

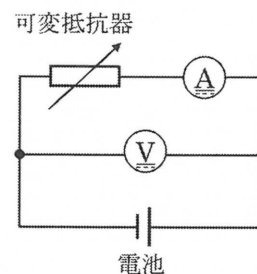
物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入しなさい。解答の過程は示さなくてよい。

1 以下の文章の (①) から (⑫) に適切な数値を入れなさい。

- 〔1〕 密度の分からない液体中で、体積 200 cm^3 、質量 140 g の一様な密度の物体を静かに放したところ、物体は加速度 140 cm/s^2 で上昇を始めた。このとき、物体に対しては浮力と重力のみが作用しているとする。これより、浮力は (①) N 、液体の密度は (②) g/cm^3 である。物体は液面に達して静止した。液面よりも上にある物体の体積は全体の (③) % である。必要なら重力加速度の大きさ 980 cm/s^2 を用いなさい。

- 〔2〕 図のように、電池に可変抵抗器と電流計、電圧計を接続した。電流計の内部抵抗は十分に小さく、電圧計の内部抵抗は十分に大きいものとする。可変抵抗器の抵抗値を変えながら電流計と電圧計の値を読み取ったところ、電流計の値が 0.20 A のとき電圧計の値は 1.40 V であり、電流計の値が 0.40 A のとき電圧計の値は 1.20 V であった。このことから、この電池の起電力は (④) V であり内部抵抗は



(⑤) Ω であることがわかる。可変抵抗器の抵抗値を 15Ω にするとき、電流計の値は (⑥) A である。

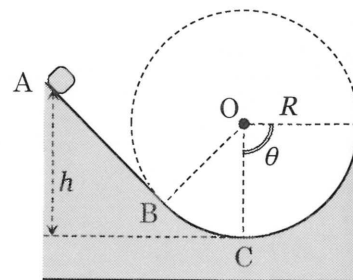
- 〔3〕 真空、媒質 1、媒質 2 における光速をそれぞれ $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$ 、 $2.0 \times 10^8\text{ m/s}$ 、 $1.5 \times 10^8\text{ m/s}$ とする。真空中で波長 $6.0 \times 10^{-7}\text{ m}$ の光が媒質 1 へ入射すると、この光の媒質 1 での波長は (⑦) m 、媒質 1 での振動数は (⑧) Hz である。また、媒質 2 に対する媒質 1 の相対屈折率は (⑨) である。

- 〔4〕 水の融点は 0°C 、水の融解熱は 334 J/g 、液体の水の比熱は $4.22\text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ である。いま、 0°C の氷の上を速さ 1.00 m/s ですべる質量 60.0 kg の物体が、摩擦により停止した。このときの仕事がすべて熱に変わるとすると、発生する熱量は (⑩) J である。この発生する熱量のすべてを使ってすべての氷がとけて液体の水になった。とけた後の水の温度が 0°C のとき、とけた水の質量は (⑪) g 、とけた後の水の温度が 1°C のとき、とけた水の質量は (⑫) g である。

- 2** 次の文章は物理の問題に取り組む生徒（マリオさんとアンナさん）と ^{ひじり} 聖先生の会話である。
 （①）から（⑨）に入るもっとも適切な式または数値を答えなさい。また、下線部（あ）、（い）に入る適切な語句を選びなさい。ただし、空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g とする。

聖先生「今日は全部で 3 つの問題に取り組めます。まずは〔1〕を考えてみましょう」

- 〔1〕 図のように、なめらかな斜面 AB が点 B で、点 O を中心としたなめらかな円形のレールに接続されている。円形のレールは、図に示すように、鉛直下方向から測った角度で θ まで敷かれている。円形レールの最下端 C から高さ h の位置 A で質量 m の小物体を静かに放したところ、小物体は斜面をすべり下り、円形レールにしたがって移動した。小物体がレールの端に到達してもなお運動エネルギーをもっている場合、小物体はレールの接線方向に投射される。 $\theta = 90^\circ$ の場合、小物体が到達する最高点の C からの高さはいくらか。また $\theta = 45^\circ$ の場合はどうか。



