

[I] 次の文中の空欄 (ア) ~ (コ) にあてはまる式を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

図1のように、水平な床となす角が θ のなめらかな斜面上に自然長 l の軽いばねが設置されている。斜面上端は点 A で水平面 S とつながっている。ばねの一端は斜面の下端に固定され、ばねの他端には質量 m の板 T が取り付けられている。T に接して質量 $4m$ の小球 P をおき、ばねの長さが $l - d$ となるまで T を押し下げて静かに手をはなすと、T と P は静止したままであった。このばねのばね定数は である。

板 T に接して小球 P をおき、ばねの長さが $l - 3d$ となるまで T を押し下げて静かに手をはなすと、P と T は一体となって斜面上向きに運動しはじめた。手をはなした直後の P の加速度の大きさは である。その後、ばねの長さが となったときに P は T から離れた。手をはなしてから P が T から離れるまでに要する時間は であり、T から離れた直後の P の速さは である。T から離れた後の P は、A に達することなく最高点に達しその後斜面を下った。P が離れた後の T は、P と衝突するまでの間、振幅 の単振動をする。

板 T に接して小球 P をおき、T をさらに深く押し下げて静かに手をはなすと、P は斜面を上り、図2のように、点 A から水平面 S に対して角度 θ 、速さ v_0 で飛び出した。P が A から飛び出した瞬間に、斜面に沿う方向で S からの高さが h となる位置から P と同じ質量 $4m$ の小球 Q を自由落下させたところ、P と Q は S に達する前に衝突し、一体となって運動した。この衝突は瞬間的であった。衝突直前の Q の速さは であり、衝突時に Q が P から受けた力積の大きさは である。衝突によって P と Q の運動エネルギーの和は減少する。この運動エネルギーの減少量は である。衝突して一体となった P と Q は、その後、S に達した。S に達する直前の P と Q の速さは である。

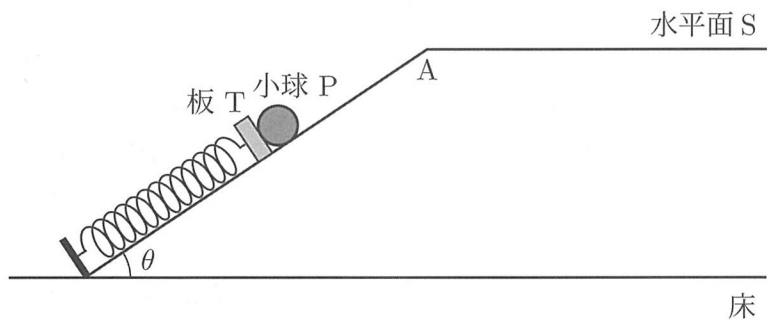


图 1

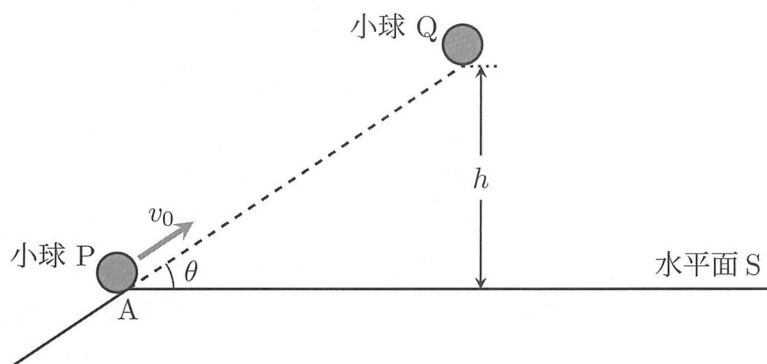


图 2

〔II〕 次の文中の空欄 (ア) ~ (ケ) にあてはまる式または数値を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。また、文中の空欄 (a) にあてはまるグラフを解答群から選び、その番号を解答用紙 (一) の該当する欄に記入せよ。ただし、荷電粒子の速さは光の速さに比べて十分小さく、荷電粒子にはたらく重力は無視できるものとする。

図1のように、 xy 平面に垂直に紙面裏から表向きに磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁場を加えた。質量 m [kg]、電気量 q [C] ($q > 0$) の荷電粒子 P_1 を、原点 O から xy 平面内で x 軸と $\frac{2}{3}\pi$ rad の角度をなす向きに速さ $2v_0$ [m/s] で発射したところ、 P_1 は磁場からローレンツ力を受けて xy 平面内で等速円運動をした。この円運動の中心の x 座標は $\boxed{\text{(ア)}}$ [m]、 y 座標は $\boxed{\text{(イ)}}$ [m] である。 P_1 を発射してから、 P_1 が最初に x 軸に達するまでの時間は $\boxed{\text{(ウ)}}$ [s] である。

