物　　理

第1問　図1―1に示すように，水平から角度θをなすなめらかな斜面の下端に，ばね定数kのばねの一端が固定されている。斜面は点Aで水平面と交わっており，ばねの他端は自然長のとき点Aの位置にあるものとする。図1―2に示すように，質量mの小球をばねに押し付け，斜面に沿って距離xだけばねを縮めてから静かに手を離す。その後の小球の運動について，以下の設問に答えよ。ただし，重力加速度の大きさをgとする。また，小球の大きさとばねの質量は無視してよい。

(1)　$x = x_0$のとき，手を離しても小球は静止したままであった。このときのx_0を求めよ。

(2)　手を離したのち，小球が斜面から飛び出し水平面に投げ出されるためのxの条件を，k，m，g，θを用いて表せ。

(3)　$x = 3x_0$のとき，小球が動き出してから点Aに達するまでの時間を求めよ。

次に，(2)の条件が成立し小球が投げ出されたあとの運動を考える。小球は点Aから速さvで投げ出されたのち，水平距離sだけ離れたところに落下する。点Aでの速さが一定の場合は，$\theta = 45°$のとき落下までの水平距離が最大になることが知られているが，今回の場合は，θによってvが変わるため，sが最大となる条件は異なる可能性がある。以下の設問に答えよ。なお，必要であれば，表1―1の三角関数表を計算に利用してよい。

(4)　vをx，k，m，g，θを用いて表し，xが一定のとき，sが最大となるθは45°より大きいか小さいか答えよ。

(5)　sをx，k，m，g，θを用いて表せ。

(6)　$x = \dfrac{2mg}{k}$のとき，表1―1に示した角度の中から，sが最も大きくなるθを選んで答えよ。

(7)　xを大きくしていくと，sが最大となるθは何度に近づくか。表1―1に示した角度の中から選んで答えよ。

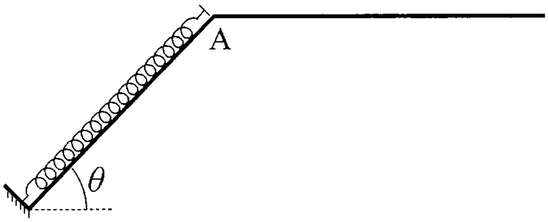


図1—1

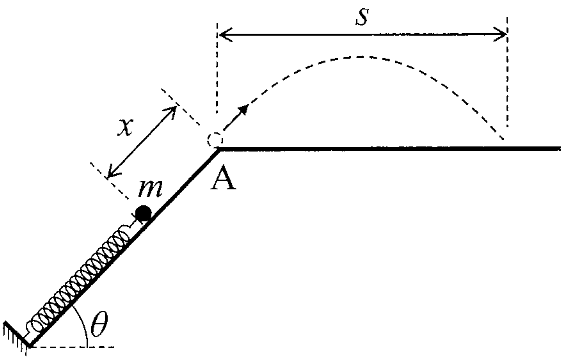


図1—2

表1—1

θ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$\sin\theta$	0.17	0.26	0.34	0.42	0.50	0.57	0.64	0.71
$\cos\theta$	0.98	0.97	0.94	0.91	0.87	0.82	0.77	0.71

θ	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$\sin\theta$	0.77	0.82	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98
$\cos\theta$	0.64	0.57	0.50	0.42	0.34	0.26	0.17

第2問　太陽電池は，光を電気に変換する素子である。ここでは，太陽電池を図２—１に示す記号を用いて表し，その出力電流 I は図中の矢印の向きを正とする。また，図中の端子ｂを基準とした端子ａの電位を出力電圧 V とする。このとき，V と I の関係は，図２—２のようになり，下記の式(i)，(ii)で表されるものとする。

