

平成 31 年度 個別 学力 試験 問題

理 科

(医 学 科)

解答時間 120 分

配 点 各 100 点

科 目	ページ
物 理	1 ページ～7 ページ
化 学	8 ページ～13 ページ
生 物	14 ページ～19 ページ

問題冊子には上記の 3 科目の問題が載っていますが、2 科目を選択して解答しなさい。

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子及び解答冊子の中を見てはいけません。
2. 監督者の指示に従い、すべての解答冊子の所定の欄に氏名をはっきり記入しなさい。
ただし、表紙には受験番号も必ず記入しなさい。
3. 監督者の指示に従い、選択する科目の解答冊子の選択科目確認欄に○印を記入しなさい。正しく○印が記入されていない解答は無効とすることがあります。
4. 試験開始の合図のあとで問題冊子のページを上記の表に基づいて確認しなさい。
5. 解答はすべて選択した科目の解答冊子の指定された解答欄に記入しなさい。
6. 解答冊子のどのページも切り離してはいけません。
7. 下書きは問題冊子の余白部分を使用しなさい。
8. 試験時間中に問題冊子及び解答冊子の印刷不鮮明、ページの落丁及び汚損等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
9. 解答冊子はすべて持ち帰ってはいけません。
10. 問題冊子は持ち帰ってもかまいません。

物 理

1. 物理は全部で3問題あり，合計6ページあります。
2. すべての問題に解答しなさい。
3. 解答冊子は1問題に1ページずつ，合計3ページあります。
4. 解答は解答冊子の所定の欄に記入しなさい。

1

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

図1-1のように、質量 m [kg] のおもり A がバネ定数 k [N/m] のバネで床とつながれている。おもり A の反対側には糸がつながれており、糸は真上に伸びて、水平に並んだ2つの滑車を通ったあと、もう一方の端で質量 M [kg] ($M > m$) のおもり B を吊り下げている。重力加速度を g [m/s²] とする。バネや糸の質量、滑車やおもりの大きさや滑車の摩擦は無視することができる。また、糸は伸びない。

