

## 平成 31 年度・入学試験問題

# 理 科 (前)

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は 35 ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意(重要)

「物理」、 「化学」、 「生物」のうち 2 科目を選択して解答しなさい。

選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後、90 分で回収します。それ以後は選択の変更は認めません。

試験開始後、全科目の解答用紙 8 枚ともに氏名(カタカナ)及び受験番号を記入しなさい。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点できないことがあります。また、氏名(カタカナ)及び受験番号以外の文字、数字などは、絶対に記入してはいけません。

1950

1951

## 理 科 問 題

物 理	問題 1	3 ページ
	" 2	5 "
	" 3	7 "
	" 4	9 "

化 学	問題 1	11 ページ
	" 2	14 "
	" 3	17 "
	" 4	19 "

生 物	問題 1	21 ページ
	" 2	23 "
	" 3	29 "
	" 4	33 "

## 解 答 用 紙

理科	物理解答用紙	2 枚
理科	化学解答用紙	2 枚
理科	生物解答用紙	4 枚

# 物 理

## 物理問題 1

図1は、質量  $M$  の小球 A と小球 B が、ばね定数  $k$  の3本のつる巻きばね(S1, S2, S3)と連結され、摩擦のない平らな床の上に置かれている様子を示している。自然長  $L$  のばねと小球はつりあった状態で一直線上に並び、ばね S1 の左端は壁 P に固定され、ばね S3 の右端は可動性の壁 Q に固定されている。当初、床は水平であるとする。

小球がばねから受ける力および小球の変位は常に床に対して平行方向であり、小球の大きさ、ばねの質量、空気抵抗は無視できるものとする。

PQ 間の距離を  $3L$  に固定した場合を考える。小球が静止している初期状態から、小球 A および小球 B を同時にゆっくり距離  $X$  だけ右方へ移動させ小球を保持した。次に、保持する力を瞬間的に同時に取り除き、小球を単振動させた。

- (1) S1 が自然長となった時の小球 A の速さ  $V$  を求めよ。
- (2) 小球 B の振動周期  $T_B$  を求めよ。

静止している初期状態から、小球 A を右方へ、小球 B を左方へ、各々距離  $X$  だけゆっくりと移動させ小球を保持した。次に、保持する力を瞬間的に同時に取り除き、小球を単振動させた。

- (3) 小球 A の単振動の様子について、振幅および振動周期を求め、解答欄に一周分を図示せよ。ただし、小球 A の初期状態の位置を 0 とし、右方向を正の向きとする。横軸を力を取り除いてからの経過時間、縦軸を小球 A の位置とする。

静止している初期状態から、力のつりあいを保ったまま壁 Q を右側へ距離  $Y$  だけゆっくりと移動させて固定し、PQ 間の距離を  $3L + Y$  とした。

- (4) このとき、小球 B の初期状態に対する右への変位  $\Delta Y$  を求めよ。

- (5) 壁 Q を移動させて固定した状態から、小球 A を右方へ、小球 B を左方へ、各々距離  $X$  だけゆっくりと移動させ小球を保持した。次に、保持する力を瞬間的に同時に取り除き、小球を単振動させた。小球 A の振動周期  $T_A$  を求めよ。

図 2 は、PQ 間の距離を  $3L$  に固定した装置全体を角度  $\theta$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) の斜面上に固定し、小球 A および小球 B に作用する力がつりあっている状態を示している。重力加速度を  $g$  とする。

- (6) 図 2 のつりあった状態において、小球 A の壁 P からの距離を求めよ。なお、解答に至る思考過程が分かる説明式などを解答欄に示しなさい。

図 2 のつりあった状態から、壁 Q の方向へ小球 B に力を加え、まっすぐ距離  $Z$  だけゆっくり移動させると、小球 A は壁 Q の方向に  $\Delta Z$  だけ移動した。

