

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

[1] 光の照射により原子の速さを減らし、単原子からなる気体を冷却する方法について考察しよう。以下の文中の に適切な語句または数式を書け。また問 3, 問 4 については考え方と計算の過程も示せ。

問 1 振動数 ν の光は、真空中の光速を c 、プランク定数を h とすると、エネルギー $h\nu$ 、運動量 ① を持つ粒子のようにふるまうことが知られている。

室温の気体原子に対して、図のように x 軸の正の向きに可視光(振動数 ν_0)を照射する場合を考える。計算を簡単にするために、光と原子は x 軸方向でのみ運動し、他の方向の運動は考えなくてもよいとする。また重力の影響は無視してよい。原子の質量を M 、散乱前後の原子の速度をそれぞれ V_0 、 V_1 、また散乱後の光の振動数を ν_1 とすると、エネルギーの保存則は ② と書ける。

問 2 このとき運動量保存則は、散乱後の光が向きを変えないときは ③ で、向きを 180° 変えるときは ④ である。(原子の速度 V はその値が正のとき、 x 軸の正の向きとする。)

これらの保存則を使って V_1 、 ν_1 の値を V_0 、 ν_0 、 h 、 M 、 c によって表わそう。その際、「光のエネルギーは原子の運動エネルギーの百倍程度で、光速は原子の速さの数十万倍であること」に注意すると、

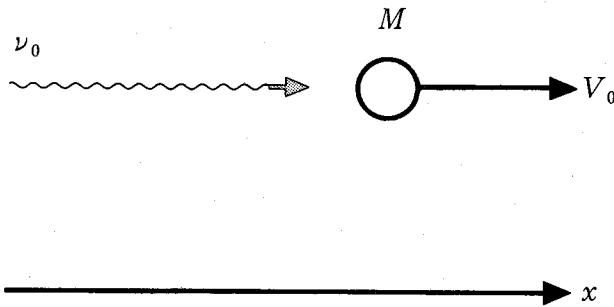
問 3 光が向きを変えない場合、 $V_1 =$ ⑤ , $\nu_1 =$ ⑥

問 4 光が向きを変える場合、 $V_1 =$ ⑦ , $\nu_1 =$ ⑧ となる。

問 5 以上の結果から、光が向きを変える散乱の場合は、 V_0 の正負に関わらず原子の運動量の変化分($MV_1 - MV_0$)が正になることがわかる。上記の下線で示した条件を考えると、この運動量の変化分は原子の運動量に比べてごくわずかな量であるので、散乱によって原子の運動の向きが変わることはな

いと考えてよい。すなわち、原子の運動エネルギーはこの散乱によって、 $V_0 > 0$ ならば ⑨ し、 $V_0 < 0$ ならば ⑩ する。

実際の気体中を飛び回っている原子にはあらゆる方向の速度成分があるので、上記の散乱が起こったとき、運動エネルギーが増える原子もあれば減るものもある。しかし、「光の散乱の起こりやすさはその振動数に依存し、原子に固有のある振動数 ν_A に近いほどよく散乱される」ことを利用すると、原子気体全体として運動エネルギーが減るような散乱をより多く起こさせることが可能になる。つまり光のドップラー効果を考えると、原子から見た光の振動数は、原子が光の進行方向と逆向きに動く場合は、より ⑪ 振動数に、また光と同じ向きに動く場合は、より ⑫ 振動数に見える。そこで静止した原子の固有の振動数 ν_A より少し ⑬ 振動数の光を選んで、いろいろな方向から気体に照射すると、各原子はその運動エネルギーを減らすような散乱を、より頻繁に受けて気体全体が冷却されることになる。



($V_0 > 0$ の場合)

図

〔2〕 図1のように、質量 m [kg] の細い金属棒 AB を、質量の無視できる2本の細い導線 BC 、 DA で結び、回転軸となる金属棒につり下げ、長方形のブランコ $ABCD$ を作った。導線 BC 、 DA は互いに平行で、長さが l [m]、間隔を a [m] とする。回転軸 CD は地面に水平で、絶縁体の支柱で支えられている。金属棒の CD 間の電気抵抗は R [Ω] で、金属棒 AB および導線 BC 、 DA の電気抵抗は無視できるとする。また、ブランコの各部は剛体で変形せず、それぞれの大きさも十分小さいとする。重力加速度の大きさは g [m/s^2] とする。以下の設問に答えよ。選択式の解答には適切な答えの番号を記入せよ。

