

2020 年度入学試験問題（後期日程）

物 理

出題意図及び正答例

問題 1

出題意図

質量の異なる二つの小球の衝突に関する問題である。単振動、力学的エネルギー保存則および運動量保存則などを理解しているかを問うている。また、グラフを描く能力を問うている。

正答例

| | | |
|-----|---|---|
| (a) | $A = x_0$ | $\omega = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{M}}$ |
| | $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$ | $T = 4\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$ |
| | $V_{\max} = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | |
| (b) | (i) $-\frac{\pi}{2} x_0$ | |
| | (ii) 小球 A の速度 $\frac{1}{3} V_{\max}$ | 小球 B の速度 $-\frac{5}{3} V_{\max}$ |
| (c) | (i) 衝突の時刻 $\frac{5\pi}{3} \sqrt{\frac{M}{k}}$ | |

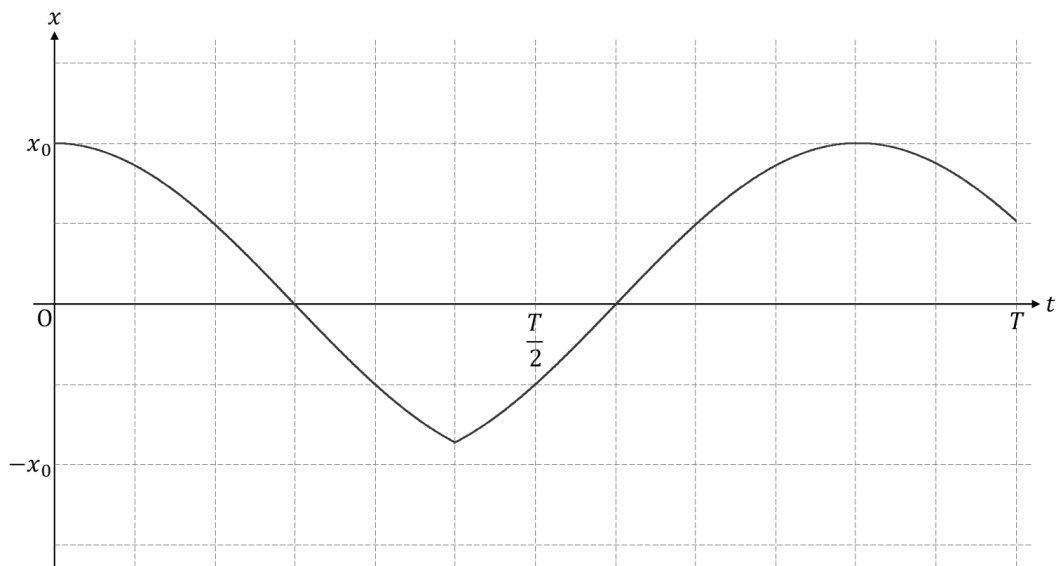
(ii)

小球 A の速度 $\frac{1}{2}V_{\max}$

小球 B の速度 $-V_{\max}$

衝突の位置 $-\frac{\sqrt{3}}{2}x_0$

(iii)



