

物理 I B ・ 物理 II (物理)

1 正電荷 $+Q$ [C] を持つ点電荷 Z が、真空中で原点 O に固定されている。負電荷 $-q$ [C] を持つ別の点電荷 P が、 Z のつくる静電場 (静電界) の影響を受けながら回転運動している。このとき、 O から距離 x [m] だけ離れた回転面 S 上の点 X における電場 (電界) と磁場 (磁界) を調べた。これらに関する次の問いに答えよ。ただし、 P の質量を m [kg]、真空の誘電率を ϵ [F/m] とする。

問1 点電荷 Z が $x = r$ [m] の位置でつくる静電場の強さ E [N/C] を表す式を示せ。

問2 点電荷 P の運動が原点 O を中心とする半径 r [m] の円運動とみなせるならば、

- (1) この円運動に関する周期 T [s] は E [N/C] を用いるとどのように表されるか。
- (2) 点電荷 P の移動にともなう電流の強さ I [A] は T [s] を用いるとどのように表されるか。
- (3) 原点 O で観測される磁場の強さ H [A/m] は I [A] を用いるとどのように表されるか。

問3 回転運動する点電荷 P のつくる磁場は、その軌道の外側では交互に向きを変えながら振動するので、振動電場を誘導する。誘導された電場（誘導電場）はさらに振動磁場を誘導し、結局この繰り返しとして電磁波が検出される。今、軌道の外側の点 X で次の測定をした。それぞれの測定に対する正しい結果を下記の選択肢の中から選んで記号で答えよ。

- (1) 電磁波の進行方向。
- (2) 誘導電場の振動方向。
- (3) 距離 x [m] の増加にもなう電磁波の強さの変化。
- (4) 時間の経過にもなう点電荷 P の回転半径 r [m] の変化。

選択肢

- | | |
|-------------------------|----------------|
| (ア) 直線 OX 方向 | (イ) 平面 S の法線方向 |
| (ウ) 平面 S 上の直線 OX に垂直な方向 | (エ) 増大し続ける |
| (オ) 減少し続ける | (カ) 一定に保存される |

2 光の粒子性を表す物理現象に光電効果がある。図1は、光電効果の現象を調べるために用いた実験装置であり、光電管の陰極Kに外部から単色光を照射できるようにになっている。光電管の電極間の電圧は、可変抵抗Rによって変えることができ、図1中の直流電圧計と直流電流計を使い、陰極Kに対する陽極Pの電圧 V [V] と光電流の大きさ I [A] を測定できる。

この光電管に光を照射して電圧と電流の関係を調べた。光電流が流れている状態で、電圧を下げていくとやがて $-V_0$ [V] で電流が流れなくなった。逆に、電圧を上げていくとある電圧以上で光電流が I_0 [A] となり変化しなくなった(図2)。ここで、仕事関数以上のエネルギーを持つ光子1個で必ず1個の光電子ができるものとし、次の問いに答えよ。ただし、プランク定数 h を 6.6×10^{-34} J·s、電気素量 e を 1.6×10^{-19} Cとする。