(i)　$V \leqq V_0$ のとき，$I = sP$

(ii)　$V > V_0$ のとき，$I = sP - \dfrac{1}{r}(V - V_0)$

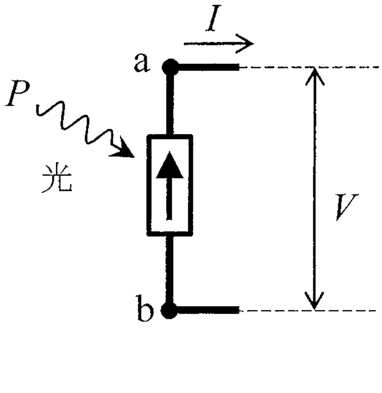
ここで，P は照射光の強度，r，s，V_0 は全て正の定数である。以下の設問に答えよ。

ただし，回路の配線に用いる導線の抵抗は無視してよい。

Ⅰ　図２—３のように，太陽電池の端子間に電気容量 C のコンデンサーを接続した。このとき，コンデンサーに電荷は蓄えられていなかった。この状態で，時刻 $t = 0$ から一定の強度 P_0 の光を照射したところ，図２—４のように電流 I が変化した。

(1)　図２—４中の時刻 t_1 を求めよ。

(2)　十分に時間が経過した後にコンデンサーに蓄えられた電荷を求めよ。



太陽電池

図２—１

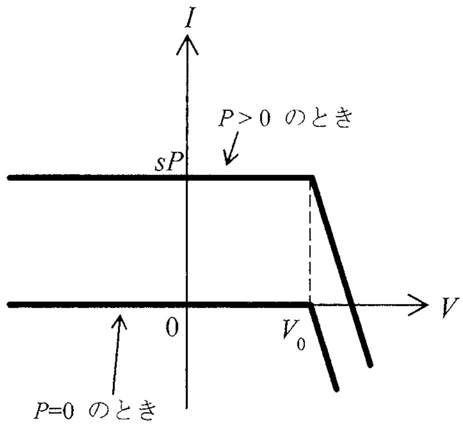


図２—２

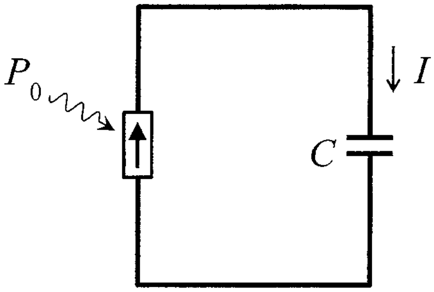


図２―３

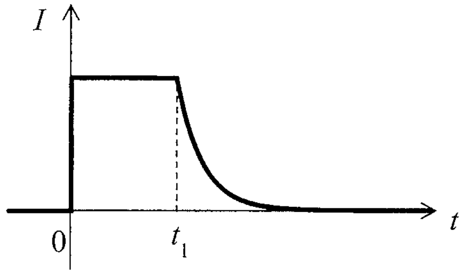


図２―４

Ⅱ　図２―５のように，太陽電池の端子間に抵抗値 R の抵抗を接続し，強度 P_0 の光を照射した。R を変化させたとき，ある R_0 を境に，$R \leqq R_0$ の範囲では，抵抗を流れる電流 I が R によらず sP_0 となり，$R > R_0$ の範囲では，R の増加とともに電流 I が減少した。

(1)　R_0 を求めよ。

(2)　$R > R_0$ のときの電流 I を，P_0，r，s，V_0，R を用いて表せ。

(3)　r が R_0 に比べて十分小さいとき，抵抗で消費される電力が最大となる R の値と，そのときの電力を求めよ。

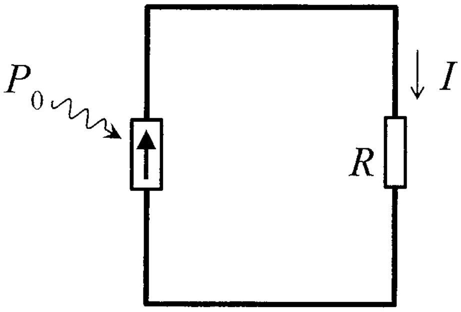


図２―５

Ⅲ　図2―6のように，二つの太陽電池1，2と抵抗値Rの抵抗を直列に接続した。太陽電池1に強度P_0の光を，太陽電池2に強度$2P_0$の光を同時に照射した。ただし，$P_0 = \dfrac{V_0}{rs}$とする。太陽電池1，2の出力電圧をそれぞれV_1，V_2とし，抵抗を流れる電流をIとする。