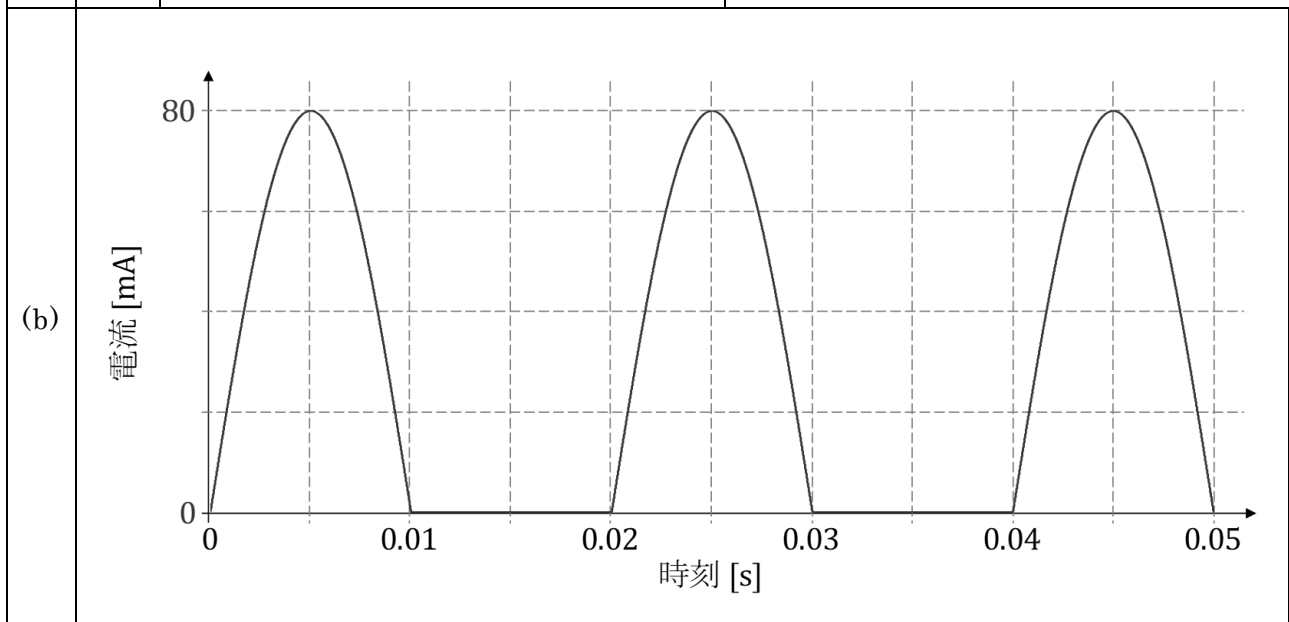
問題 2

出題意図

ダイオードとそれを用いた回路に関する問題である。直流および交流におけるダイオードの特性について理解しているかを問うている。また、単位の換算や有効数字の取り扱いについて理解しているかを問うている。さらにグラフを描く能力を問うている。

正答例

| | | |
|-----|-------|------------------------------------|
| (a) | (i) | $V_d + RI = 3.0$ |
| | (ii) | 25 mA |
| | (iii) | $3.8 \times 10^{-2} \text{ W}$ |
| | (iv) | $2.7 \times 10^2 \text{ J}$ |
| | (v) | $4.2 \Omega \leq R \leq 20 \Omega$ |



問題 3

出題意図

シリンダー内の気体の状態変化に関する問題である。等温変化や定積変化などの状態変化や、熱サイクルに関して理解しているかを問うている。また、グラフを描く能力を問うている。

正答例

| | |
|-----|---|
| (a) | 定圧変化 |
| (b) | $\frac{3}{2}V_0$ |
| (c) | |
| (d) | $\frac{3}{2}RT_0$ |
| (e) | $2\log\frac{3}{2}RT_0$ |
| (f) | $\left(2\log\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)RT_0$ |
| (g) | 1.4×10^{-1} |
| (h) | 9.6×10^{-2} |