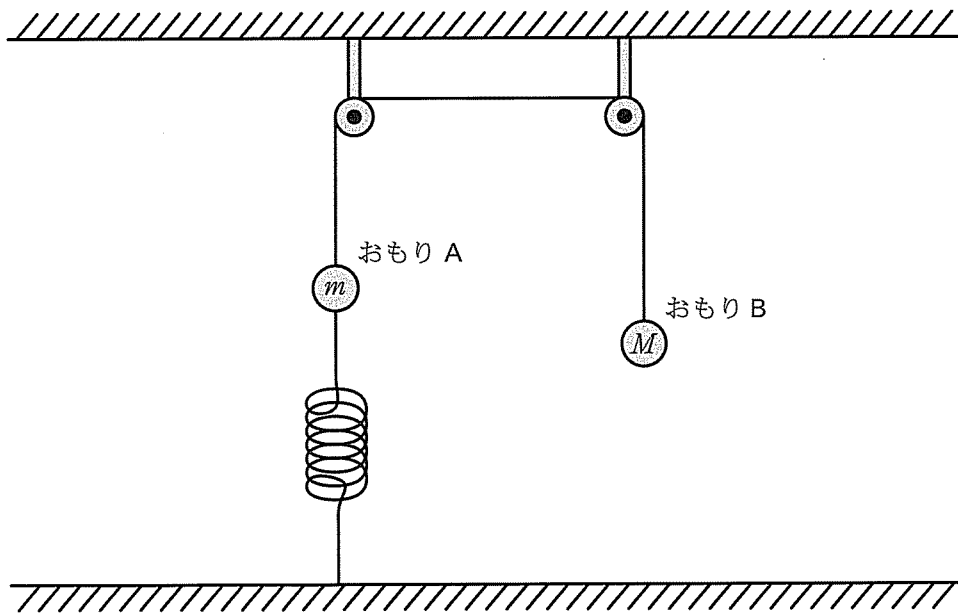


図1-1

問1 おもり A, B, バネに働く力が釣り合って静止しているときのバネの自然長からの伸びを答えなさい。

次に、おもり B を鉛直方向にわずかに引き下げて手を離れたところ、おもり B は振幅 w [m] の単振動を始めた。

問2 バネの自然長からの伸びが x [m] のときの糸の張力の大きさを答えなさい。

問3 この単振動の周期を答えなさい。

問 4 おもり A の運動エネルギーの最大値を答えなさい。

問 5 振動が単振動であるための振幅の条件を答えなさい。ただし、バネは十分に長いものとする。

次に、図 1—2 のようにバネを取り去り、代わりに長さ S [m] の糸でおもり A と滑車の直下の床をつないだ。床から滑車までの高さは $2S$ [m] とする。おもり A と床をつなぐ糸が鉛直線となす角を θ [rad] であらわす。おもり B を取り去り一定の力 F [N] で鉛直下向きにひっぱる。おもり A をある位置で静止した状態から静かに放したところ、おもり A は単振動を始めた。角度 θ が十分に小さい場合についてだけ考え、計算では近似式 $\sin \theta \cong \theta$ 、および、 $\cos \theta \cong 1$ を用いなさい。

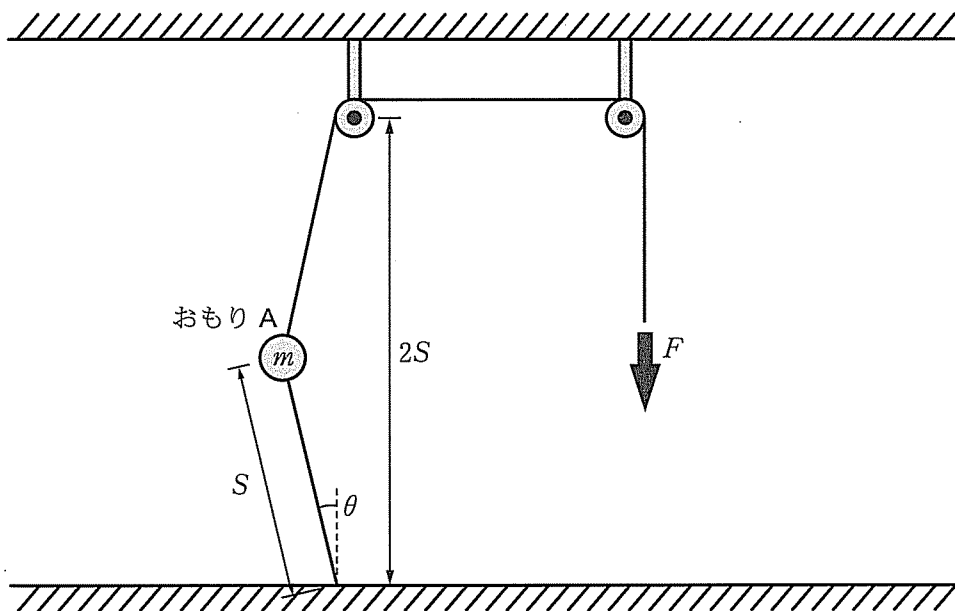


図 1—2

問 6 おもり A と下の床をつなぐ糸にかかる張力の大きさを答えなさい。

問 7 おもり A に働くすべての力の合力の大きさを答えなさい。

問 8 この単振動の周期を答えなさい。ただし、このとき、どの糸も緩むことはない。また、おもりの運動は水平方向だけを考えればよい。

2

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

図2のように、斜面上に十分に長い導線でできたレールを平行に2本置いた。斜面は水平な床と任意の角度 θ ($0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$) の斜面を作ることができる。レールとレールの間は ℓ [m]、レールの一端にはスイッチを通して電源が接続されており、他端は開放されている。この電源は、つねに一定の電流を流すことができる。鉛直方向に磁束密度 W [T] の一様な磁場が下から上に向かって加えられている。スイッチから十分に離れた位置に、質量 m [kg] の導体の棒（以下、導体棒）をレールと直交して置き、固定した。導体棒はレール上を滑らかに移動でき、一定の抵抗値を持つ。レールの抵抗は無視できるものとする。また、斜面は絶縁体でできており、2本のレールの間は導体棒を通して電気を流すことができる。重力加速度は g [m/s²] とする。