- (7)  $\Delta Z$  を求めよ。  
 (8) 小球 B に外から加えている力の大きさ  $F$  を求めよ。

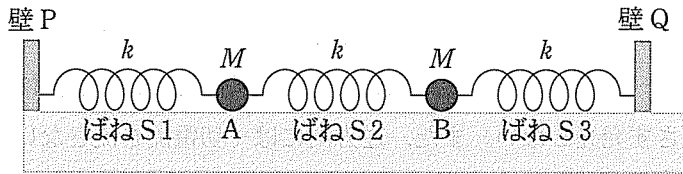


図 1

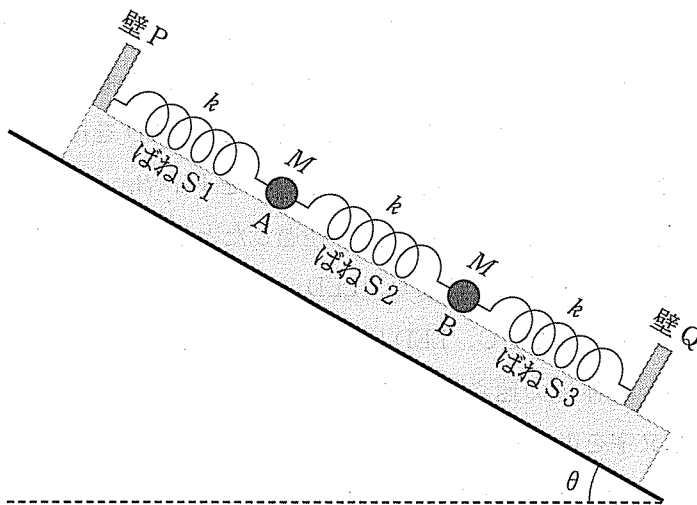


図 2

## 物理問題 2

図1のように、導体からなる間隔  $\ell$  の平行直線レールが鉛直方向に設置されている。レール間は、発光ダイオード(LED)と電気抵抗  $R$  の抵抗を接続した2本の導線で結ばれている。2本の導線の下では質量  $m$  の導体棒がレールに対して直角に接触しており、接触したままなめらかに上下に動くことができる。鉛直下向きに一定の重力加速度  $g$  が作用しており、同時に、紙面奥から手前向きに磁束密度  $B$  の一様な磁場(磁界)が存在する。レールは無限に長く、導体棒はレールから外れることも、LED や抵抗に衝突することもない。磁場はレールや導体棒に対して垂直であり、LED や抵抗には影響を及ぼさない。レールと導体棒の太さ、抵抗以外の電気抵抗、導線・レール・導体棒からなる回路の自己インダクタンス、LED の電気容量、導体棒に対する空気抵抗は無視できる。

LED は図2に示す電流電圧特性を持つ。LED にかかる順方向の電圧が  $V_0$  以下のとき、電流は流れない。電圧が  $V_0$  を超えると電流が流れ、発光し始める。このとき、LED にかかる電圧  $V$  と流れる電流  $I$  には  $I = (V - V_0)/R_0$  の関係がある。ここで  $R_0$  は一定である。流れる電流が  $I_0$  を超えるとLEDは壊れ、それ以降は一切電流を流さず発光しない。また、逆方向には一切電流を流さない。

以下の問いに答えよ。

- (1) 最初、導体棒は手で支えられて静止していた。手を離すと導体棒は落下し始め、しばらくするとLEDが発光し始めた。それはAとB、どちらのLEDか答えよ。また、これ以降、“LED”とはここで選択したLEDを指すこととする。
- (2) LEDが発光し始めたときの導体棒の速さ  $v_1$  を  $V_0$ ,  $B$ ,  $\ell$  を用いて求めよ。
- (3) LEDが発光し始めてからある時間が経過したとき、導体棒には電流  $I_2$  が流れていた。図2の電流電圧特性より、LEDにかかっている電圧  $V_{\text{LED}}$  を  $V_0$ ,  $R_0$ ,  $I_2$  を用いて求めよ。ただし、LEDは壊れていないとする。
- (4) (3)のとき、導体棒の速さは  $v_2$  であった。 $I_2$  を、 $B$ ,  $\ell$ ,  $R$ ,  $R_0$ ,  $V_0$ ,  $v_2$ ,  $v_1$  のうち必要な文字を用いて求めよ。
- (5) (3)のとき、導体棒の加速度の大きさ  $a_2$  を、 $B$ ,  $\ell$ ,  $R$ ,  $R_0$ ,  $V_0$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $I_2$ ,  $v_2$ ,  $v_1$  のうち必要な文字を用いて求めよ。