問1 磁場(磁界)がないとき、ブランコを角度 θ_0 ($0 < \theta_0 < \pi/2$) [rad] だけ傾け、静かに離すと、振り子運動をはじめた。金属棒 AB が最下点に来たときの速さ V [m/s] を求めよ。

次に、鉛直上向きに磁束密度 B [T] の磁場を加えた後、ブランコを傾け、静かに離れたところ、振動を始めた。図2のようにブランコが鉛直方向に対して角度 θ ($0 < \theta < \pi/2$) [rad] だけ傾いていて、 θ が増える向きに動きつつある。

問2 極めて短い時間 Δt [s] の間にブランコの角度が $\Delta\theta$ [rad] だけ変化したとすると、金属棒 AB の速さは $v = \boxed{\quad}$ [m/s] と表される。

(以下の解答には、必要ならば v を用いてよい。)

問3 ブランコ $ABCD$ を上向きに貫く磁束は $\boxed{(a)}$ [Wb] であるから、ブランコに生じる誘導起電力の大きさは $\boxed{(b)}$ [V] となる。したがって、金属棒 AB を流れる電流の大きさは $\boxed{(c)}$ [A] で、その方向は図2において、紙面の $\boxed{(d)}$ {(1)裏から表, (2)表から裏} へ向かう方向である。金属棒 AB を流れる電流は磁場から力を受けるが、その大きさは $\boxed{(e)}$ [N] で、方向は紙面の $\boxed{(f)}$ {(1)右から左, (2)左から右} へ向かう方向である。

また、導線 BC 、 AD を流れる電流にも力が働く。その力は導線 BC 、 DA をお互いに $\boxed{(g)}$ {(1)近づかせる, (2)遠ざける, (3)ねじろうとする} 向きに働くが、大きさが等しいので、合力としてはゼロである。

問4 問3で求めたように、金属棒 AB を流れる電流は磁場から力を受ける。その力がなす単位時間当たりの仕事を求めよ。

解答の際には、用いた考え方や計算の過程を簡潔に記せ。

問 5 CD間の電気抵抗 $R[\Omega]$ で発生する単位時間当たりのジュール熱を求めよ。解答の際には、用いた考え方や計算の過程を簡潔に記せ。

問 6 磁場がない場合に比ベブランコの運動はどう変化するか、他の物理現象との類推を交えつつ述べよ。また、初めにブランコが持っていたエネルギーはどのように変化していくか。合計 140 字以内で述べよ。

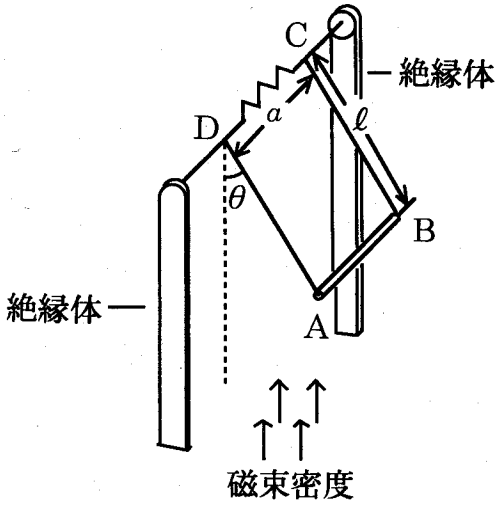


図 1

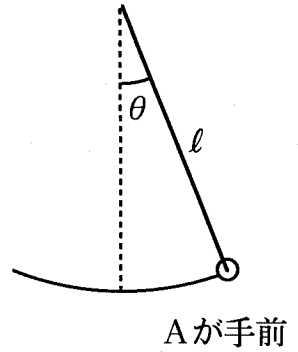


図 2

[3] 真空中でレーザー光を使って光の屈折および回折を観察した。レーザー光の真空中での波長は λ 、光速は c 、波面は平面とする。文中の (1) から (11) に適当な式を入れよ。また、文中の問いに答えよ。

