日本学生支援機構
大阪日本語教育センター
منظمة خدمات الطلاب اليابانية
مركز تعليم اللغة اليابانية في أوساكا

物理テキスト
النص المادي

アラビア語圏の学生のための物理
الفيزياء للطلاب الناطقين بالعربية

（原子編）
الطبعة الذرية

【練習問題解答編】
حل مشكلة الممارسة

第１章　電子と光

１　電子

１．〔電場と磁場による電子の偏向〕

(1)　電子は極板 A_1A_2 間で, y軸の正の向きに静電気力 eE を受ける。運動方程式を立てると

$$ma = eE \quad よって \quad a = \frac{eE}{m}$$

（答）$\frac{eE}{m}$

(2)　電子が極板間を抜けるのにかかる時間を t_1，その間の y 軸方向の変位を y_1 とする。

x 軸方向は等速度運動であるため

$$t_1 = \frac{l}{v_0}$$

y 軸方向は初速０の等加速度運動であることから,

$$y_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2} \times \frac{eE}{m} \times \left(\frac{l}{v_0}\right)^2 = \frac{eEl^2}{2mv_0^2}$$

電子が極板を抜けた瞬間の電子の速度の y 軸方向成分を v_y とすると

$$v_y = \frac{eE}{m} \times \frac{l}{v_0} = \frac{eEl}{mv_0}$$

電子が極板を抜けてから蛍光面に当たるまでの時間を t_2, その間の y 軸方向の変位を y_2 とする。x 軸方向，y 軸方向ともに等速度運動であるので,

$$t_2 = \frac{\left(L - \frac{1}{2}l\right)}{v_0}$$

$$y_2 = v_y \times t_2 = \frac{eEl}{mv_0^2}\left(L - \frac{1}{2}l\right)$$

以上より　$y_1 + y_2 = \frac{eElL}{mv_0^2}$ … ①

（答）$\frac{eElL}{mv_0^2}$

(3)　ローレンツ力が静電気力と逆向きにはたらき、つりあうことから

$$ev_0B = eE \quad より \quad B = \frac{E}{v_0} \quad \cdots \quad ②$$

フレミングの左手の法則より，磁場の向きは紙面に垂直に表から裏の向き

（答）磁束密度の大きさ　$\frac{E}{v_0}$

磁場の向き　紙面に垂直に表から裏の向き

(4)　②式より　$v_0 = \frac{E}{B}$　これを　①式に代入

$$y_0 = \frac{eB^2lL}{mE} \quad よって \quad \frac{e}{m} = \frac{Ey_0}{B^2lL}$$

（答）$\frac{Ey_0}{B^2lL}$

2．〔油滴の電気量〕

(1)　重力と空気抵抗力がつりあうことから

$mg = kv$　よって　$v = \frac{mg}{k}$

（答）$\frac{mg}{k}$

(2)　重力と静電気力、空気抵抗力がつりあって速さ v' で等速度運動をしているので、油滴のもつ電気量の大きさを q とすると

$mg = qE - kv'$

また(1)より　$k = \frac{mg}{v}$

これらより　$q = \frac{mg(v-v')}{Ev}$

求めるのは、$-q = \frac{mg(v'-v)}{Ev}$

（答）$\frac{mg(v'-v)}{Ev}$

3．〔電気素量〕

隣り合うデータの差は順に　1.67, 1.54, 3.32, 3.04　でほぼ 1.6 の 1倍か 2倍。そこで電気素量 e の近似値を 1.6 と考え，各データをそれぞれ，

4.74= $e \times 3$　6.41= $e \times 4$　7.95= $e \times 5$　11.27= $e \times 7$　14.31= $e \times 9$ とおき、総和を 3+4+5+7+9 で割って平均を求める。

$$e = \frac{(4.74+6.41+7.95+11.27+14.31)\times 10^{-19}}{3+4+5+7+9} \cong 1.60 \times 10^{-19}$$

（答）1.60×10^{-19}C

2　光の粒子性

1．〔光子〕

(1)　$E = h\nu$ より　$E = 6.6 \times 10^{-34} \times 5.0 \times 10^{15} = 3.3 \times 10^{-18}$

（答）3.3×10^{-18}J

(2)　$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{E}{c} = \frac{2.8\times10^{-15}}{3.0\times10^{8}} \cong 9.3 \times 10^{-24}$

（答）9.3×10^{-24}kg･m/s

2．〔光電効果〕

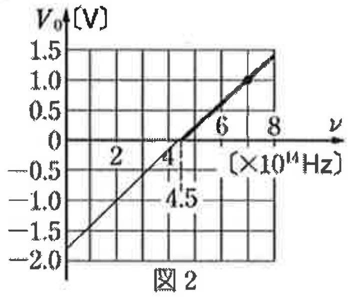

図２

(1)　グラフの直線と横軸との交点が限界振動数 ν_0 で
$\nu_0 = 4.5 \times 10^{14}$
$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{3.0\times10^{8}}{4.5\times10^{14}} \cong 6.7 \times 10^{-7}$