マリオ「小物体の運動は簡単にイメージできますね。これは円運動の問題かな？」

聖先生「円形のレールに惑わされないように！」

アンナ「文中に『運動エネルギー』という用語があるのがヒントかしら？」

聖先生「よい着眼点ですね。 $\theta = 90^\circ$ の場合、レールから投射される小物体の速さ v を g 、 h 、 R で表すとどうなりますか？」

マリオ「 $v =$ （①）です。そうか。小物体がこの速さで投射されたと考えればよいのか」

アンナ「そうね。そうすると、 $\theta = 90^\circ$ の場合、小物体が到達する最高点の C からの高さ h_1 は $h_1 =$ （②）です」

聖先生「これは簡単だったね。では $\theta = 45^\circ$ の場合、レールから投射される小物体の速さ v を g 、 h 、 R で表してみてください」

アンナ「 $\theta = 90^\circ$ と同じように考えればよいので、 $v =$ （③）となります」

マリオ「レールの端からこの速さで投射されたと考えればよいので $\theta = 90^\circ$ と同じ計算をすると…」

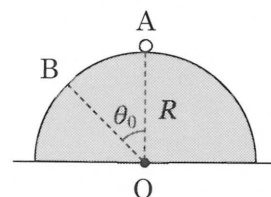
聖先生「ちょっと待って。 $\theta = 45^\circ$ の場合の投射をちゃんとイメージしてね！」

マリオ「ああ、そうか。 $\theta = 45^\circ$ の場合の最高点の C からの高さを h_2 とすれば…」

アンナ「 $h_2 =$ （④）です」

聖先生「よろしいと思います。では〔2〕はどうか？今度は円の外側をすべりますよ」

- 〔2〕 図のように点 O を中心とした半径 R の球の半分（半球）を水平な床に伏せて固定し、最上点 A に質量 m の小物体を置き、静かに放したところ、小物体はなめらかな球面上をすべり下りて鉛直方向からの角度 θ_0 の位置 B で半球から離れた。 θ_0 はいくらか。



マリオ「すべり下りるのか。なんとなく 45° くらいで球面から離れそうだ」
 聖先生「小物体が球面をすべり下りている状況を想像できたようですね。では、小物体が速さ v で、鉛直方向からの角度が θ の位置をすべり下りているときの、中心方向の運動方程式を書いてみましょう」

アンナ「小物体は円運動をしているのね。そうすると、速さ v の他に、垂直抗力も設定しておかなくては！垂直抗力の大きさを N として、小物体が球面上をすべり下りているときの運動方程式を m 、 v 、 R 、 N 、 θ 、 g を用いて表すと（⑤）となります」

聖先生「では、小物体が球面から離れる条件式を、 v 、 R 、 θ_0 、 g を用いて表すとどうなりますか？」

マリオ「これは簡単だ！（⑥）です」

聖先生「マリオさんの求めた条件式の中には求まっていない物理量がありますね。その物理量を求めるために、小物体が A 点にあるときと B 点にあるときについて、力学的エネルギー保存の法則を書いてみましょう」

マリオ「重力による位置エネルギーを計算するために基準面が必要になるな。床を基準面にしよう。」

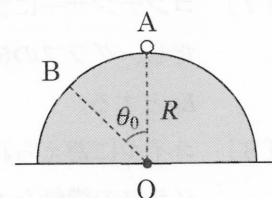
力学的エネルギー保存の法則は、床を基準面として $mgR =$ （⑦）となります」

聖先生「よろしいようです。運動方程式と力学的エネルギー保存の法則から、離れる瞬間の θ_0 が求まりますね。でもここでは計算機が使えませんか $\cos\theta_0$ を求めておきましょう」