(1)　Rを調整したところ，$I = \dfrac{1}{2}sP_0$となった。V_1，V_2を求めよ。

(2)　(1)のときRがrの何倍になるか答えよ。

(3)　次に，$R = r$とした。V_1，V_2はどのような範囲にあるか。以下から正しいものを一つ選んで答えよ。

ア．$V_1 \leqq V_0$かつ$V_2 \leqq V_0$

イ．$V_1 \leqq V_0$かつ$V_2 > V_0$

ウ．$V_1 > V_0$かつ$V_2 \leqq V_0$

エ．$V_1 > V_0$かつ$V_2 > V_0$

(4)　(3)の状態において，I，V_1，V_2を求めよ。

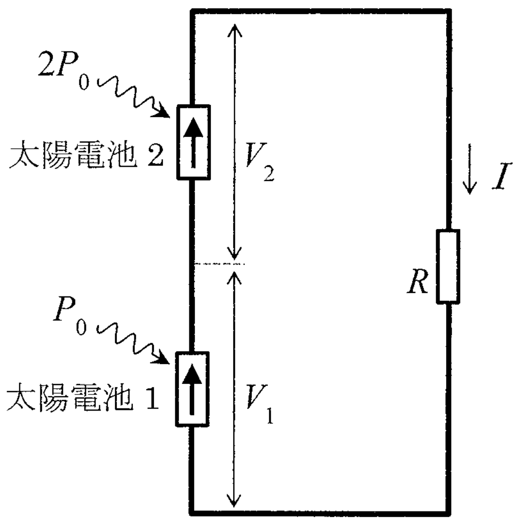


図2―6

第3問　図3—1(a)のように yz 平面上に設置した等間隔ではない多数の同心円状の細いスリットを用いると，x 軸に平行に入射した光の回折光を図3—1(b)のように集めて収束させることができる。以下では問題を簡単にするため，同心円状のスリットを図3—1(c)に示すような直線状の細い平行なスリットで置き換えて，その原理を考えよう。以下の設問に答えよ。

図3—2に示すように，x 軸上の原点Oを通り x 軸に垂直な面Aと，面Aから距離 d だけ離れたスクリーンBを考える。y 方向(紙面に垂直)に伸びた細いスリット S_0，S_1，S_2，…を面A上の $z = z_0$，z_1，z_2，…($0 < z_0 < z_1 < z_2 \cdots$)の位置に配置する。波長 λ の光が，面Aの左側から x 軸に平行に入射し，スリットを通過してスクリーンBに到達する。まず，スリット S_0，S_1 のみを残し，他のスリットを全てふさいだところ，スクリーンB上に干渉縞が生じた。

(1)　スクリーンB上で $z = \dfrac{z_0 + z_1}{2}$ の位置Tにできるのは明線であるか暗線であるか。また，その理由を簡潔に述べよ。

(2)　スクリーンB上で，この位置Tより下方(z のより小さい方)に最初に現れる明線を，スリット S_0，S_1 に対する1次の回折光と呼ぶ。1次の回折光が，$z = 0$ の位置Rにあった。z_0，z_1 は d より十分に小さいものとして，d を λ，z_0，z_1 を用いて表せ。必要ならば，近似式 $\sqrt{1+\delta} \fallingdotseq 1 + \dfrac{1}{2}\delta$，($|\delta|$ は1より十分に小さいものとする)を用いてよい。