- (6) LED についても、抵抗と同じように、加わる電圧と流れる電流の積で消費電力を求めることができる。(3)の状態から微小時間  $\Delta t$  が経過する間に LED と抵抗で消費した電力量  $W_2$  を、 $B, \ell, R, R_0, V_0, I_2, v_2, v_1, \Delta t$  のうち必要な文字を用いて求めよ。微小時間  $\Delta t$  の間の電流の変化は無視して良い。
- (7) (6)で解答した消費電力量  $W_2$  のエネルギー源は導体棒の  エネルギーである。また、導体棒の  エネルギーの一部は導体棒の  エネルギーの増加に使われる。したがって、 $W_2$  は導体棒の  エネルギーの減少量に一致する。空欄に当てはまる言葉をそれぞれ答えよ。
- (8) (7)で解答した導体棒の  エネルギーの減少量が(6)で解答した  $W_2$  と一致することを示せ。微小時間  $\Delta t$  の間の電流の変化は無視して良い。また、 $(\Delta t)^2$  は十分に小さいため無視して良い。
- (9) (3)の状態からしばらくすると、導体棒の落下速度はほぼ一定値  $v_3$  となり、LED は光り続けていた。 $v_3$  は  $v_1$  の何倍になるか、 $B, \ell, R, R_0, V_0, m, g$  を用いて求めよ。
- (10) 最終的に LED が壊れないためには、導体棒の質量は  $m_0$  以下でなければならない。 $m_0$  を、 $B, \ell, R, R_0, V_0, I_0, g$  のうち必要な文字を用いて求めよ。

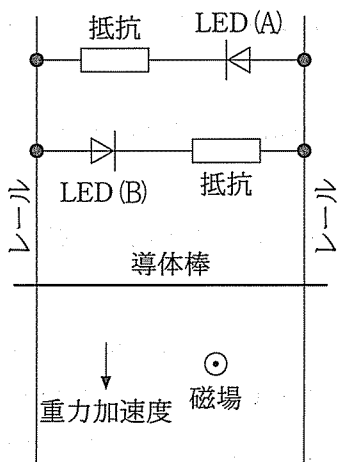


図 1

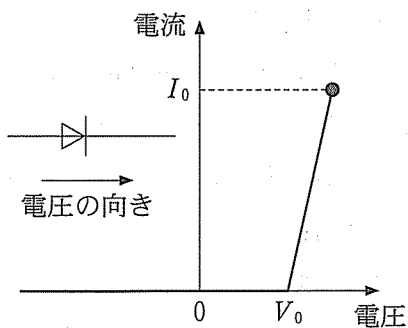


図 2

### 物理問題 3

図1は、真空中に設置した、複スリットによる単色光の干渉実験装置を示したものである。光源Qから出た波長 $\lambda$ の光は、板A上のスリット $S_0$ 、および板B上の複スリット $S_1, S_2$ を通して、スクリーンC上に干渉じまをつくる。板A、板B、スクリーンCは互いに平行で、AB間の距離は $L$ 、BC間の距離は $R$ である。 $S_1$ と $S_2$ は $S_0$ から等距離にあり、 $S_1$ と $S_2$ のスリット間距離を $d$ 、 $S_1S_2$ の中点をM、光源QとMとを結ぶ直線が板Aと交わる点をN、スクリーンCと直交する点をOとする。また、図1のように、Oを原点としてスクリーンC上に $x$ 軸をとり、C上の点Pの位置を座標 $x$ で表す。 $d$ 、およびOP間の距離は $R$ に比べて十分に小さいものとして、以下の問に答えよ。

- (1) スリット $S_1, S_2$ から点Pに到達した回折光の距離差 $S_2P - S_1P$ を、 $R, d, x$ を用いて表せ。ただし、計算の過程も示せ。 $|y| \ll 1$ のとき $(1+y)^k \approx 1+ky$ と近似できることを利用せよ。
- (2) スクリーンC上の点Oには明線が生じる。これを0番目として、スクリーンC上に生じる中央から $m$ 番目の明線の座標 $x_m$ を求めよ。ただし、 $m(m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ は整数を表す記号であり、 $m \geq 1$ は $x$ 軸正の位置の明線、 $m \leq -1$ は $x$ 軸負の位置の明線に対応する。
- (3)  $d = 0.20 \text{ mm}$ 、 $R = 40 \text{ cm}$ のとき、明線の間隔は $1.2 \text{ mm}$ であった。光源Qから出た光の波長 $\lambda$ は何 $\text{m}$ か。
- (4) 光源Qが太陽光の場合には、1番目( $m=1$ )の明線の最も原点(点O)寄りの可視光は何色の光か。
- (5) (2)において、スリット $S_0$ を点Nから $h$ だけ下方にずらしたところ、スクリーンC上の干渉じまがわずかに移動した。 $m$ 番目の明線が移動した後の座標 $x'_m$ を、 $m, \lambda, R, L, d, h$ を用いて表せ。ただし、 $d, h$ は $L$ に比べて十分に小さいものとする。