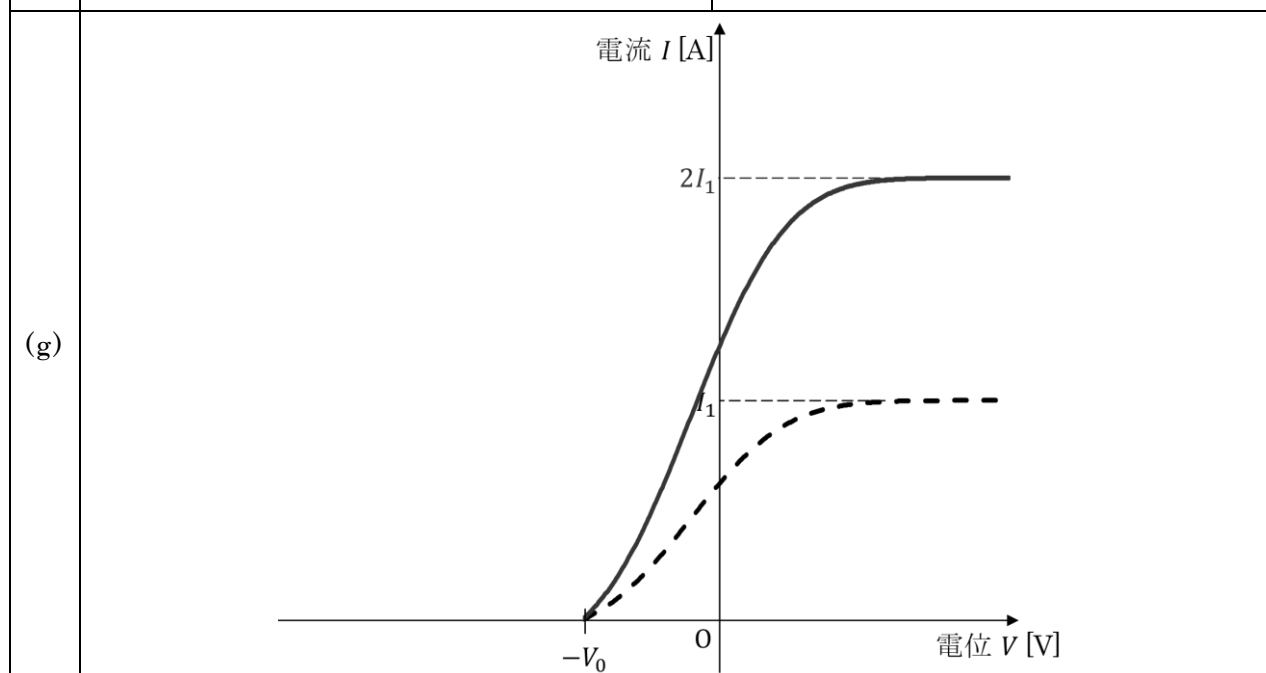
問題 4

出題意図

光電効果に関する問題である。光の量子仮説と仕事関数について理解しているかを問うている。また、グラフを描く能力を問うている。

正答例

| | |
|-----|------------------------------|
| (a) | 光電効果 |
| (b) | (ア) |
| (c) | $K \geq -eV$ |
| (d) | $W = h\nu - eV_0$ |
| (e) | $V_1 = V_0 + \frac{h\nu}{e}$ |
| (f) | 3.9V |



2020年度 入学試験問題（後期日程）
問題訂正
「物 理」

【問題冊子】

10 ページ 4 (b)

(誤)

陰極 C から飛び出す電子の数は何に比例するか。

(正)

陰極 C から 1 秒間に飛び出す電子の数は何に比例するか。

以下の (ア)~(エ) の選択肢のうち正しいものを全て選べ。

(ア) 陰極 C に当たる光の強さ

(イ) 陰極 C に当たる光の振動数

(ウ) 陰極 C の物質の限界振動数

(エ) 陰極 C の物質の限界波長

2020年度入学試験問題

物 理

注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答はすべての解答用紙の指定されたところに記入下さい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は4枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入下さい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて16ページあります。問題は4ページから11ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出下さい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰り下さい。

1 図1のように、大きさの無視できる質量 $4M$ の小球 A と質量 $2M$ の小球 B をなめらかな水平面上に置き、質量の無視できるばねの左端を小球 A に、右端を壁につなぐ。このばねのばね定数を k とする。水平方向右向きを正として x 軸をとり、ばねが自然長のときの小球 A の位置を原点 $O(x=0)$ とする。最初にばねを縮めて、小球 A を $x = x_0$ の位置に固定する。