アンナ「 $\cos\theta_0 =$ （⑧）です！たしかに θ_0 はおよそ 45° くらいだけれども、正確には 45° よりも（あ）大きい／小さい ですね」

聖先生「イメージどおりでしたね！では〔3〕に挑戦してみましょう」

〔3〕 図のように点 O を中心とした半径 R の半球を水平な床に伏せて固定し、最上点 A に質量 m の小球を置き、静かに放したところ、小球は球面上をすべることなく転がり下りて鉛直方向からの角度 θ_0 の位置 B で半球から離れた。 θ_0 はいくらか。



マリオ「すべることなく転がり下りる？」

アンナ「現象はイメージできました。でも…」

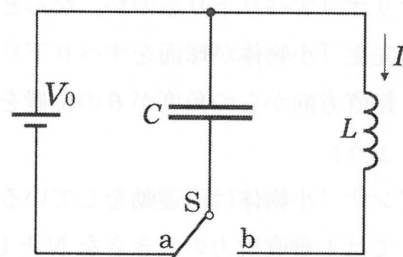
マリオ・アンナ「小球が転がる状況を式で表すことは学習していません！」

聖先生「ああ、そうでした。この問題はヒントなしでは解けませんね。球がすべらずに転がる場合について説明します。回転する球は回転によるエネルギーをもっています。これを回転エネルギーと呼びます。小球が速さ v で球面上を転がり下りているときの小球の運動エネルギーは、〔2〕の運動エネルギーに回転エネルギーを加えた式で表されます。このときの回転エネルギーをみなさんに分かるように表すと $\frac{1}{5}mv^2$ となります。そして、小球が十分小さければ、この問題でも、小球が球面から離れる条件式は（⑥）になります。それでは〔2〕と同様に θ_0 ではなく $\cos\theta_0$ を求めてみてください」

マリオ「おお、それなら計算できるぞ！ $\cos\theta_0 =$ （⑨）です！」

アンナ「この角度は〔2〕の場合よりも（い）大きい／小さい のですね！」

3 図のように、直流電源に平行板コンデンサーとコイルを並列に接続し、さらにスイッチ S を接続した。直流電源の電圧を V_0 、コンデンサーの電気容量を C 、コイルの自己インダクタンスを L とする。また、コイルや導線の電気抵抗は無視できるものとする。以下の各問に答えなさい。必要であれば円周率は π を用いなさい。



スイッチを a に接続して十分に時間を経過させた。

〔1〕 コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーを答えなさい。

次に、時刻 $t = 0$ にスイッチを b に接続すると、コンデンサーとコイルの回路に振動電流が流れた。つまり、電気振動が起こった。

〔2〕 コンデンサーとコイルの回路の固有周波数（固有振動数）を答えなさい。

〔3〕 振動電流の周期 T を答えなさい。

〔4〕 コイルに蓄えられるエネルギーの最大値を V_0 、 C 、 L 、 π のうち必要なものを用いて答えなさい。

〔5〕 コンデンサーの極板間の電圧 V の時間変化を表すグラフを解答欄に描きなさい。ただし、グラフの横軸を t 、縦軸を V とし、時刻 $t = 0$ におけるコンデンサーの極板間の電圧を V_0 とする。

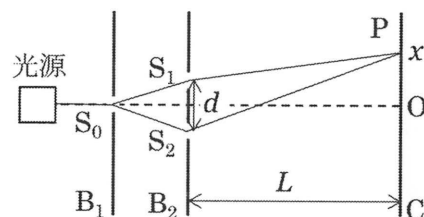
〔6〕 コイルを流れる電流 I の時間変化を表すグラフを解答欄に描きなさい。ただし、コイルを流れる電流 I の正の向きを図の矢印の向きとする。また、グラフの横軸を t 、縦軸を I とし、コイルを流れる電流の最大値を I_0 とする。

〔7〕 コンデンサーに蓄えられるエネルギー E_C の時間変化を表すグラフを解答欄に描きなさい。ただし、グラフの横軸を t 、縦軸を E_C とし、コンデンサーに蓄えられるエネルギーの最大値を E_0 とする。