（答）6.7×10^{-7}m

(2)　グラフが表す関数は，光電効果の式 $K_0 = h\nu - W$，
光電管の阻止電圧の式 $K_0 = eV_0$　より　$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$
グラフより V_0 切片は −1.8 V
$W = -e \times V_0 = 1.6 \times 10^{-19} \times 1.8 \cong 2.9 \times 10^{-19}$

（答）2.9×10^{-19}J

(3)　グラフの傾きが $\frac{h}{e}$ より
$\frac{h}{e} = \frac{1.8}{4.5\times10^{14}}$　　よって　$h = \frac{1.8\times10^{-14}\times1.6\times10^{-19}}{4.5} = 6.4 \times 10^{-34}$

（答）6.4×10^{-34}J･s

3．〔電子ボルト〕

(1)　電気量 e の粒子を V の電圧で加速したときに得られるエネルギーがすべて運動エネルギーに化したとみなすので求めるエネルギーは eV

（答）eV

(2)　$\frac{1}{2}mv^2 = eV$ より　　$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

（答）$\sqrt{\frac{2eV}{m}}$

3　X線

1．〔X線の発生と性質〕

(1)　電子の運動エネルギーは電子がされた仕事に等しいことから

$E = eV$

また　$\frac{1}{2}mv^2 = eV$　より　　$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

$$\lambda_e = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{m}\sqrt{\frac{m}{2eV}} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

（答）　$E = eV$

$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$

(2)　電子の運動エネルギーがすべてX線のエネルギーになるので

$eV = h\frac{c}{\lambda_X}$　　よって　　$\lambda_X = \frac{hc}{eV}$

（答）$\lambda_X = \frac{hc}{eV}$

(3)　最短波長は V に反比例するが、固有X線の波長はターゲットの材質に固有のもので，V に関係なく一定

（答）　λ_1　：　短くなる

λ_2, λ_3　：変化しない

2．〔X線回折〕

原子配列面の間隔を d とする。

ブラッグの条件より　$2d\sin\theta = n\lambda$　$(n = 1, 2, \cdots)$

反射X線の強さが2回目に極大を示した角度が θ であったことから

$$d = \frac{2\lambda}{2\sin\theta} = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

（答）$\frac{\lambda}{\sin\theta}$

3．〔コンプトン効果〕

(1)　衝突前のX線のエネルギーが衝突後のX線のエネルギーと電子の運動エネルギーの和に等しいことから

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + \frac{1}{2}mv^2$$

（答）$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + \frac{1}{2}mv^2$

(2)　x 軸に平行な方向の運動量の和が保存される。衝突前のX線の運動量が衝突後のX線の運動量と電子の運動量となることから

$$\frac{h}{\lambda} = -\frac{h}{\lambda'} + mv$$

（答）$\frac{h}{\lambda} = -\frac{h}{\lambda'} + mv$

(3)　(1)より

$$m^2v^2 = 2mhc\frac{\lambda'-\lambda}{\lambda\lambda'} \quad \cdots \quad ①$$

(2)より

$$m^2v^2 = \left(\frac{h}{\lambda} + \frac{h}{\lambda'}\right)^2 = h^2\frac{\lambda^2+\lambda'^2+2\lambda\lambda'}{(\lambda\lambda')^2} \quad \cdots \quad ②$$

①と②の右辺が等しいことから

$$2mhc\frac{\lambda'-\lambda}{\lambda\lambda'} = h^2\frac{\lambda^2+\lambda'^2+2\lambda\lambda'}{(\lambda\lambda')^2}$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{2mc}\left(\frac{\lambda}{\lambda'} - \frac{\lambda'}{\lambda} + 2\right) \cong \frac{h}{2mc}(2+2) = \frac{2h}{mc}$$

（答）$\frac{2h}{mc}$

第２章　原子と原子核

１　ボーアの原子模型

１．〔原子模型とエネルギー準位〕

(1)　電子は静電気力を向心力として等速円運動することから

$$m\frac{v^2}{r} = k\frac{Ze^2}{r^2}$$

よって　$v = e\sqrt{\frac{kZ}{mr}}$　　・・・　①

運動エネルギーは

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{kZe^2}{2r}$$

（答）$v = e\sqrt{\frac{kZ}{mr}}$

$K = \frac{kZe^2}{2r}$

(2)　静電気力による位置エネルギーUは

$$U = \int_r^{\infty} -k\frac{Ze^2}{x^2}dx = -k\frac{Ze^2}{r}$$

したがって　　$E = K + U = \frac{kZe^2}{2r} - k\frac{Ze^2}{r} = -\frac{kZe^2}{2r}$　・・・　②