時刻 $t = 0$ において、この固定を外すのと同時に小球 B を x 軸正方向にある速さで放つ。その後、等速度で移動する小球 B は小球 A に衝突する。小球 A と小球 B の衝突の際には、ばねの影響は無視できるとし、2つの小球の力学的エネルギーの総和は保存されるとする。以下の問いに答えよ。答えは、特に指示がない場合は、 M, k, x_0 のうち必要な記号を用いて書け。

(a) まず、小球 B がない状態で、小球 A のみの運動を考える。小球 A の固定を外すと、そのまま水平方向に単振動をする。このときの振動の様子は、

$$x = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

と書ける。この振動の振幅 $A (A \geq 0)$ 、角振動数 ω 、初期位相 $\theta_0 (0 \leq \theta_0 < 2\pi)$ および周期 T は、それぞれいくらか。また、小球 A の速さの最大値 V_{\max} を求めよ。

(b) 次に、小球 A の固定を外した後、最初に小球 A の速さが V_{\max} になったときに、小球 B を速さ V_{\max} で衝突させることを考える。

(i) この条件を満足する小球 B の時刻 $t = 0$ における x 座標を求めよ。

(ii) 衝突した直後のそれぞれの小球の速度を求めよ。ただし、答えには V_{\max} を用いてもよい。

(c) 次に、小球 A の固定を外した後、2回目に小球 A の速さが $\frac{V_{\max}}{2}$ になったときに、小球 B を速さ V_{\max} で衝突させることを考える。

(i) 衝突の時刻を求めよ。

(ii) 衝突した直後のそれぞれの小球の速度を求めよ。ただし、答えには V_{\max} を用いてもよい。

(iii) 衝突した位置の x 座標を求めよ。また、小球 A の位置 x のグラフを $0 \leq t \leq T$ の範囲で示せ。

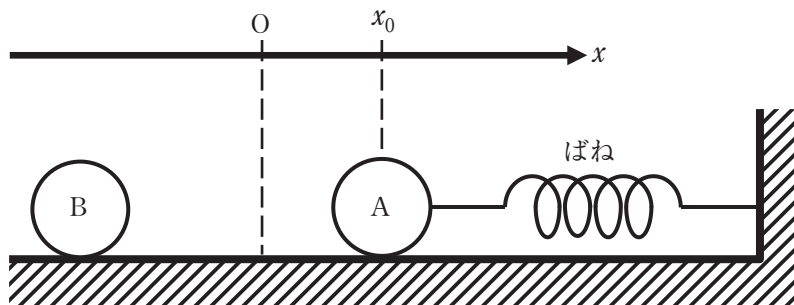


図 1

2

p型半導体とn型半導体を接合することによって、半導体ダイオードを形成することができる。この半導体ダイオードと内部抵抗を無視できる電源を接続した回路について、以下の問いに答えよ。

(a) 電流-電圧特性が図1で表される半導体ダイオードAを考える。図1においてDE間およびEF間は直線である。このダイオードAと可変抵抗器および、起電力3.0Vの直流電源を用いて図2の回路を作製した。

(i) 図2の回路において、ダイオードAにかかる電圧 V_d [V]と回路を流れる電流 I [A]との関係式を、可変抵抗器の抵抗値を R [Ω]として求めよ。

(ii) 可変抵抗器の抵抗値を60 Ω に設定した。このとき、回路に流れる電流 I の大きさを求めよ。

(iii) (ii)のとき、ダイオードAで消費される電力を求めよ。

(iv) (ii)の状態では、この回路に電流を60分間流し続けたときに回路全体で消費されるエネルギーを求めよ。

(v) 図1のEからFの範囲でダイオードAを使用したい場合、可変抵抗器の抵抗値 R の設定すべき範囲を求めよ。

(b) 次に、電流-電圧特性が図3で表される半導体ダイオードBを考える。図3においてGH間は直線である。ただし、点Gは原点Oに一致している。このダイオードBと交流電源で、図4の回路を作製した。なお、時刻 t [s]における交流電源の電圧は $V_0 \sin(2\pi ft)$ で表されるものとし、 $V_0 = 2.0$ V、 $f = 50$ Hzである。

