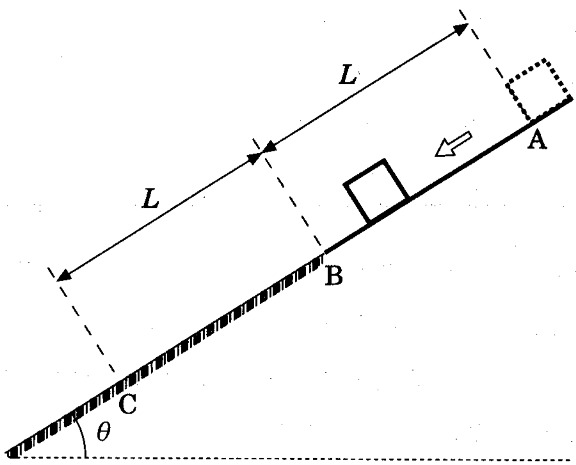
物　　理

1　図に示すような水平となす角 θ の斜面を，質量 m の小物体がすべり落ちる運動を考える。小物体を点 A の位置におき静かに手を離すと，小物体は斜面に沿ってすべりだし，点Bを通り静止しないで点 C を通過する。AB 間の距離を L，BC 間の距離を同じく L とする。点 B より上方は摩擦力が無視できるなめらかな斜面，点 B より下方は小物体との間の動摩擦係数が μ' のあらい斜面とする。運動の向きは斜面に沿って下向きを正とする。位置エネルギーは斜面の点 C の位置を基準とする。重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えなさい。(配点　25)



問 1　点 A から点 B までの間の小物体の加速度を求めなさい。

問 2　小物体が点 A から点 B に達するまでの時間を求めなさい。

問 3　点 B における小物体の速さを求めなさい。

問 4　点 C を通過するときの小物体の速さを求めるために，(1)加速度から求める方法，(2)力学的エネルギーから求める方法，の 2 つで考察する。文章の $\boxed{}$ に適切な式を書きいれなさい。

(1)：BC 間では小物体に働く動摩擦力(運動摩擦力)は小物体の運動をさまたげる向きに働き，その大きさは $\boxed{\text{ア}}$ なので，小物体の加速度は $\boxed{\text{イ}}$ となり，点 C における小物体の速さが $\boxed{\text{ウ}}$ と求められる。

(2)：力学的エネルギーは運動エネルギーと位置エネルギーの和と定義される。点 B で小物体のもつ力学的エネルギー U_B は $\boxed{\text{エ}}$ である。点 C での小物体の速さを V とすると，点 C で小物体のもつ力学的エネルギー U_C は $\boxed{\text{オ}}$ となる。また，BC 間において，動摩擦力が小物体になす仕事 W_{BC} は $\boxed{\text{カ}}$ となる。U_B，U_C，W_{BC} の間には $\boxed{\text{キ}}$ の関係式が成立する。これを解くと点 C における小物体の速さは(1)で求めた速さと一致する。

問 5　点 C を通過するときの小物体の速さが，点 B における小物体の速さより小さいとき，θ と μ' との間に成り立つ条件式を，$\tan\theta$ を用いて表しなさい。

2 図1のように，透明な物質でできた細長い直方体の側面が，紙面に平行に置かれている。光を紙面に平行に入射角 θ_1 で端面に入射させると，一部は反射し残りは屈折角 θ_2 で屈折した。周囲の空気に対する透明物質の屈折率(相対屈折率)を n_{12}，空気中の光の波長を λ とする。

以下の問いに答えなさい。ただし，問2，問3では n_{12} の値を1.40とし，文中の{　}の中は適切な語句を選択し，解答欄に記入しなさい。(配点　25)

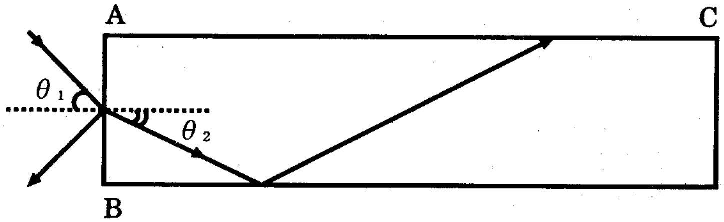


図　1

問 1　入射角と屈折角の間に成り立つ屈折の法則を θ_1，θ_2，n_{12} を用いて表しなさい。

問 2　θ_1 を変化させ，θ_2 を徐々に{小さく，大きく}していくと，θ_2 がある角度 θ_0 をすぎると，透明物質中に入射した光は図1のように全反射して進んだ。表を参照して，θ_0 の値を有効数字2桁で求めなさい。

