

物 理

1 図のように、天井に取り付けられた定滑車に、軽くて伸び縮みしない糸がかけられている。糸の一端は、天井につるされた質量の無視できるばね(ばね定数 k)につながれており、その途中に動滑車がつり下げられている。糸の他端は、摩擦のある斜面上に置かれた質量 m_A の小物体 A につながれている。

定滑車と A を結ぶ糸は、斜面と平行になるように調整されており、動滑車をつっている糸は常に鉛直に垂れ下がっている。滑車はともになめらかに動き、その質量は無視できるものとする。

ここで、斜面が水平面となす角を θ 、A と斜面の間の静止摩擦係数を μ 、重力加速度を g として、以下の問いに答えよ。ただし、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

(1) 動滑車に質量 m_B の小物体 B をつり下げ、静かに手を離れたところ、A も B も静止したままだった。

(a) このときの糸の張力 T を、 m_A 、 m_B 、 g 、 μ 、 θ の中から必要なものを用いて表せ。

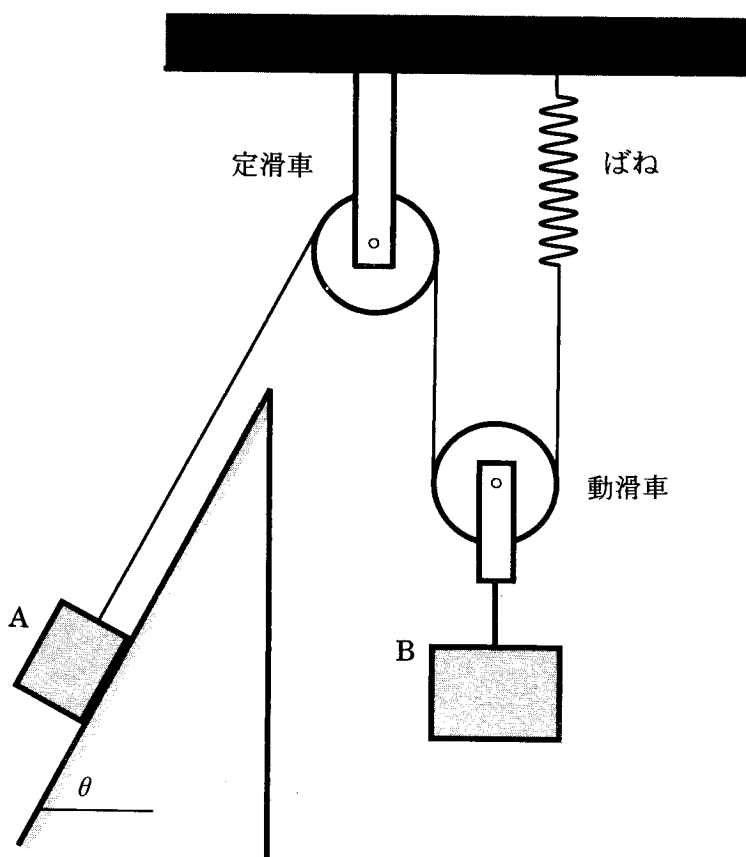
(b) 小物体 A が斜面上で静止しているための m_B の最大値と最小値を、 m_A 、 μ 、 θ を用いて表せ。ただし、 $\mu < \tan \theta$ とする。

(2) 次に、(1)の状態からわずかな距離 d だけ小物体 B を手で引き下げて、静かにはなしたところ、糸はたるむことなく B は上下に振動をはじめた。振動の間、小物体 A は斜面上で静止したままだった。

(a) 手を離す直前に手に働く力の大きさ F を、 d 、 k を用いて表せ。

(b) 振動数 f を、 m_B 、 k を用いて表せ。

(c) 仮に糸がわずかに伸び縮みするとした場合、小物体 B の振動数はどのように変化するか、理由とともに簡潔に述べよ。



2 図1のように、一辺の長さが l の正方形の平らな金属板 2 枚を間隔 d だけ離して水平に固定し、それと同じ大きさの正方形で厚さ d 、質量 m 、誘電率 ϵ_1 の誘電体の平板を間に入れて、金属板を極板とする平行板コンデンサーを作った。平板は極板の一端に沿った x 軸方向に動かすことができる。平板を動かしたあとの隙間は、誘電率 ϵ_2 ($\epsilon_2 < \epsilon_1$) の空気で満たされる。このコンデンサーに起電力 V の電池とスイッチをつないだ。極板の左端の位置に x 軸の原点をとり、平板の左端の位置の座標を x とする。極板と平板の間に摩擦はなく、極板および平板の端での電場の乱れは無視できるとして、以下の問いに答えよ。ただし、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

- (1) 平板の左端を $x = 0$ に合わせたのち、スイッチを閉じてしばらく置いた。このとき、極板間の電場 E 、コンデンサーにたまった電気量 Q 、コンデンサーの電気容量 C を、それぞれ ϵ_1 、 l 、 d 、 V の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 次に、スイッチを閉じたまま平板の左端を x の位置に移動させた。このとき、コンデンサーにたまった電気量 $Q(x)$ とコンデンサーの電気容量 $C(x)$ を、それぞれ ϵ_1 、 ϵ_2 、 l 、 d 、 V 、 x の中から必要なものを用いて表せ。図1は $x > 0$ の場合を示しているが、 x は $-l < x < l$ の範囲にあり、負にもなりうる。