つぎに、図2のように、 xy 平面に垂直に紙面裏から表向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場を加えたまま、 y 軸正の向きに強さ E [V/m] の一様な電場を加えた。原点 O に荷電粒子 P_1 と同じ質量と電気量をもつ荷電粒子 P_2 を初速度 0 で原点 O においたところ、 P_2 は電場から静電気力を受けて xy 平面内で運動をはじめた。 x 軸正の向きのある一定の速さを V [m/s] とし、 P_2 の速度の x 成分を $v'_x + V$ [m/s]、 y 成分を v'_y [m/s] とすると、 P_2 が受ける力 (電場と磁場から受ける力の合力) の x 成分は $qv'_y B$ [N]、 y 成分は $\boxed{\text{(エ)}}$ [N] と表される。速さ V として、 $V = \boxed{\text{(オ)}}$ [m/s] を選ぶと、この P_2 が受ける力は、電場がなく磁束密度の大きさ B の一様な磁場だけが加えられた中で、 xy 平面上を速度 (v'_x, v'_y) で運動する P_2 が磁場から受けるローレンツ力に等しい。速度 (v'_x, v'_y) は、 x 軸正の向きに速さ V で等速直線運動する観測者 A から見た P_2 の速度 (A に対する P_2 の相対速度) であるので、 A から見ると P_2 は磁場からローレンツ力を受けて、 P_2 は等速円運動をしているように見える。 A から見た P_2 が等速円運動をすることから、 P_2 が達する y 座標の最大値は、 m 、 q 、 B 、 E を用いて $\boxed{\text{(カ)}}$ [m] であり、 O から運動をはじめた P_2 が最初に x 軸に達するときの x 座標は、 m 、 q 、 B 、 E を用いて $\boxed{\text{(キ)}}$ [m] である。

前段落と同じく図2のように、磁束密度の大きさ B の一様な磁場と強さ E の一様な電場を加えている中で、原点 O から荷電粒子 P_1 と同じ質量と電気量をもつ荷電粒子 P_3 を y 軸正の向きに (オ) の $\sqrt{3}$ 倍の速さで発射した。このときも、 x 軸正の向きに速さ V で等速直線運動する観測者 A から P_3 を見ると、

P_3 は等速円運動をしているように見える。 P_3 が達する y 座標の最大値は (カ) の (ク) 倍であり, O から発射された P_3 が最初に x 軸に達するときの x 座標は (キ) の (ケ) 倍である。 xy 平面内を運動する P_2 の軌道を点線で, P_3 の軌道を実線で描いたグラフとして最も適切なものは, 解答群の中の (a) である。

[解答群]

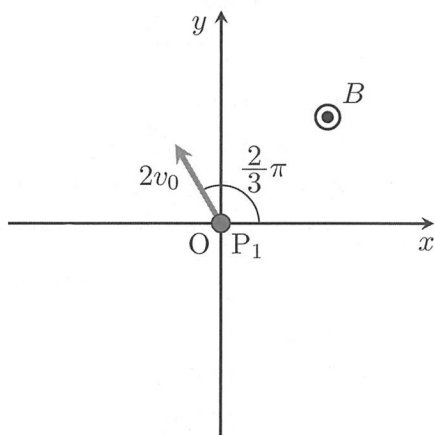
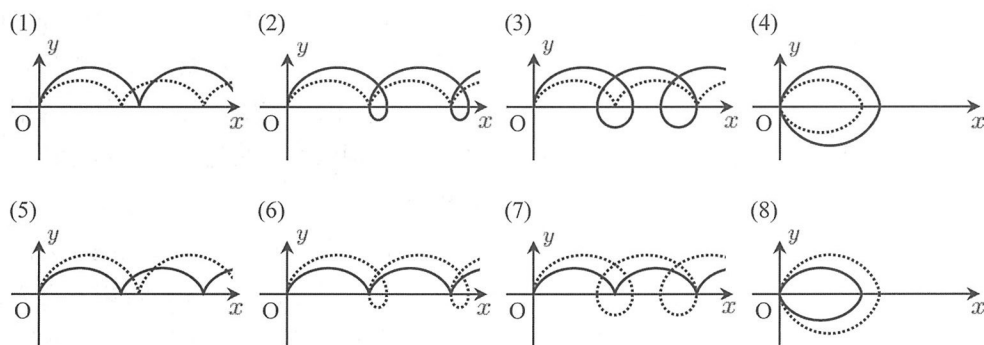


図1

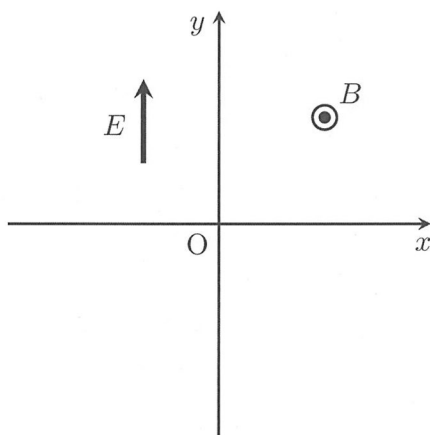


図2

〔III〕 次の文中の空欄（ア）～（カ）にあてはまる式または数値を解答用紙（二）の該当する欄に記入せよ。ただし、必要に応じて、 $|x|$ が 1 に比べて十分に小さいときに、近似式 $(1+x)^n \doteq 1+nx$ (n は実数) が成り立つことを用いよ。

