1 長さ l の糸の端に質量 m のおもりが付けられ，もう一方の端は点 O に固定されている。おもりは，床から高さ h の水平面内で等速円運動しているとする。

問 1　おもりの等速円運動の半径 r を求めるために，おもりが n 回の回転をするのにかかった時間 T を測定した。このとき次の問に答えなさい。ただし，重力加速度は g とする。

(1)　このときの等速円運動の角速度 ω を求めなさい。

(2)　おもりに働く向心力 F を m，l，r，g を用いて表しなさい。

(3)　等速円運動の加速度 α を r と ω を用いて表しなさい。

(4)　r を ω，l，g を用いて表しなさい。

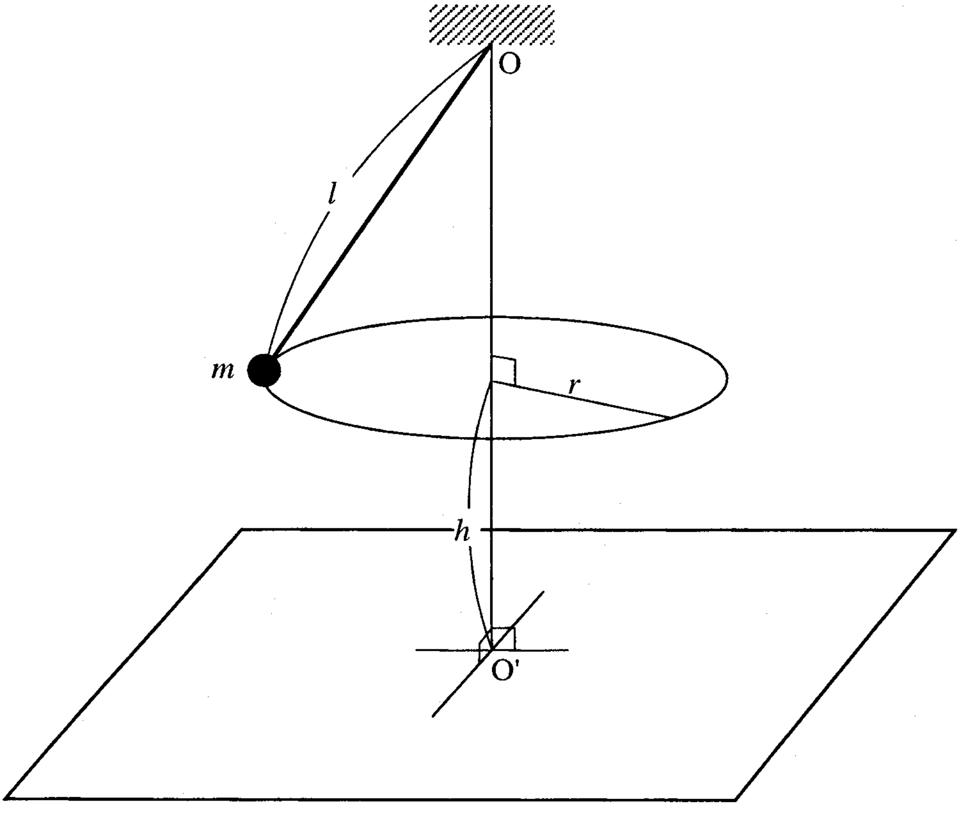
問 2　今，突然糸が切れ，おもりは床に落下した。O 点から床へ下ろした垂線と床との交点を O′ とし，O′ からおもりの落下点までの距離を d とする。このとき次の問に答えなさい。

(1)　糸が切れたときのおもりの速度 v を r と ω を用いて表しなさい。

(2)　床に落ちるまでにかかった時間 t を求めなさい。

(3)　おもりが床と平行に移動した距離 x を ω，r，h，g を用いて表しなさい。

(4)　O′ からの距離 d を ω，l，h，g を用いて表しなさい。


O
l
m
r
h
O'