- (6) スリット  $S_0$  を点  $N$  の位置に戻した。次に、図2のように、屈折率  $n$  ( $n > 1$ )、厚さ  $D$  の透明なガラス板を直線  $S_0S_1$  に対して垂直に差し入れたところ、スクリーン  $C$  上の干渉じまがわずかに移動した。このとき、干渉じまは、上下いずれの方向に移動したか。また、干渉じまの移動距離  $\Delta x$  の大きさ  $|\Delta x|$  を求めよ。

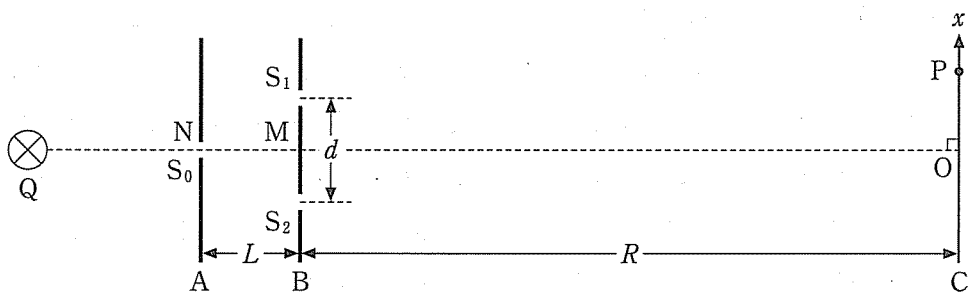


図 1

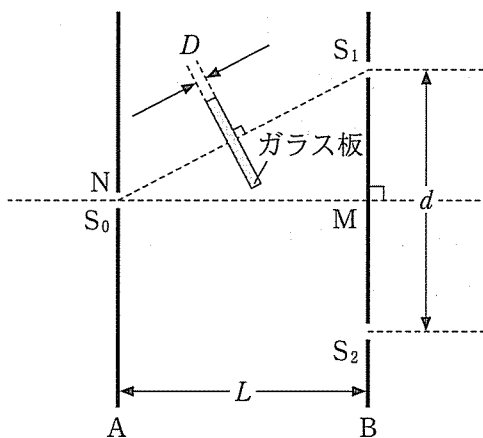


図 2

## 物理問題 4

図1に示すように、静止した電子が $z$ 軸上にある陰極 $O$ で連続的に生成され、電圧 $V_0$ で加速されて、 $z$ 軸上にある接地された陽極の小穴 $H$ から $z$ 軸の正の向きに飛び出るようになっている。これらの電子を、 $x$ 軸に垂直に置かれた2枚の平行電極板からなる偏向板間の左端中央部 $P$ 点の位置に入射させる。偏向板間には、最大値を $V_A$ とする交流電圧がかけられており、電子に $x$ 軸方向の速度を与えるようになっている。偏向板間に生じる $x$ 軸方向の電場(電界)は一様であり、偏向板間の外にはもれだしていないものとする。偏向板の間隔は $2d$ 、 $z$ 軸に沿った長さは $\ell$ である。 $P$ 点より $z$ 軸の正の向き、距離 $\ell + L_0$ の位置には蛍光板が $z$ 軸に垂直に取り付けられている。この蛍光板により、偏向板間を通過した電子が蛍光板上に衝突した位置を知ることができる。ここで $z$ 軸と蛍光板の交わる点 $Q$ を $x = 0$ とする。電子の電荷を $-e$ 、質量を $m$ 、光の速さを $c$ 、プランク定数を $h$ として以下の問いに答えよ。ただし、装置の内部は真空になっており、装置に及ぼす重力や地磁気の影響は無視できるものとする。また、個々の電子が偏向板間を通過するあいだにおける交流電圧の時間変化は無視できるものとする。