図 1 のように、ある波長の単色光を薄い平板上のスリットに通して、1 m あたり k 本の溝が等間隔に刻まれた反射型の回折格子に垂直に入射したところ、平板上に複数の明線が現れた。この平板上の明線のうちスリットに最も近い 1 次の明線（1 番目の明線）は入射光と角度 θ [rad] をなす方向に現れた。入射した単色光の波長は [m] と求められる。つぎに、単色光に替えて白色光をスリットに通して反射型の回折格子に入射すると、1 番目以上の明線では色づいた連続スペクトルが観測された。スリットの位置から数えて n 番目の明線に対応する連続するスペクトルの中の紫色と赤色の光は、それぞれ、入射した白色光に対して角度 θ_1, θ_2 [rad] をなす方向に現れた。紫色に対する赤色の光の波長の比は θ_1, θ_2 を用いて と表される。

図 2 のように、光源 S から出た単色光をハーフミラー A に入射した。ハーフミラーは、光の一部を透過し一部を反射する鏡である。A で反射した光は固定した鏡 B で反射し、A を透過した光は可動式の鏡 C で反射し、それぞれ A に戻って透過および反射した光が重なり合って検出器 D に入射する。C を A に向かって距離 a [m] だけゆっくり移動していくと、D で観測される光の明るさは暗 → 明 → 暗 → … と変化し、 N 回の明が観測された後、最後は暗となった。S から出た単色光の波長は [m] と求められる。S から出る単色光の波長が 5.9×10^{-7} m のとき、暗 → 明 → 暗 → … の変化において明を少なくとも 回観測すれば、C の移動距離は 1.0×10^{-5} m を越えたことになる。

図 3 のように、水平に置かれた平面ガラスの上に、一方が平面で、他方が十分大きな半径 R [m] の球面でできた平凸レンズを凸面を下にして、平面が水平となるように置き、真上から平面に白色光をあてると、ガラスとレンズの接点 G を中心にした同心円状の色づいた複数の連続スペクトルが観測された。最も内側の連続スペクトルの中の紫色の明環と赤色の明環の半径が、それぞれ、 r_1, r_2 [m] であったとき、紫色に対する赤色の光の波長の比は である。また、光の波長による屈折率の違いを用いて、白色光をさまざまな色の光に分けることもできる。空気中におかれた平面ガラスに白色光をある角度で入射したところ、紫色と赤色の光の屈折角は、それぞれ、 α_1, α_2 [rad] となった。赤色の光の空気に対するガラスの相対屈折率は、紫色の光の空気に対するガラスの相

対屈折率の 倍である。

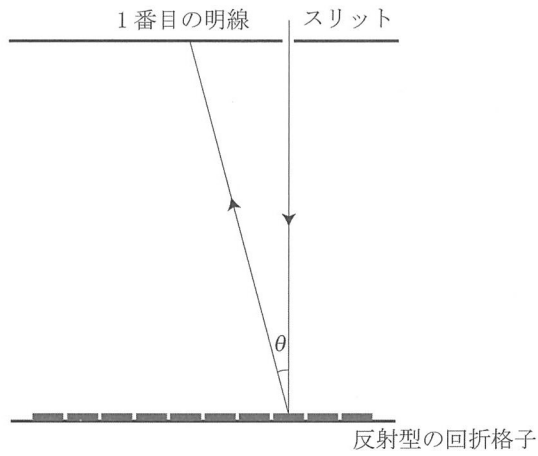


図 1

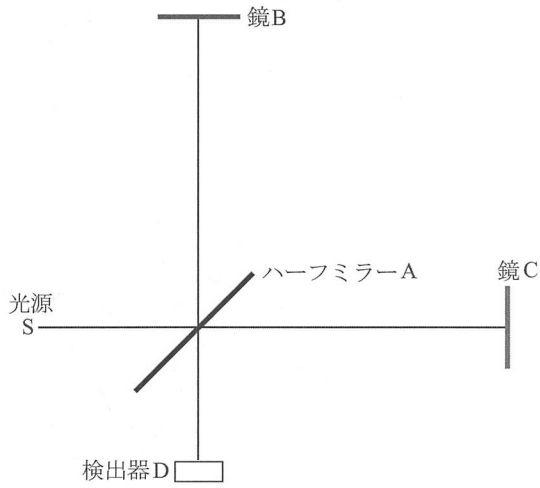


図 2

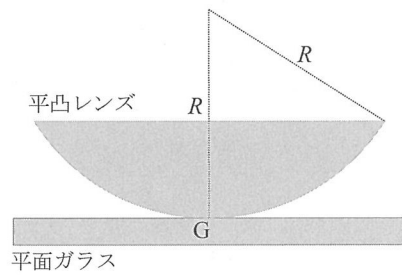


図 3