〔8〕 コイルに蓄えられるエネルギー E_L の時間変化を表すグラフを解答欄に描きなさい。ただし、グラフの横軸を t 、縦軸を E_L とする。

〔9〕 $E = E_C + E_L$ とする。 E の時間変化を表すグラフを解答欄に描きなさい。ただし、グラフの横軸を t 、縦軸を E とする。

4 光の波動性に関する以下の実験を考える。図のように、光源から出た波長 λ の単色光がスリット S_0 と、スリット S_1 もしくはスリット S_2 を通りスクリーン C に到達する。 S_1 と S_2 の間隔は d で、 S_1 と S_2 はともに S_0 から等距離の位置にある。 S_0 のある平板 B_1 、 S_1 と S_2 のある平板 B_2 、および C はすべて平行で、 B_2 と C の間の距離は L である。 C 上の点 O は S_0 と、 S_1 と S_2 の中点とを通る直線が C と交わる点である。 O を原点として、 C 上で図の上向きを x 軸にとり、座標 x (≥ 0) の点を P とする。 d と x は L に比べて十分小さいものとする。光速を c 、円周率を π として以下の各問に答えなさい。



- [1] S_0 から出た光が S_1 と S_2 に同時に同位相で到達した後、 S_1 と S_2 から出た光は様々な方向に進み、 C に明暗の縞模様ができる。縞模様ができる原因となる、波としての光の主な性質は 2 つあり、1 つは回折である。もう 1 つの性質の名称を漢字 2 文字で答えなさい。
- [2] 光の経路 S_1P の長さを、近似を用いずに求めなさい。
- [3] P に到達する 2 つの光の経路差 $S_2P - S_1P$ を、十分小さい $|y|$ に対して $\sqrt{1+y} \doteq 1 + \frac{y}{2}$ の近似式が成り立つことを用いて求めなさい。以下、 $S_2P - S_1P$ にはこの結果を用いなさい。
- [4] $x \geq 0$ の範囲で、 O から数えて 3 番目の C 上の明線の x 座標を求めなさい。ただし、 O の位置が明線の場合はそれを 1 番目とする。
- [5] C 上の明線の位置における光の強さを考える。次の文章の (①) から (⑤) に入るもっとも適切な式を答えなさい。ただし、位相には 2π の整数倍を加える不定性があるが、そのような余分な定数項を加えないこと。必要であれば $\sin p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$ を用いなさい。

ここでは、光源を出て S_1 および S_2 を通過した光を振幅 A 、波長 λ の正弦波として扱う。 t を時刻として S_1 を出た光が P に初めて到達したときを $t=0$ とする。 S_1 を出た光の、 $t \geq 0$ における P での正弦波の変位 z_1 が、初期位相 ($t=0$ における位相) α の単振動であった場合、

$$z_1 = A \sin[(\text{①})t + \alpha]$$

と表すことができる。ここで (①) は t によらない正の量である。一方、 S_2 を出た光が P に初めて到達したときの時刻は $t = (\text{②})$ である。 S_2 を出た光の、 $t \geq (\text{②})$ における P での正弦波の変位 z_2 も単振動であり、

$$z_2 = A \sin[(\text{①})t + (\text{③}) + \alpha]$$

と表すことができる。ここで (③) は t によらない量である。これらの変位の和を

$$z_1 + z_2 = (\text{④}) \sin[(\text{①})t + \frac{1}{2}(\text{③}) + \alpha]$$

と表したとき、 P での光の強さは (④) の 2 乗に比例定数 k をかけた量で与えられる。これにより、[4] で求めた明線の位置における光の強さは (⑤) となる。