(3) 次に、平板の左端を $x = 0$ に戻してしばらく置いたのち、スイッチを開いた。その後、平板の左端を $x = \Delta$ ($-l < \Delta < l$) まで移動させた。

(a) 平板の左端を $x = 0$ から $x = \Delta$ まで移動させたときのコンデンサーに蓄えられたエネルギーの変化分 $U(\Delta)$ を表すグラフはどのようになるか、図2の(ア)~(オ)の中から一つ選び、記号で答えよ。

(b) ここで平板を静かにはなすと平板はどのような運動をするか、簡単に述べよ。ただし、平板の運動に対する空気の抵抗力は無視できるものとする。

(c) (b)における平板の速さの最大値を、 ϵ_1 、 ϵ_2 、 l 、 d 、 Δ 、 V 、 m を用いて表せ。

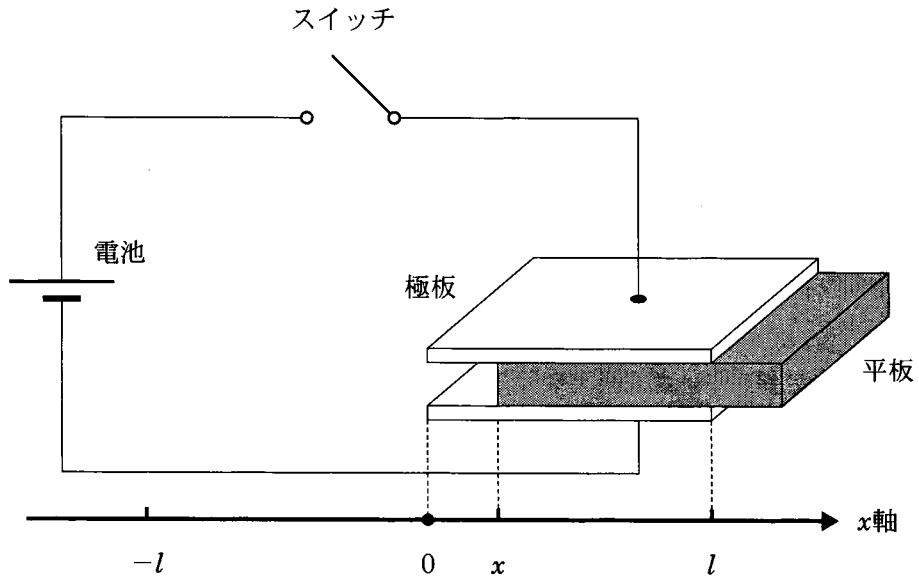
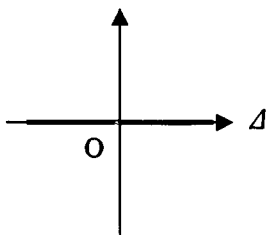
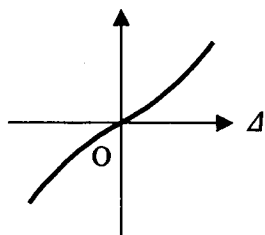


図1

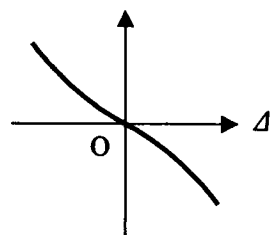
(ア) $U(\Delta)$



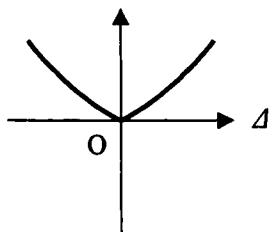
(イ) $U(\Delta)$



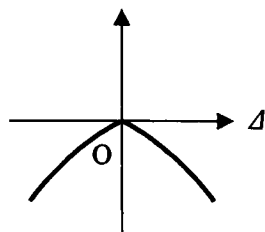
(ウ) $U(\Delta)$



(エ) $U(\Delta)$



(オ) $U(\Delta)$



☒ 2

3 回折格子は、白色光を単色光に分けることができる実用上重要なデバイスである。図1は、反射型の回折格子の断面図である。この回折格子では、平面鏡上に細い直線状の溝が等しい間隔 d ($d = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$) で並んでいる。図1に示すように、この回折格子に平行光が入射角 α で入射し、出射角 β で回折される場合を考える。入射光の進行方向は溝の方向と垂直であるとする。 α と β は、図1の場合に正とするが、それぞれ負にもなりうる。この回折格子について以下の問いに答えよ。