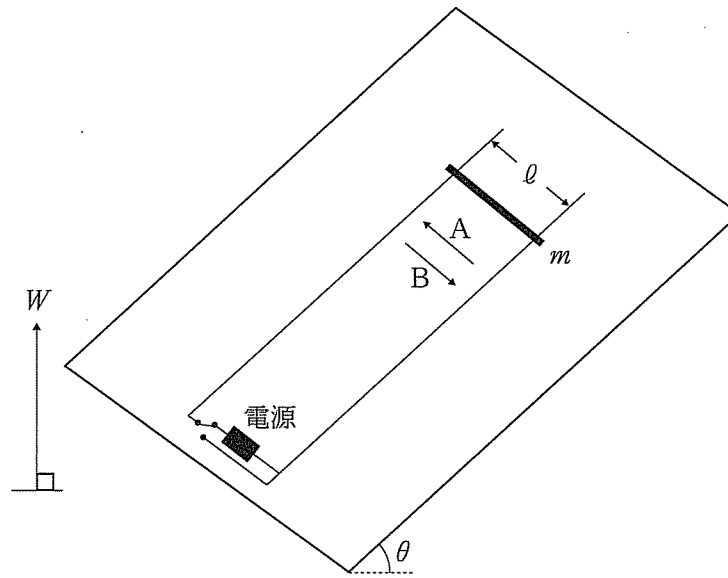


図2

斜面が床となす角度が θ_0 のとき電源から電流 I_0 [A] を流し、静かに固定をはずすと導体棒は斜面上を上方向に動きはじめた。

問1 導体棒の加速度を求めなさい。

問2 導体棒に流れる電流の方向は図2のA、Bどちらの方向か答えなさい。

そのあと、導体棒を固定し、導体棒からみて下の位置の斜面上に絶縁体でできたおもりを設置した。導体棒とおもりはひもで結ばれており、おもりとひものレールとの接触はないものとする。導体棒の固定を静かに外したが、導体棒とおもりは斜面上に静止したままであった。おもりと斜面との摩擦は無視できるものとする。ひもは斜面と平行に張られており、斜面とは接しておらず、また、質量は無視できる。

問 3 おもりの質量を求めなさい。

問 4 磁界の磁束密度が増加するとおもりの運動はどのようなになるか説明しなさい。

再び導体棒を固定し、ひもを切り離れたあと、スイッチを切り替え電源を通さずに回路を閉じた。そのあと、導体棒の固定を外したところ、導体棒はレール上を下方方向に進み、十分な時間が経ったあと導体棒の速さは一定の速さ v_0 [m/s] になった。

問 5 導体棒にかかる誘導起電力を図 2 の A の向きを正として求めなさい。

そのあと、斜面の傾きを床と平行 ($\theta = 0$) にした。ここで、スイッチを切り替え、再び電源に接続したところ、導体棒に電流 I_0 [A] が流れた。レールに沿って進行方向を x 軸の正の向きとし、スイッチを切り替えた瞬間の導体棒の位置を始点 ($x = 0$) とする。始点における導体棒の速さは v_1 [m/s] であった。導体棒は徐々に速度を落とし停止したあと、反対方向に進み始めた。

問 6 スwitchを切り替えたあとに導体棒にかかる力を求めなさい。

問 7 スwitchを切り替えた瞬間から t 秒後の導体棒の速さを求めなさい。

問 8 始点から導体棒が停止するまでに進んだ距離を求めなさい。

3 次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、問3から問8の解答は最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

よくみがかれた金属表面に紫外線や波長の短い可視光を照射すると、金属から電子が飛び出してくる。この現象を(ア)という。また、このとき飛び出てきた電子を(イ)という。アインシュタインやプランクらはこの現象を詳しく考察することにより、光は波動としての性質とともに、粒子としての性質をもつと認識し、光量子説が考えられた。電子を金属から取り出すには仕事が必要であり、その仕事の最小値は金属ごとに決まっており、仕事関数と呼ばれる。表に①～③の3種類の金属の仕事関数の値を示している。

表 3種類の金属の仕事関数

金属	仕事関数[J]
①	3×10^{-19}
②	4×10^{-19}
③	7×10^{-19}

アインシュタインは、相対性理論の研究により、光子はエネルギーだけでなく、その進行方向に運動量を持つと考え、この考えが正しいことが、コンプトンによって実証された。図3のように、波長 λ_0 [m]のX線が静止している質量 m [kg]の電子に衝突したとする。x軸となす角 θ [rad] ($\theta > 0$)で散乱したX線の波長を λ [m]、x軸となす角 ϕ [rad] ($\phi > 0$)ではね飛ばされた電子の速さを v [m/s]とすると、衝突前のX線のx軸方向の運動量は(a)であり、衝突後のX線のx軸方向の運動量は(b)、衝突後の電子のx軸方向の運動量は(c)となる。同様に、衝突前のX線のy軸方向の運動量は(d)であり、衝突後のX線のy軸方向の運動量は(e)、衝突後の電子のy軸方向の運動量は(f)となる。また、衝突前のX線のエネルギーは(g)であり、衝突後のX線のエネルギーは(h)、衝突後の電子のエネルギーは(i)となる。