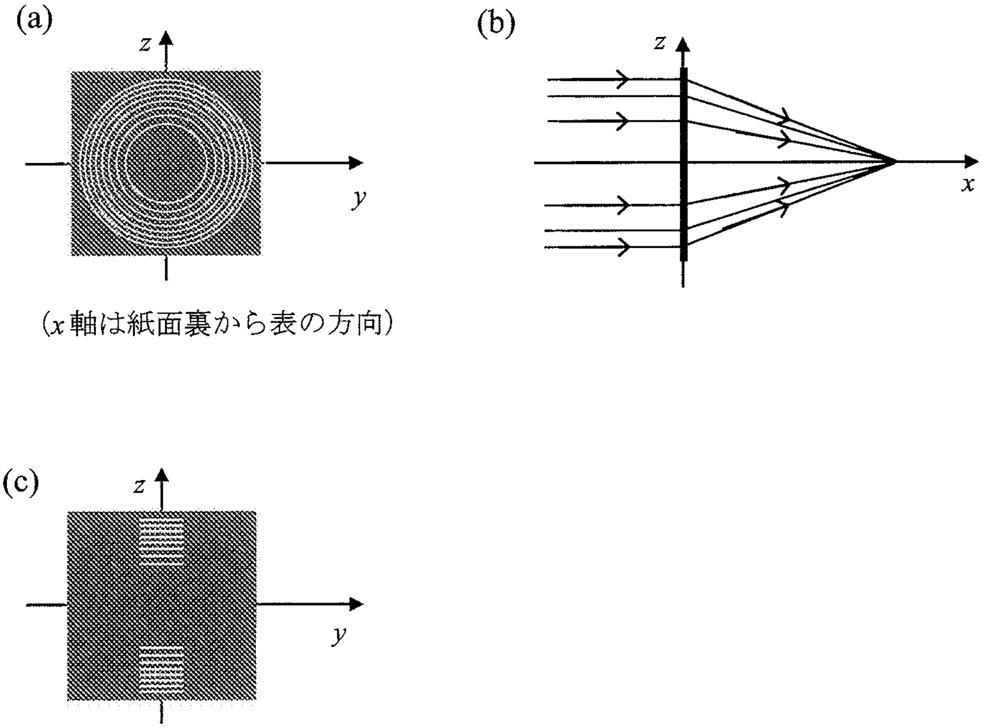

(a)
(b)
(c)
z
y
x
(x軸は紙面裏から表の方向)

図 3 — 1

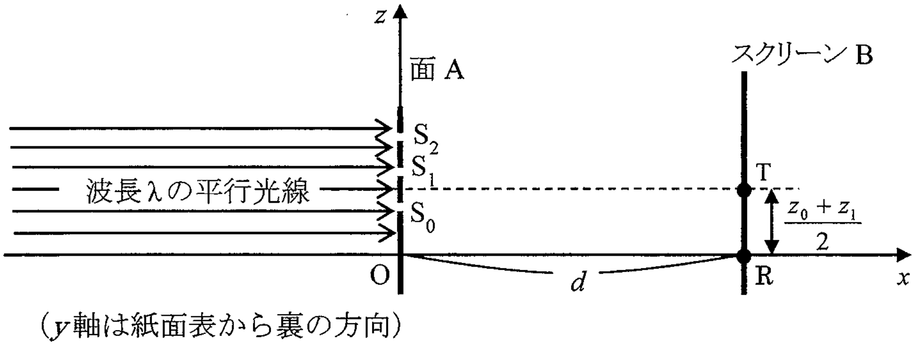

z
面 A
スクリーン B
S2
S1
S0
波長λの平行光線
T
R
O
d
x
$\frac{z_0 + z_1}{2}$
(y軸は紙面表から裏の方向)