表

θ〔°〕	$\sin\theta$	$\cos\theta$
43	0.682	0.731
44	0.695	0.719
45	0.707	0.707
46	0.719	0.695
47	0.731	0.682
48	0.743	0.669

問 3　θ_2 の値が30°で進む光は，空気中をAからCに直進する場合に比べて t_0〔s〕{早く，遅く}右端面に到達した。空気中の光の速さを 3.0×10^8 m/s，ACの距離を 1.0×10^2 m として t_0 の値を有効数字2桁で求めなさい。

問 4　次に，図 2 に示すように空気中におかれた厚さ d，相対屈折率 n_{12} のガラスの薄膜について考える。文章の空欄 $\boxed{}$ のア，イ，エに適切な式を，ウに数値を入れなさい。

波長 λ の光が入射角 i で斜めに入射し，屈折角 r で進む。裏面で反射して D → F → G → H → E の経路をとる光と，表面で反射して D′ → F′ → H → E の経路をとる 2 つの光の干渉を考える。波面 FF′ が進んで KH になるとき，K での位相と表面で反射する前の H での位相は等しい。2 つの反射光の経路差は KG + GH となり，これは，KH′ に等しい。KH′ を d と r で表すと，$\boxed{\text{ア}}$ となる。ところで，膜の中での波長は $\boxed{\text{イ}}$ であり，また，光が表面 H で反射する際には位相が $\boxed{\text{ウ}}$ だけずれる。E において，干渉により 2 つの反射光が強め合う条件式は，$\boxed{\text{エ}}$ となる。

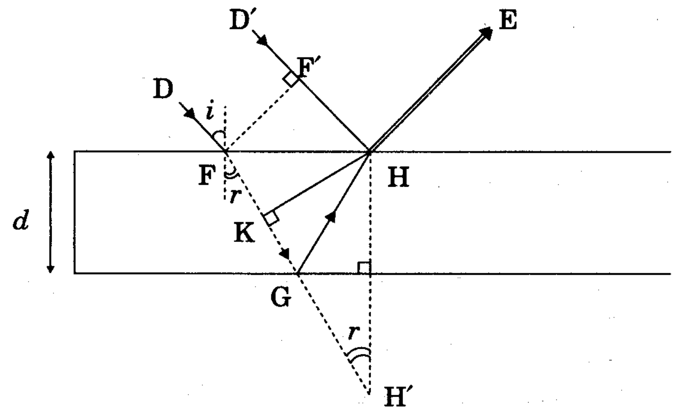


図　2

3 図のように鉛直上向きの一様な磁束密度 B の磁場(磁界)中に，d の間隔で水平方向におかれた2本の金属製の長いレールがある。このレールの上に垂直に導体棒XX′，電気抵抗 R の抵抗体YY′をおいた。導体棒XX′はなめらかにレール上を動くことができるものとする。ここで，導体棒XX′につないだひもは滑車をとおして下方向に引っ張ることができる。また，抵抗体YY′につないだひもは杭に固定されている。ただし，導体棒XX′やレールの電気抵抗，導体棒XX′や抵抗体YY′とレールとの接触抵抗，導体棒XX′の質量は，いずれも無視することができる。以下の問いに答えなさい。(配点　25)

問 1　導体棒XX′につないだひもの端部Pを一定の力で下に引いて，導体棒XX′を一定の速さ v_0 で移動させている。

(1)　2本のレールと導体棒XX′，抵抗体YY′で囲まれた回路XX′Y′Yを貫く磁束が時間 Δt 間に変化する量 $\Delta\Phi$ を求めなさい。

(2)　回路に生じる起電力の大きさ V を求めなさい。

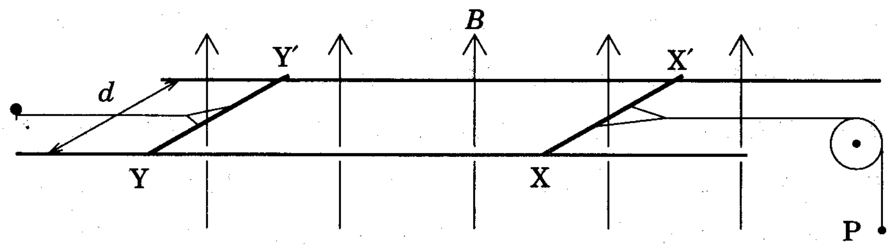
(3)　次の文章は，抵抗体YY′に働く力について説明したものである。文章の空欄 $\boxed{}$ に適切な語句を入れなさい。