5 次の文章を読み、以下の各問に答えなさい。

元素の種類は原子核中の陽子の数で決まる。同じ元素でも中性子の数が異なる原子があり、これらの原子を互いに同位体（アイソトープ）という。同じ元素の同位体の化学的性質はほとんど同じであるが、それらの物理的性質は大きく異なることがある。たとえば、中性子の数によって安定な同位体と不安定な同位体が存在し、不安定な同位体は自然に放射線を出して別の原子核に変わっていく。この現象を（ ① ）といい、自然に放射線を出す性質を（ ② ）という。（ ② ）をもつ同位体を（ ③ ）、（ ② ）をもつ物質を（ ④ ）という。（ ① ）には、アルファ線を放出して別の原子核に変わるアルファ崩壊、ベータ線とニュートリノを放出して別の原子核に変わるベータ崩壊がある。崩壊後の原子核が励起状態にあるときにはさらにガンマ線を放出し、最終的に原子核は基底状態となる。（ ③ ）のうち、半減期が長いものは自然界に存在し、その一つに A 半減期が 139 万年でベータ崩壊するベリリウムの同位体 ^{10}Be があり、堆積物の年代測定などに利用されている。

放射線が物質を通過すると、B 放射線は運動エネルギーをつかって物質中の原子から電子を弾き飛ばすことがある。この現象は放射線がもつ電気量が大きいのほど強く現れる。この現象のため、物質を通過する放射線は徐々に運動エネルギーを失い、最終的に放射線のエネルギーはその物質にすべて吸収される。この現象が分子を構成している原子に対して起こる場合、その分子が破壊されることがある。放射線が人体を通過するときには、この現象は DNA や細胞を構成する分子の破壊につながる場合があり、その影響が人体に悪影響を及ぼすことがある。人体が放射線にさらされることを被曝というが、C 被曝には、人体の外側からの被曝と、体内に取り込んだ（ ④ ）による人体の内側からの被曝の 2 つがある。放射線は人体に悪影響を与えることがあるため基本的には放射線から人体を防護することが必要である。一方で、医療・医学の分野では放射線を適切に管理することで、D 放射線の透過力を利用した診断や下線部 B の現象を利用した治療などを行っているように、放射線は人体の健康を保つことにも役立っている。

- [1] 文中に現れる粒子または電磁波を示す語から、レプトンに属する語をすべて選び、その語を答えなさい。
- [2] 文中の (①) から (④) に入るもっとも適切な語句を答えなさい。
- [3] 下線部 A について、以下の各問に答えなさい。
- (1) この同位体のベータ崩壊後の原子核の陽子数と中性子数をそれぞれ答えなさい。
 - (2) 物質中のこの同位体の数が、はじめの数の $\frac{1}{1000}$ になるまでの年数を有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、 $\log_{10} 2 = 0.301$ とする。
- [4] 下線部 B について、以下の各問に答えなさい。
- (1) 放射線が示すこの現象の名称を答えなさい。
 - (2) 放射線が X 線の場合、電子を弾き飛ばした後の X 線のエネルギーは、弾き飛ばす前の X 線のエネルギーより小さくなる。X 線が起こすこの現象の名称を答えなさい。
- [5] 放射線に関する以下の単位について、単位記号をアルファベット 2 文字で表し、その読み方を答えなさい。
- (1) 物質が 1 kg あたりに吸収する放射線のエネルギー量の単位。
 - (2) 人体に対する影響を加味した線量の単位。
- [6] 下線部 C について、以下の各問に答えなさい。
- (1) 外側からの被曝と内側からの被曝の名称をそれぞれ漢字 4 文字で答えなさい。
 - (2) 外側からの被曝を低減するための 3 つの原則を答えなさい。
- [7] 下線部 D について、以下の各問に答えなさい。
- (1) 透過力がもっとも小さい放射線を、アルファ線、ベータ線、X 線、ガンマ線、中性子線のうちから 1 つ選び、その語を答えなさい。
 - (2) 透過力が小さくなる理由は、文章の内容から読み取ることができる。(1) の解答の理由を、文章の内容をもとにして、2 行以内で答えなさい。

以 上