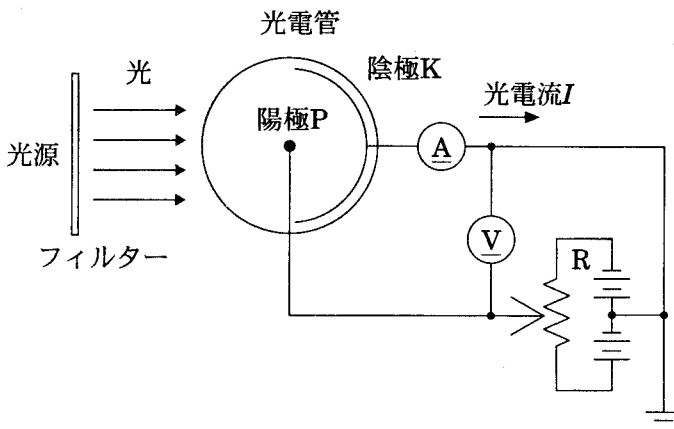


図1

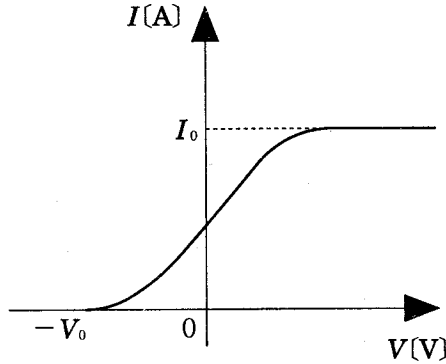


図 2

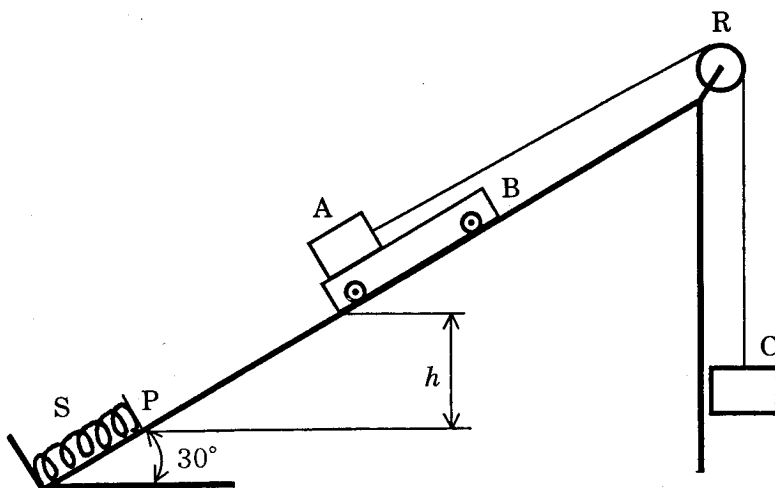
問 1 振動数 8.0×10^{14} Hz の光を陰極 K に照射したところ、図 2 のグラフで $V_0 = 1.4$ V, $I_0 = 1.2$ mA となった。

- (1) 陰極 K に照射した光子 1 個のエネルギーは、何 eV か。
- (2) 陰極 K から飛び出した光電子の最大の運動エネルギーは、何 eV か。
- (3) 陰極 K の金属の仕事関数は、何 eV か。
- (4) 電圧を上げ光電流が変化しなくなったとき、陰極 K から飛び出した光電子がすべて陽極 P に集められたと考えることができる。陰極 K から飛び出した光電子の数は、毎秒いくらか。
- (5) 陰極 K に照射した光の全エネルギーは、毎秒何 eV か。

問 2 次に、照射する光を問 1 の状態から以下の 2 通りの状態に変え、電圧と電流の関係をそれぞれ調べた。

- ①：光子 1 個のエネルギーを変えないで、光子の数を半分にした状態。
 - ②：光子の数を変えないで、光子 1 個のエネルギーを半分にした状態。
- (1) 状態①, ②の光の全エネルギーは、それぞれ元の値の何倍になるか。
 - (2) 状態①で、光電流は元の値の何倍になるか。
 - (3) 状態②で、光電流は何 A になるか。また、その理由を 40 字以内で記せ。

3 図のように水平面となす角が 30° のなめらかな斜面の上端に滑車 R を取り付け、下方に左端を固定したばね定数 k のばね S を取り付けた。この斜面上に質量 m の物体 A を乗せた質量 M の台車 B を置き、静かに手をはなしてすべらせる。物体 A とおもり C とを伸びない糸で結んだ。このおもり C は移動しても滑車や床に接触しないものとする。おもり C の質量を変更した場合について、次の問いに答えよ。ただし、物体 A と台車 B の間の静摩擦係数を μ_0 、動摩擦係数を μ とし、台車の面と物体 A に取り付けた糸は斜面に平行とする。また、滑車の質量および回転時の摩擦、ばねおよび糸の質量はいずれも無視できるものとする。ここで、重力加速度を g とする。



問1 おもり C の質量が m_1 の場合、台車 B と物体 A とが一体となって斜面をすべり降りた。

- (1) 高さ h だけ降下した点 P における台車 B の斜面方向の速さを求めよ。
- (2) 台車 B の斜面方向の加速度の大きさを求めよ。
- (3) 糸の張力の大きさを求めよ。

問2 おもり C の質量が m_2 の場合、物体 A、台車 B およびおもり C のすべてが静止した。この質量 m_2 はいくらか。

問3 おもり C の質量が m_3 の場合、物体 A が台車上をすべりながら移動した。物体 A が台車 B に乗っている間、台車の斜面下向きの加速度の大きさを求めよ。