レンツの法則によると，誘導起電力により回路XX′Y′Yに流れる誘導電流は，回路を貫く磁束の時間的な変化を $\boxed{\text{ア}}$ 向きに流れる。抵抗体YY′の内部では，この誘導電流と反対方向に移動している電子に，磁場中で $\boxed{\text{イ}}$ 力が働くため，抵抗体YY′には杭を引っ張る方向の力が働く。

(4)　起電力の大きさ V と抵抗 R の2つの記号を用いて，抵抗体YY′に流れる電流の大きさ I を求めなさい。また，その電流の向きを示しなさい。

(5) ひもの端部Pを引っ張っている力の大きさFを，B，v_0，R，dを使って求めなさい。

問 2 図に示したひもの端部Pに質量mの小球をつないで，落下させた。十分に時間が経過すると，小球は一定の速さv_1に近づいた。重力加速度の大きさをgとして，速さv_1を，R，m，g，B，dを使って求めなさい。



図

4 次の文章の空欄 $\boxed{}$ に適切な式，あるいは語句を記入しなさい。ただし，プランク定数を h，光速を c とする。(配点　25)

物質に X 線をあてると，散乱されて出てくる X 線の中には入射 X 線の波長と比べて長い波長の成分をもつものが観測される。この現象を $\boxed{ア}$ という。これは X 線を $\boxed{イ}$ としてではなく，粒子(光子)と考え，この粒子と電子の弾性衝突によるものとして説明できる。

図のように $x-y$ 平面の原点に静止している質量 m の電子に波長 λ の X 線があたった。入射X線の方向を x 軸，これに垂直な方向を y 軸とすると，入射 X 線は x 軸方向に対して θ の角度で散乱された。このとき，散乱 X 線の波長は λ' であった。同時に，電子は一定の速さ v で，x 軸に対して角度 ϕ の方向にはね飛ばされた。波長 λ の X 線のエネルギーは $\dfrac{hc}{\lambda}$，運動量は $\dfrac{h}{\lambda}$ で与えられる。以下では散乱の前後においてはエネルギー，および運動量保存則が成り立つとして考える。エネルギー保存則は

$$\frac{hc}{\lambda}=\boxed{ウ}$$

と書ける。また，x 軸，および y 軸方向の運動量保存則はそれぞれ

$$\frac{h}{\lambda}=\boxed{エ}+mv\cos\phi$$

$$0=\boxed{オ}-mv\sin\phi$$

となる。

これら 3 つの保存則より波長のずれ $\varDelta\lambda=\lambda'-\lambda$ を求める。最初に，運動量保存則から角度 ϕ を消去して $(mv)^2$ を求めると以下のようになる。

$$(mv)^2=h^2\left(\frac{1}{\lambda^2}+\frac{1}{\lambda'^2}-\boxed{カ}\cos\theta\right)$$

次に，この式をエネルギー保存則に代入し，v^2 を消去すると，

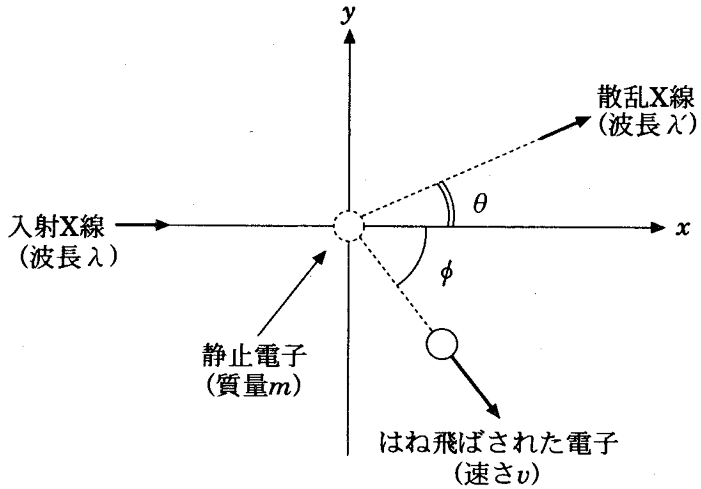
$$\varDelta\lambda=\frac{h}{2mc}\left(\boxed{キ}-2\cos\theta\right)$$

となる。波長のずれが小さい場合，上で導いた $\varDelta\lambda$ の式の右辺で $\lambda'\fallingdotseq\lambda$ としてよい。

この近似を使うと，

$$\varDelta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$$

が得られる。従って，この式から散乱角 θ が $\boxed{\quad ク \quad}$ X 線ほどその波長は長くなることがわかる。



図