このとき、ダイオードBを流れる電流の時間変化のおおよその形を解答欄のグラフ内に記入せよ。なお、電流の最大値と最小値を縦軸に記せ。ただし、電流は図4に示す矢印の方向を正とし、矢印の方向に電流を流そうとする電源の電圧を正とする。

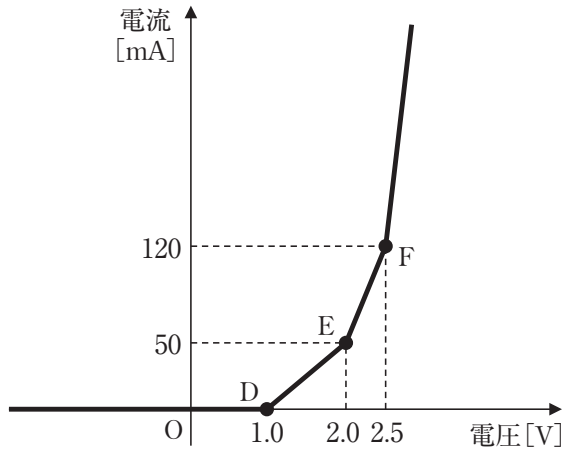


図 1

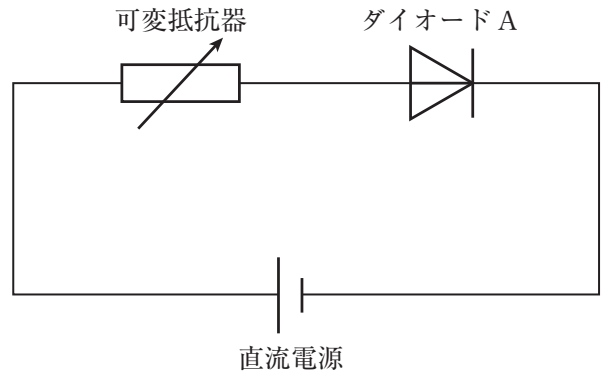


図 2

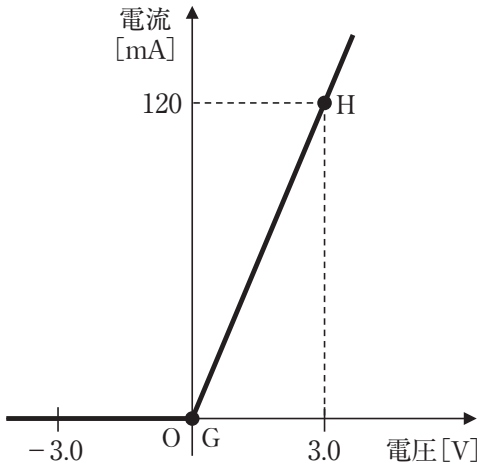


図 3

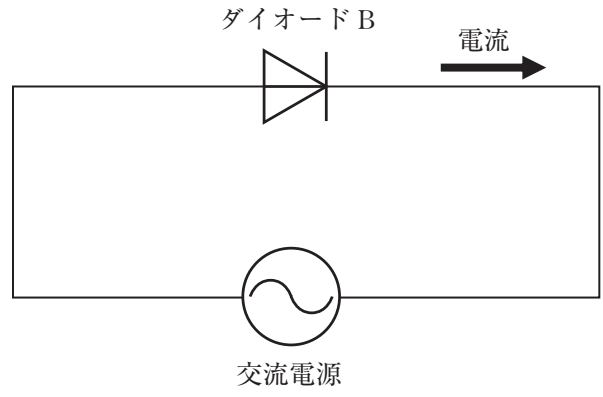


図 4

3

単原子分子の理想気体 1 mol をなめらかに動くピストンのついたシリンダーに閉じ込めて、図 1 に示すように状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の順にゆっくりと 1 サイクル変化させた。図中の $V[\text{m}^3]$ は気体の体積を、 $T[\text{K}]$ は気体の絶対温度を表しており、状態 A では $V = V_0 [\text{m}^3]$ 、 $T = T_0 [\text{K}]$ である。以下の問いに答えよ。ただし、過程 $D \rightarrow A$ は原点 O を通る直線上を動くように状態を変化させた。気体定数は $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ とする。