問4 次に、物体 A を取り除き、質量 M の台車だけをばね S の先端 P から高さ h の位置で支持し、その位置からすべらせた。ばねは台車と衝突後、台車と離れることなく伸び縮みした。ばねが最も縮んだときの変位を a として、次の問いに答えよ。

- (1) ばねが最も縮んだ位置から測ると、台車 B がすべり始めるときの位置エネルギーはいくらか。
- (2) ばねが最も縮んだときにたくわえられる弾性エネルギーはいくらか。
- (3) 変位 a を M , k , h , g を用いて表せ。一方、台車 B を静かにばねにのせ、つりあったときのばねの変位を b とする。ここで、特に高さ $h = 0$ としたときの a は b の何倍か。

4 時刻 t [s] で位置 x [m] における変位 y [m] が次の式で表される正弦波がある。

$$y = A \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$$

ここで、 A [m]、 f [Hz]、 λ [m] はそれぞれ波の振幅、振動数、波長である。時刻 t_1 [s] での位置 x_1 [m] と時刻 t_2 [s] での位置 x_2 [m] における位相が等しいとしたとき、波の速さ v [m/s] が求められる。

問1 f 、 λ と t_1 、 x_1 、 t_2 、 x_2 の関係を式で表せ。

問2 v を f と λ を用いて表せ。

問3 波の速さが一定のとき、振動数が $\frac{1}{2}$ 倍になると波長は何倍になるか。

問4 $A = 0.10$ m、 $f = 7.0$ Hz、 $v = 3.5$ m/s の波がある。

- (1) $t = 0$ s のときの x [m] に対する y [m] のグラフの概略を図に示せ。
- (2) $t = \frac{1}{28}$ s のときのグラフを図1から選び、記号で答えよ。
- (3) この波の波長はいくらか。

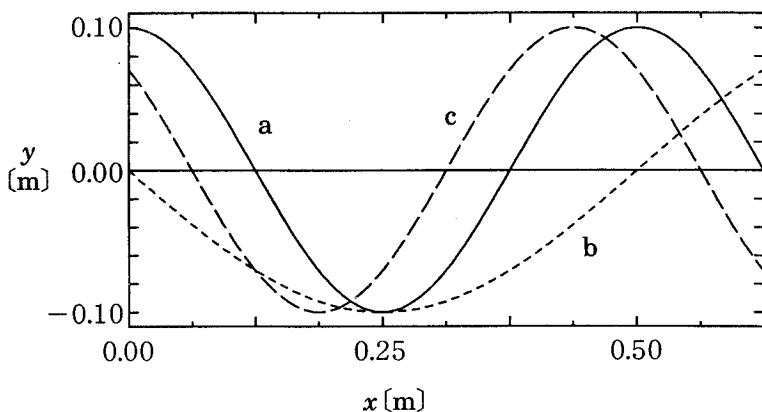


図1

異なる振動数 f_1 [Hz] と f_2 [Hz] の2つの正弦波が x 軸の正の向きに同じ速さ v [m/s] で進んでいる。ここで、これらの波は同じ振幅 A [m] をもつとする。

問5 この2つの正弦波を重ねあわせた波の変位を正弦関数と余弦関数の積で表せ。

$$\text{参考：} \sin \theta_1 + \sin \theta_2 = 2 \sin \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right)$$

問6 次の文を完成するために下記の選択肢から適当な語句を選び、記号で答えよ。

位置 $x = 0$ m で考えると、 f_1 と f_2 の値が近いとき、問5で求めた式から重ねあわせた波の余弦関数の項は 振動し、正弦関数の項は 振動することがわかる。したがって、この重ねあわせた波は振幅がゆっくりと周期的に変化しているとみなすことができる。この現象は と呼ばれていて、その の回数は毎秒 である。

選択肢

- | | | | |
|----------|---------|-------------------|-------------------|
| (ア) ゆっくり | (イ) はやく | (ウ) 同じはやさで | (エ) 振幅 |
| (オ) 振動数 | (カ) 波長 | (キ) 定常波 | (ク) うなり |
| (ケ) 回折 | (コ) 屈折 | (サ) $ f_1 - f_2 $ | (シ) $ f_1 + f_2 $ |