- (1) この回折格子では、平らな部分に入射した光の反射光の干渉を利用しており、溝の部分に入射した光は乱反射するので干渉には寄与しない。このことに注意して、回折格子により回折された波長 λ の光が強め合う条件が、

$$d(\sin \alpha - \sin \beta) = n\lambda$$

であることを、解答用紙の図を用いて(補助線を入れてもよい)説明せよ。ただし、 n は整数である。

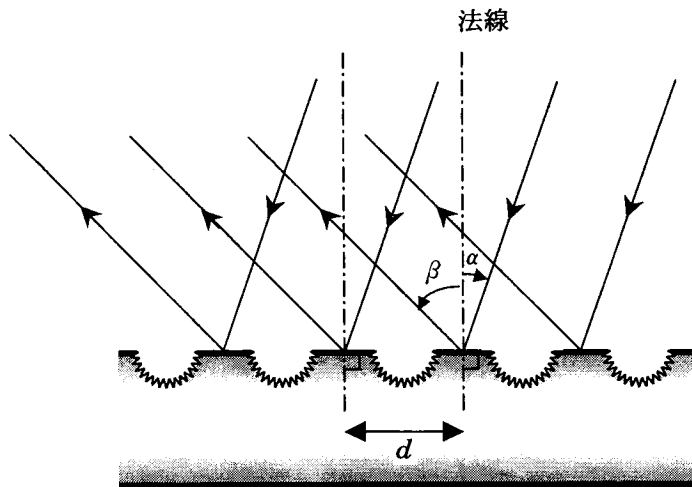


図1

- (2) 図2のように、溝の方向が鉛直になるように回折格子を点Oに置き、回折光観測のための半円筒状のスクリーンを、中心軸が鉛直で点Oを通るように置いた。入射角 $\alpha = 30^\circ$ の位置にスリットを設け、白熱電球の光を入射した。この時、白熱電球の入射光に含まれる緑の光($\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$)の回折光について、出射角 β と対応する n の組み合わせをすべて求めよ。ただし、スリットから入射した光は平行光とし、スリットによる光の回折は考えなくてよい。また、 β の範囲は $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ とし、 n は正とは限らないことに注意せよ。結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

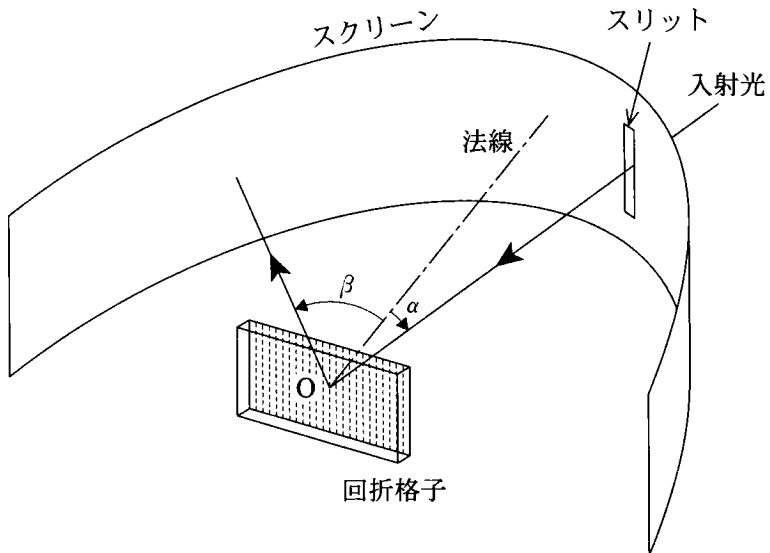


図2

- (3) (2)の場合について、 $n = 0, \pm 1$ に対応する緑と紫の光(紫の光は緑の光より波長が短い)の回折光のスクリーン上での位置を、図3に示したA～Iの中から選び、解答用紙の表に記入せよ。

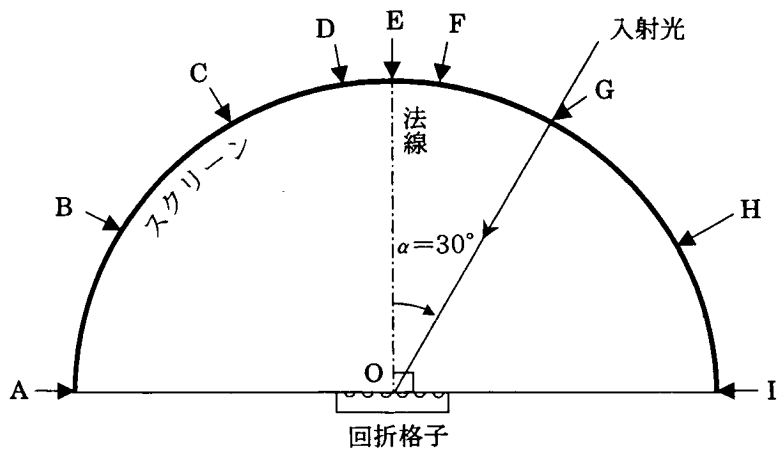


図3

- (4) 次に、図2の配置で入射スリットからナトリウムランプの光を入射し、その回折光を観察した。ナトリウムランプとは、ナトリウム原子からの発光を用いた光源である。このとき、どのようなスペクトルが得られるかを、白熱電球の光を入射したときとの違いを明瞭にして答えよ。また、その理由を説明せよ。