図 3 — 2

次に，$z>0$ の領域にある合計 N 本の多数のスリットすべてを用いる場合を考える。すべての隣りあうスリットの組 S_n と $S_{n+1}(n=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$ について，それらの1次の回折光がRに現れるためには，その方向が n とともに少しずつ変わるようにスリットを配置する必要がある。このように面Aに N 本のスリットを設置したところ，Rに鮮明な明線が現れた。

(3) このとき n 番目のスリットの位置 z_n は n のどのような関数になっているか。z_n を z_0, n, d, λ を用いて表せ。

(4) スクリーンBを x 軸に沿って左右に動かすと，他にも $z=0$ に明線が現れる位置があった。それらの x 座標をRに近い順に2つ答えよ。

(5) 左側から平行光線を入射する代わりに，図3―3に示すように x 軸上の原点Oから距離 a の点Pに波長 λ の点光源を置き，スクリーンBを x 軸に沿って左右に動かすと，$z=0$ に明線が現れる位置R′があった。その x 座標 b を，λ を含まない式で表せ。ただし，$z=z_0$, z_1, z_2, …は a, b より十分に小さく，$a>d$ かつ $b>d$ であるとする。

(6) 図3―4は，設問(5)の状況において，R′近傍に現れる明線の光の強度分布を z の関数として示したものである。ただし，光の強度とは単位時間あたりに単位面積に到達する光のエネルギーである。図3―1(C)のように，$z<0$ の領域にも $z>0$ の領域と対称にスリットを配置して，スリットの総数を2倍にした。このとき，明線の強度や幅が変化した。以下の文中の $\boxed{}$ 内に入るべき適当な整数もしくは分数を答えよ。

> スリットの総数が2倍になったので，点R′における光の波(電磁波)の振幅は $\boxed{ア}$ 倍になる。光の強度は光の波の振幅の2乗に比例することが知られているので，点R′での光の強度は $\boxed{ア}$ の2乗倍になる。一方，明線内に単位時間に到達する光のエネルギーは $\boxed{イ}$ 倍になるはずである。このことから，スリット数を2倍に増やすと明線の z 方向の幅は，約 $\boxed{ウ}$ 倍となると考えられる。

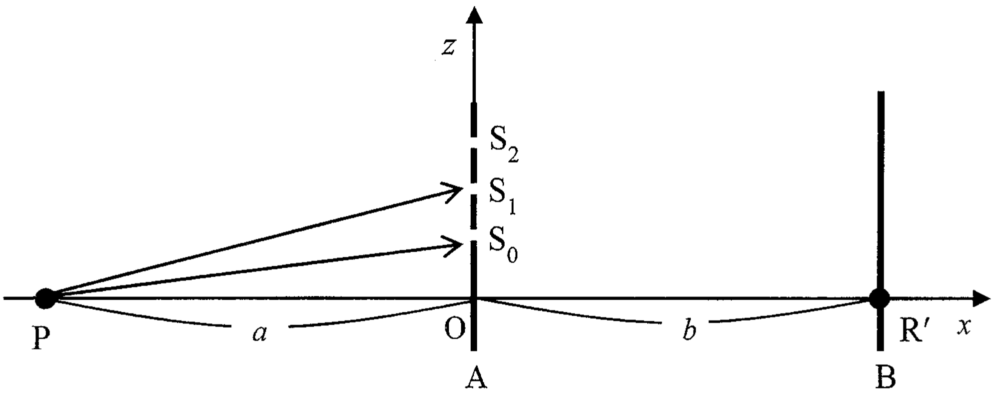


図３－３

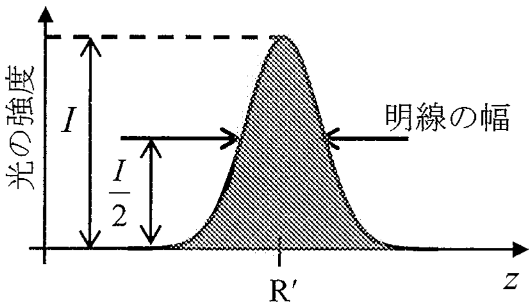


図３－４