質量は 2.014102 u であることから、求めたい結合エネルギーと同等の質量は (エ) u となる。



問 1 (ア)~(エ)に適した語句や数値をそれぞれの解答欄に記入せよ。

問 2 下線部①の理由を述べよ。

問 3 下線部②の力を何というか。

問 4 ${}^3_2\text{He}$ の原子核中で陽子 1 個に働く下線部②と③の力の大きさの大小関係を示せ。そのように考えた理由も述べよ。

問 5 下線部④の理由を述べよ。

問 6 下線部⑤の質量差を、原子質量単位で、有効数字 2 桁で求めよ。

問 7 ${}^1_1\text{H}$ 原子核から中性子 1 個を取り去るために必要なエネルギーは、 ${}^1_1\text{H}$ 原子から電子 1 個を取り去るために必要なエネルギーの何倍か。有効数字 2 桁で答えよ。