なお、温度 $T[\text{K}]$ における体積 $V_1 [\text{m}^3]$ から $V_2 [\text{m}^3]$ への等温変化において理想気体 1 mol が外部にする仕事 $W[\text{J}]$ は、一般に自然対数を用いて $W = RT \log \frac{V_2}{V_1}$ で表されることが知られている。問(g)と問(h)では、 $\log 2 = 0.69$ 、 $\log 3 = 1.10$ 、 $\log 5 = 1.61$ 、 $\log 7 = 1.95$ という近似値を用いて計算せよ。

- (a) 過程 $D \rightarrow A$ の状態変化の名称を答えよ。
- (b) 状態 C における体積を、 $V_0 [\text{m}^3]$ を用いて答えよ。
- (c) このサイクルの状態変化の様子について、圧力 $p[\text{Pa}]$ と体積 $V[\text{m}^3]$ の関係を p - V グラフとして描け。ただし、状態 A における圧力を $P_0 [\text{Pa}]$ とする。グラフには、解答欄に示された状態 A と同様に、B, C, D の各状態の位置を黒点と記号で示せ。また、状態 C については圧力を縦軸に、体積を横軸に記せ。
- (d) 過程 $A \rightarrow B$ の変化でシリンダー内の気体が吸収した熱量を求めよ。
- (e) 過程 $B \rightarrow C$ の変化でシリンダー内の気体が吸収した熱量を求めよ。
- (f) このサイクルの間に気体が実際に外部にした仕事を求めよ。
- (g) このサイクルの熱効率を有効数字 2 桁で求めよ。
- (h) シリンダー内の気体を二原子分子の理想気体 1 mol に変更することを考える。二原子分子の理想気体の定積モル比熱は $\frac{5}{2}R$ であるとして、サイクルの熱効率を有効数字 2 桁で求めよ。

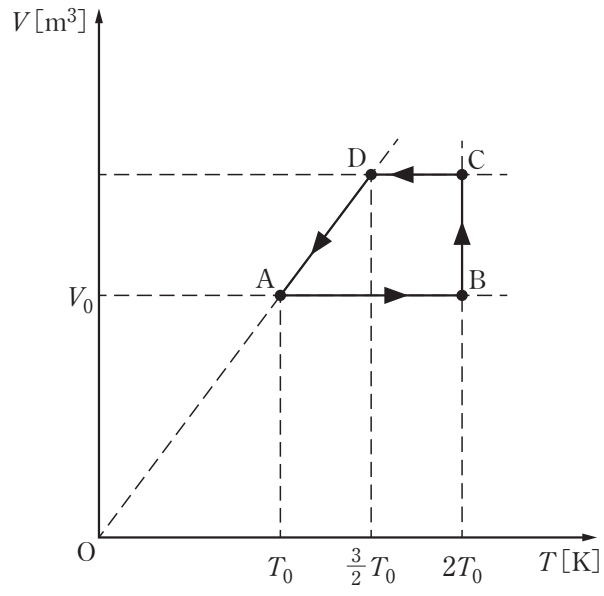


图 1

4

図1はある実験のための装置の接続図である。この回路では、真空にしたガラス管に封入された陽極Pと陰極Cに直流電源が接続されており、両極の電位差はすべり抵抗器で調整できる。ある振動数 ν の光を陰極Cに当てると陰極Cから電子が飛び出した。以下の問いに答えよ。なお、電気素量を e 、プランク定数を h とする。

