

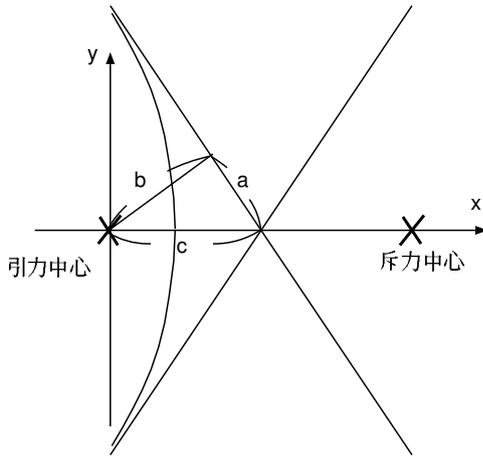
## 物質科学 II 試験問題

1. 粒子が物質中を通過する時、多重散乱や電離によるエネルギー損失をおこす。この仕組みを理解するにはラザフォード散乱の仕組みを知っている必要がある。ラザフォード散乱をする粒子の軌道は双曲線となることが知られている。つぎの軌道の方程式を極座標であらわしたい。

$$\frac{(x-c)^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

漸近線の傾きは  $b/a$  で  $b$  はインパクトパラメータ、点  $(c, 0)$  は焦点をあらわす。また  $b^2 = c^2 - a^2$  となる。上の式に  $x = r \cos \theta$ 、 $y = r \sin \theta$  を代入すると、以下のふたつの軌道の式が導かれることを示せ。

$$r = \frac{c^2 - a^2}{a + c \cos \theta}, \quad r = \frac{c^2 - a^2}{-a + c \cos \theta}$$



2. 運動方程式を極座標を使ってあらわすとつぎのふたつの式が得られる。ここで  $M$  は非常におおきく、重力が働いて質量  $m$  を引っ張っているものとしている。

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} - \frac{L^2}{mr^3} = -\frac{GMm}{r^2}$$

$$L = r^2 m \frac{d\theta}{dr} = \text{一定}$$

ここで  $L$  は角運動量である。この方程式の解が楕円又は双曲線となることを示せ。ヒントとしては以下の関係がなりたつことを使う。

$$\frac{d}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \frac{d}{d\theta} = \frac{L}{mr^2} \frac{d}{d\theta}$$

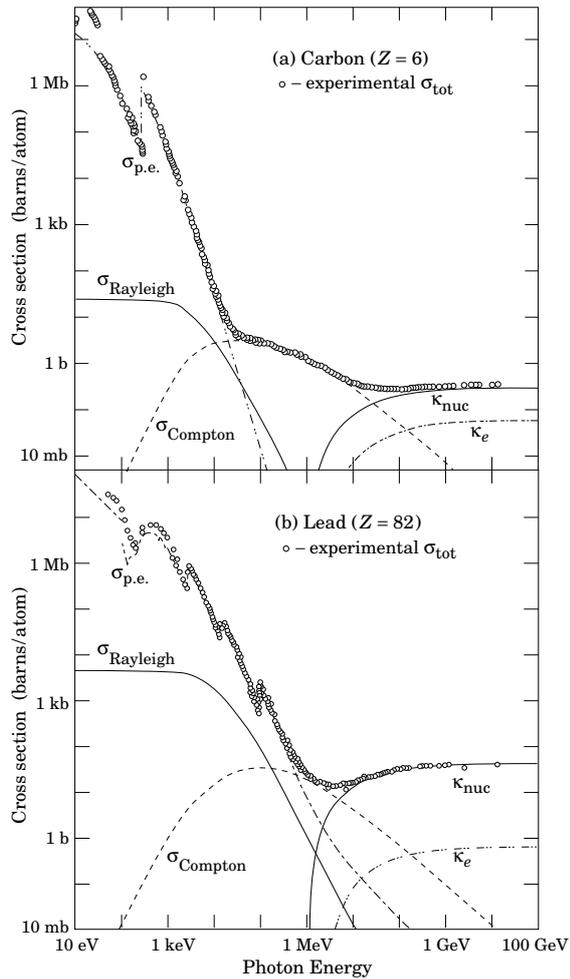
またこの後、 $u = 1/r$  と変換すると以下の式となることを使う。

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = \frac{m^2 GM}{L^2}$$

この結果以下の式がなりたつことをしめす。ただし  $\alpha$ 、 $C$  は積分定数。

$$r = \frac{l}{1 + e \cos(\theta + \alpha)} \quad \left( l = \frac{L^2}{m^2 GM}, e = \frac{L^2 C}{m^2 GM} \right)$$

- 荷電粒子が物質を通過するときエネルギーを失う電離損失は電子をはね飛ばすことによるのか、それとも原子核をはね飛ばすことによるのか？また比較的重い荷電粒子が物質を通過するとき、多重散乱を起こして進む方向が変わるが、この散乱は原子核によるのか電子によるのかを答えよ。
- 以下の図は、光子を炭素と鉛に入射した時の光子のエネルギーに対する反応断面積のグラフである。この反応断面積は光電効果、コンプトン散乱、電子対生成がかさなりあっている。それぞれの過程について簡単に説明せよ。



5. ドナー濃度のシリコンの半導体のバルク結晶にイオン打ち込みを行って、厚さが薄いが高い濃度のアクセプター領域を作成した pn 接合を持つダイオードがある。以下の図はそのダイオードに逆バイアスをかけて、空乏層をつくり、電圧をあげていって、空乏層がバルク端に達した時の、バルクの厚さ方向の電荷分布と電場の強さを示したものである。この状態のダイオードを荷電粒子が通過すると発生したキャリアがダイオードから流れ出てくる。

- (a) シリコン内部では単に  $\epsilon_0$  が  $\epsilon$  になったと考えて良い。電場がバルクの厚さ方向にできるとしてガウスの法則を使うとどちらの向きに電場ができるのかを矢印で示せ。
- (b) 電圧は電場の強さを基準点からその場所まで積分して、符号を反転させたものである。だとすると、シリコンの中での電圧のようすはどうなるか？(n 側に正の電圧を加えたとすると、原点から積分していった関数を符号を反転させて p 側の端をグラウンドになるように y 軸の上の方に平行移動させる。)