I 絶対屈折率 n のガラスでできた板にレーザー光線を入射させた。

問 1 ガラス板の内部におけるレーザー光の波長は (1) であり、速さは (2) である。図 1 のように入射角 i でレーザー光を入射させると、屈折角 r について式 (3) が成り立つ。

問 2 真空中の波面がガラス表面上に到達し、そこで発生する素元波(球面波)の重ね合わせにより屈折光の波面が形成される(ホイヘンスの原理)。図 1 は、ある瞬間の、真空中における波面を太線で表している。3つの波面が、等間隔で並ぶガラス表面上の点、A、B、Cにそれぞれ到達している。波面Hに着目すると、その後、この波面は移動して、点Bを通過して、そして点Cに到達した。この時、波面Hが点Aおよび点Bで発していた素元波の波面を図示せよ。また、この結果を利用して屈折光の波面を図示せよ。作図においては、 $i = 60^\circ$ 、 $n = \sqrt{3}$ として、図は丁寧に書いてあれば厳密でなくてもかまわない。

問 3 厚さ T のガラス平板を入射角 $i = 0$ でレーザー光が透過するときの光学距離(光路長)は (4) である。そのため真空中の距離 T だけ進む場合と、このガラス平板を透過する場合には光路差 $L =$ (5) が生じる(光学距離の差を光路差を呼ぶ)。

II 光を通さない薄い金属膜に、同じ幅の細いスリットを等間隔 d で開け、回折格子を作った。レーザー光をこの格子の面に垂直に入射させた(図 2)。回折格子から十分に離れたところにスクリーンをおくと、回折格子を透過し直進した光に加えて、入射光と決まった角をなす方向に回折光が観察された。

問 4 回折光が現れる方向のうちで最も小さい正の角度を α (図 2) とすると、 α 、 λ 、 d の間には式 (6) が成り立つ。この角度 α の方向への回折において、隣り合う 2 つのスリットから発した光の間の光路差と、一つおきの 2 つのスリットから発した光の間の光路差は、 λ を使って、それぞれ (7) および (8) である。このように角度 α の方向へは全てのスリットから発した光が互いに強め合いの条件を満足している。

問 5 図2に示した回折格子のスリットを、一つおきに、同じ絶対屈折率をもつ同じ厚さのガラス平板でおおった(図3)。ただし、光はガラス平板に垂直に入射し、完全にガラス平板を透過すると考えてよい。図3の回折格子ではガラス平板による光路差 L を考慮する必要がある。

まず、角度 α の方向について考える。隣り合うスリットから発せられる光の光路差は (7) と L との和あるいは差である。もし、 $L =$ (9) であれば、ガラス平板がない場合と同じく、全てのスリットからの光が互いに強め合い、角度 α の方向に回折光が観察される。次に、もし、 $L =$ (10) であれば隣り合うスリットから発せられる光が互いに打ち消しあうので、角度 α の方向へ光は回折しない。そのかわりに、別の方向に回折する。この回折の角度のうちで α よりも小さい正の角度を β とする。 β がみたす式は (11) であり、この方向へは全てのスリットから発した光が互いに強め合いの条件を満足している。

ただし (9) , (10) では任意の整数を m として答えよ。

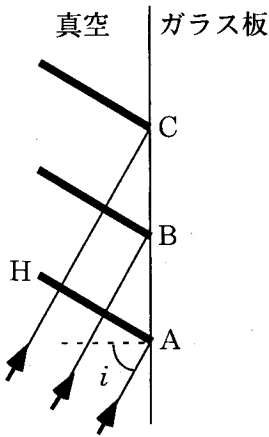


図 1

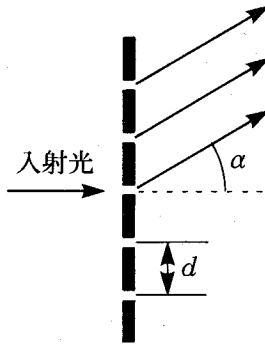


図 2

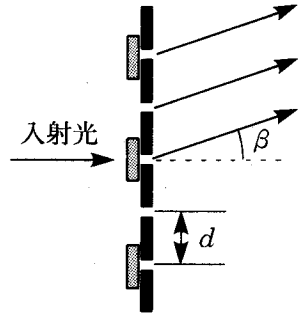


図 3