- (a) 光を当てたとき陰極Cから電子が飛び出す現象を何と呼ぶか。
- (b) 陰極Cから飛び出す電子の数は何に比例するか。

陰極Cに対する陽極Pの電位 V と電流 I の関係は図2のようになる。ここで、図中の $-V_0(V_0 \geq 0)$ は電子が陽極に到達する最低の電位を示す。

- (c) 飛び出した瞬間の電子の運動エネルギーを K とすると、 $V < 0$ の場合に電子が陽極Pに到達するための K の条件を示せ。
- (d) 陰極Cの仕事関数 W を求めよ。
- (e) この実験で、光子の数を一定にしたまま光の振動数を2倍にしたときに、電子が陽極Pに到達する最低の電位を $-V_1(V_1 \geq 0)$ とする。 V_1 を V_0, h, ν, e を用いて表せ。
- (f) V_1 の値を求めよ。ただし、 $e=1.6 \times 10^{-19}$ C, $h=6.6 \times 10^{-34}$ J·s, $W=3.6 \times 10^{-19}$ J, $\nu=7.5 \times 10^{14}$ Hzとする。
- (g) この実験で、光の振動数を一定にしたまま光子の数を2倍にしたときの電流と電位の関係を解答欄に図示せよ。なお、解答欄の破線は、元の光子の数のときの電流と電位の関係を示している。

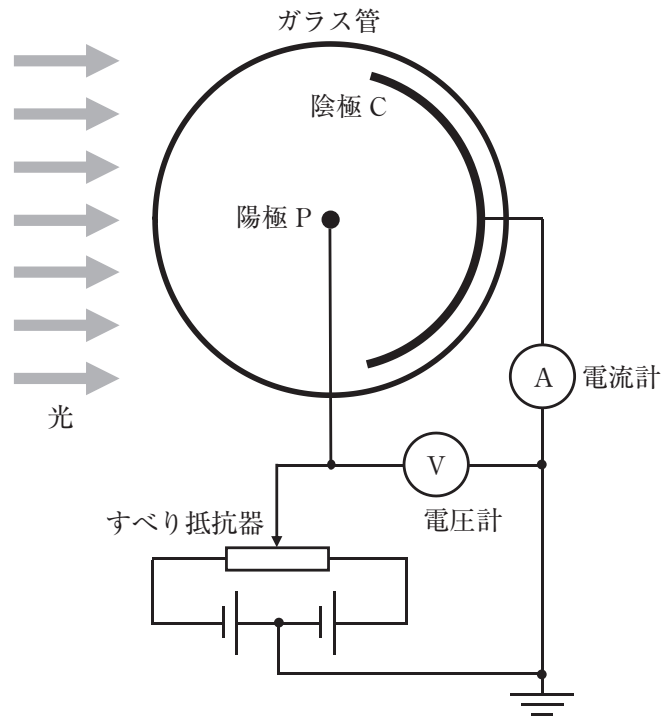


図 1

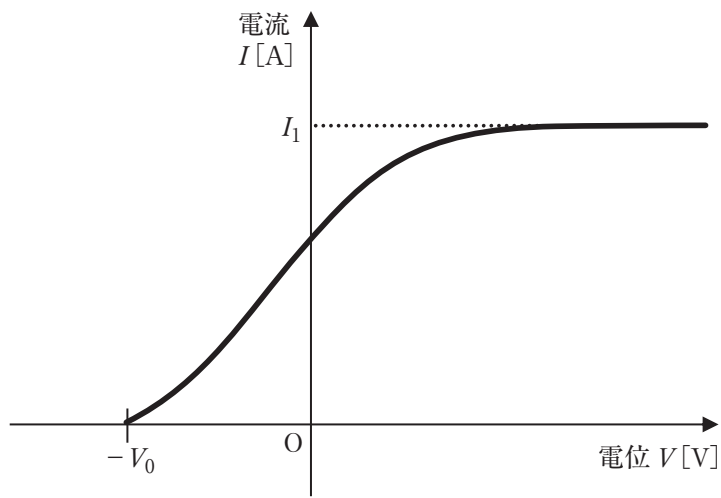


図 2