- (1) 小穴 $H$ を通過した瞬間の電子の $z$ 軸方向の速さ $v_z$ を、 $m$ 、 $e$ 、 $V_0$ を用いて表せ。
- (2) 速さ $v_z$ で偏向板の $P$ 点に入射した電子が偏向板間を通過する場合、通過した直後の電子の $x$ 座標 $x_1$ が取り得る範囲を、 $V_0$ 、 $V_A$ 、 $d$ 、 $\ell$ を用いて表せ。ただし、 $V_A$ は偏向板に電子が衝突することがない範囲の大きさでかけられているものとする。
- (3)  $V_A$ がある電圧値 $V_M$ より大きければ、電子は偏向板に衝突する。この電圧値 $V_M$ を、 $V_0$ 、 $d$ 、 $\ell$ を用いて表せ。
- (4) 偏向板を出た電子が蛍光板に衝突することによって、蛍光板の $x$ 軸上に可視光で発光する輝点が形成される。(3)で得られた $V_M$ を最大値とする交流電圧を偏向板にかけた場合、蛍光板の $x$ 軸上のどの範囲に輝点が形成されるか。輝点が示す $x$ 座標 $x_2$ が取り得る範囲を、 $L_0$ 、 $d$ 、 $\ell$ を用いて表せ。

電子の運動エネルギーが十分に大きいため、この電子が蛍光板に衝突することによって連続 X 線および固有 X 線(特性 X 線)が発生した。以下の設問に答えよ。ただし、蛍光板で発生した可視光のエネルギーは、発生する X 線のエネルギーと比較して無視できるほど小さいものとする。

- (5) 蛍光板の点 Q の位置において発生し得る連続 X 線のなかで最も短い波長  $\lambda_Q$  を、 $e$ ,  $V_0$ ,  $c$ ,  $h$ , を用いて表せ。
- (6) (4)で求めた範囲のなかで発生し得る連続 X 線のうち、最も短い波長  $\lambda_M$  を、 $e$ ,  $V_0$ ,  $d$ ,  $\ell$ ,  $c$ ,  $h$ , を用いて表せ。
- (7) 交流電圧の最大値は  $V_M$  としたまま、加速電圧を  $V_0$  から  $2V_0$  に変化させたとき、蛍光板の  $x$  軸上で得られる連続 X 線のなかで最も短い波長  $\lambda'_M$  は、(6)の  $\lambda_M$  の何倍になるか。 $d$ ,  $\ell$  を用いて表せ。
- (8) 蛍光板で発生した固有 X 線スペクトルの波長を読み取ることによって、蛍光板を構成する元素を同定することができる。この理由を固有 X 線スペクトルの発生原理に基づいて簡潔に記せ。

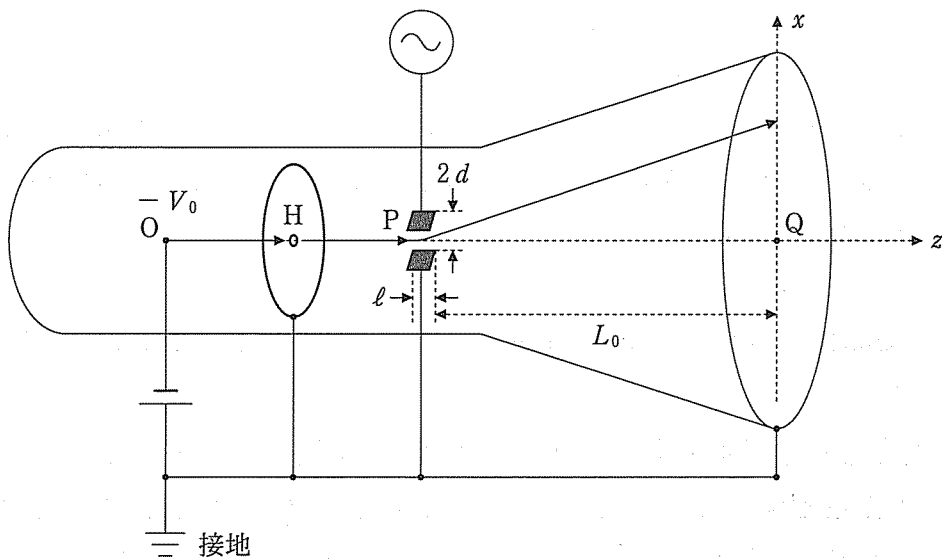


図 1