（答）$E = -\frac{kZe^2}{2r}$

(3)　波長 λ は $\lambda = \frac{h}{mv}$ より量子条件 $2\pi r_n = n\lambda$ は

$$2\pi r_n = n\frac{h}{mv}$$

この式を２乗し①を代入すると

$$4\pi^2 {r_n}^2 = n^2\frac{h^2 m r_n}{m^2 e^2 kZ}$$

したがって　$r_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 kmZe^2}$　・・・　③

（答）$r_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 kmZe^2}$

(4)　②式で$E \to E_n$，$r \to r_n$ として③を代入すると

$$E_n = -\frac{2\pi^2k^2mZ^2e^4}{n^2h^2}$$

（答）$E_n = -\frac{2\pi^2k^2mZ^2e^4}{n^2h^2}$

(5)　(4)の結果に$Z = 2, n = 4, n' = 2$ を代入し、$E_4 - E_2$ を計算すると

$$E_4 - E_2 = -\frac{2\pi^2k^2m2^2e^4}{4^2h^2} - \left(-\frac{2\pi^2k^2m2^2e^4}{2^2h^2}\right) = \frac{3\pi^2k^2me^4}{2h^2}$$　・・・　④

振動数条件　$E_n - E_{n'} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$　より

$\frac{3\pi^2k^2me^4}{2h^2} = \frac{hc}{\lambda}$　　よって　$\lambda = \frac{2h^3c}{3\pi^2k^2me^4}$

④は以下のように変形できる

$$④= -\frac{2\pi^2k^2m1^2e^4}{h^2}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}\right)$$

これは $Z=1$ とおいたときの $n=2, n'=1$ の軌道のエネルギー差に等しい。

（答）　$\lambda = \dfrac{2h^3c}{3\pi^2k^2me^4}$

水素原子の電子が E_2 の定常状態から E_1 の定常状態へ移る際に放出される光の波長と等しくなる

2　原子核

1．〔放射性崩壊〕

α 崩壊の回数を x 回，β 崩壊の回数を y 回とする。

質量数の関係より　　$238 - 4x = 206$

原子番号の関係より　$92 - 2x + y = 82$

よって　$x = 8$

　　　　$y = 6$

（答）α 崩壊　8 回
　　　β 崩壊　6 回

2．〔半減期〕

半減期を T 日とおくと，グラフより　$T = 8.0$

残留率が $\frac{1}{16}$ になるのが t 日後とすると，$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ より

$$\frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.0}} \quad \rightarrow \quad 4 = \frac{t}{8.0}$$

よって　$t = 32$

（答）32 日

3　核反応と核エネルギー

1．〔原子核反応と核エネルギー〕

(1)　${}^{7}_{3}Li$ の原子核は陽子3個，中性子4個からなる。質量欠損をΔm とおくと

$$\Delta m = (3 \times 1.0073 + 4 \times 1.0087) - 7.0144 = 0.0423u$$
$$= 0.0423 \times (1.66 \times 10^{-27})\ kg$$

よって

$$E_1 = \Delta mc^2$$
$$= 0.0423 \times (1.66 \times 10^{-27}) \times (3.00 \times 10^{8})^2 \cong 6.32 \times 10^{-12}\ \text{J}$$
$$= \frac{6.319 \times 10^{-12}}{(1.60 \times 10^{-19}) \times 10^{6}} \cong 39.5\ \text{MeV}$$

（答）6.32×10^{-12} J
39.5 MeV

(2)　核反応前後での質量欠損を$\Delta m'$ とおくと

$$\Delta m' = (1.0073 + 7.0144) - 4.0015 \times 2 = 0.0187u$$
$$= 0.0187 \times (1.66 \times 10^{-27})\ kg$$

よって

$$E_2 = \Delta mc^2 = 0.0187 \times (1.66 \times 10^{-27}) \times (3.00 \times 10^{8})^2 \cong 2.79 \times 10^{-12}\ \text{J}$$
$$= \frac{2.793 \times 10^{-12}}{(1.60 \times 10^{-19}) \times 10^{6}} \cong 17.5\ \text{MeV}$$

（答）2.79×10^{-12} J
17.5 MeV

4　素粒子

1．〔クォーク模型〕

(1)　u クォーク，d クォークの電気量をそれぞれ u，d とすると，陽子の電気量が $+e$ であるから

$$2u + d = +e$$

中性子の電気量が 0 であることから

$$u + 2d = 0$$

これらより　$u = +\frac{2}{3}e$　　$d = -\frac{1}{3}e$

（答）$u = +\frac{2}{3}e$
$d = -\frac{1}{3}e$

(2)　u，$\overline{u}$，d，$\overline{d}$ の電気量はそれぞれ $+\frac{2}{3}e$，$-\frac{2}{3}e$，$-\frac{1}{3}e$，$+\frac{1}{3}e$ となる。（粒子、反粒子）の組み合わせは4通りで、それらの電気量を求めると

$$(u, \overline{d}) = +\frac{2}{3}e + \frac{1}{3}e = +e$$
$$(u, \overline{u}) = +\frac{2}{3}e - \frac{2}{3}e = 0$$
$$(d, \overline{d}) = -\frac{1}{3}e + \frac{1}{3}e = 0$$
$$(d, \overline{u}) = -\frac{1}{3}e - \frac{2}{3}e = -e$$

よって　電気量での分類は　3種類

（答）3種類