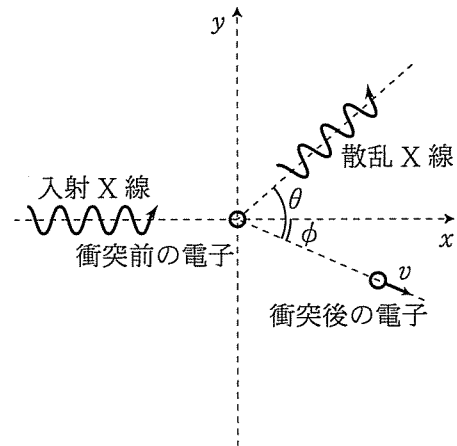


図3

特殊相対性理論では、質量とエネルギーは同等であることが示されている。電子とその(ウ) (同じ質量、寿命、電気量の大きさを持つが、電荷の符号が逆である粒子)である陽電子が衝突して両方とも消滅し、光子などが生成される反応を対消滅という。

放射線の医学への利用のひとつにPET(positron emission tomography 陽電子放出断層撮影)がある。これは特定の臓器や組織に集まることが分かっている薬剤の一部に ^{18}F 等の放射性同位元素を含むものを用いる。この ^{18}F は、半減期約110分で、陽電子を放出し $\left(\begin{smallmatrix} j \\ k \end{smallmatrix} \right)_0$ になる。放射性同位元素から発生する陽電子が対消滅するとき発生する γ 線を、あらゆる方向で繰り返し測定し、結果を解析することにより薬剤の3次元分布を画像化することができる。この ^{18}F は通常、加速器などで人工的に作成したものを用いるが、放射性同位元素には、ウランのように地球ができた45億年前から存在しているものもある。

問題を解くために必要があれば、プランク定数には h [J·s]、光速には c [m/s]を用いなさい。

また、数値を求める計算が必要があれば、電子の質量には $m = 9 \times 10^{-31}$ kg, 電気素量には 1.6×10^{-19} C, 光速には $c = 3.0 \times 10^8$ m/s, プランク定数には $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J・s を用いなさい。

問 1 文中の(ア)～(ウ)に適切な語句を入れなさい。

問 2 文中の(a)～(k)に適切な数式または数値を入れなさい。ただし、(j)と(k)はフッ素が陽電子を放出してできた酸素の質量数と原子番号を示している。

問 3 金属①～③にある波長の単色光を照射したが、どの金属からも電子は放出されなかった。そこから光の波長を徐々に短くしていったところ、ある一つの金属から電子が放出された。はじめに電子が放出されるのは①～③のどの金属か番号で答えなさい。また、そのときの光の波長の値を求めなさい。

問 4 上の問 3 の状態からさらに光の波長を短くしていったところ、ある波長ですべての金属から電子が放出された。このとき、はじめに電子が放出された金属から放出される電子の速さの中でもっとも速いものの値を求めなさい。ただし、計算に必要であれば $\sqrt{2} = 1.4$ の値を用いなさい。

問 5 ②の金属の仕事関数の値を電子ボルト単位で求めなさい。

問 6 電子に衝突して散乱した X 線の波長 λ を、 x 軸方向の運動量保存の法則、 y 軸方向の運動量保存の法則、およびエネルギー保存の法則を用いて導出し、 λ_0 , h , m , c , θ を用いて表しなさい。ただし、 $\frac{\lambda_0}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda_0} = 2$ と近似できるものとし、近似に用いる途中の式($\frac{\lambda_0}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda_0}$ を含む式)を説明の中で記して、最終的な式を導きなさい。

問 7 電子と陽電子がともにほぼ静止した状態で衝突して両方とも消滅し、光子 2 個のみが生成されるとき、光子の波長の値を求めなさい。また、それぞれの光子の進行方向のなす角がどのようになるか説明しなさい。

問 8 ${}^{238}_{92}\text{U}$ と ${}^{235}_{92}\text{U}$ の半減期はそれぞれ 45 億年と 9 億年である。現在の地球上の ${}^{238}_{92}\text{U}$ と ${}^{235}_{92}\text{U}$ の存在比が 140 : 1 であるとして、地球ができたころ(45 億年前)の存在比を求めなさい。ただし、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ と ${}^{235}_{92}\text{U}$ は地球ができたころから現在まで、原子核の崩壊による減少以外は考えなくてよいものとする。