2 糸の取り付けられた質量 m のおもりがあり，鉛直面内を運動している。運動は半径 r の完全な円運動をする場合と円運動から外れる場合とに分けられる。円運動する場合の回転の中心はO点で，その半径は r，また，おもりの位置は z 軸からの角度 θ で示される。このとき，以下の問に答えなさい。ただし，これらのおもりや糸は空気による抵抗を受けないものとし，図のように鉛直上方に z 軸，水平に x 軸をとる。また，重力の加速度を g とする。

A　おもりがすべての位置で円運動する場合

問 1　角度 θ なるP点でおもりの速度が v のとき，糸に加わる力 S を求めなさい。

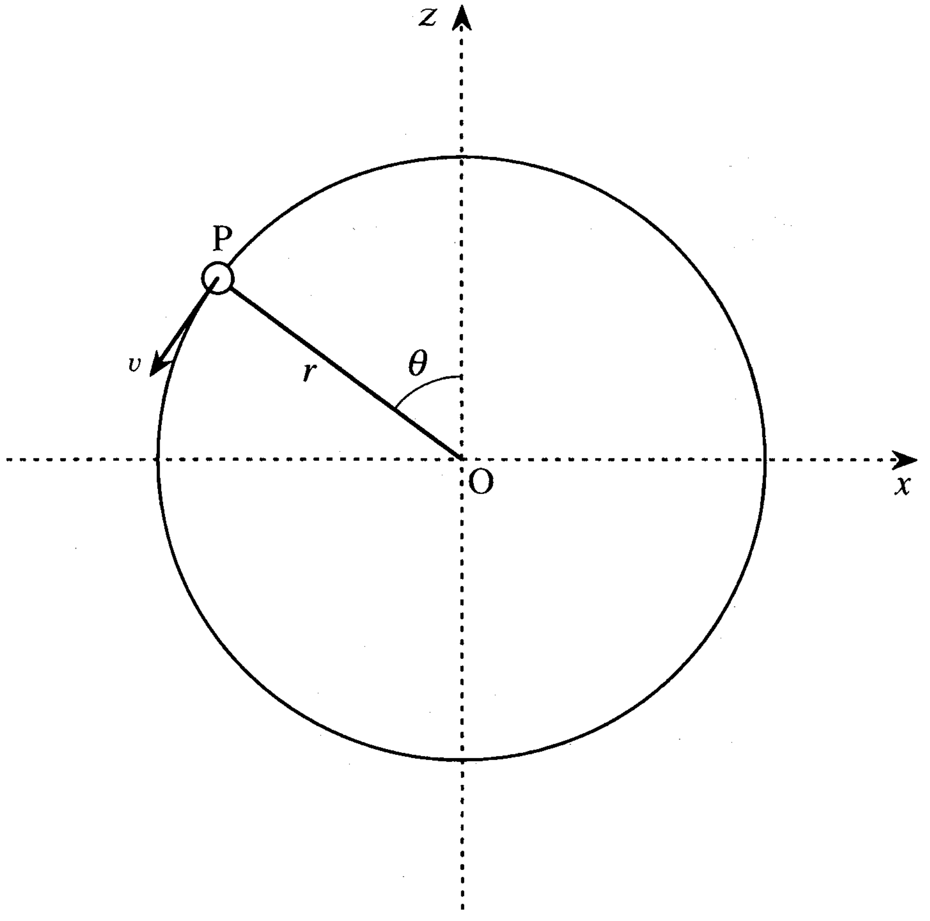
問 2　おもりが円運動できる最小の速度で回転している場合，任意の角度 θ における速度を求めなさい。また，その条件のとき，速度の最小値，最大値が現れる位置と大きさを示しなさい。

B　円運動から外れる場合

問 3　円軌道上 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲にあるP点でおもりが接線方向に運動できる最小の初速 v を与えられた。この速度を求めなさい。

問 4　おもりが $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲にある角度 θ で最小の初速 v を与えられて円運動をはじめたとき，円運動が可能な角度の範囲を求めなさい。

問 5　おもりが $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲にある角度 θ で最小の初速 v の円運動をはじめ，やがて円運動から外れた。この後，おもりが最も高い点に達する高さ z を求めなさい。


z
P
v
r
θ
O
x

3 図1のようにスリットS_0を通った波長λの光がS_0から等距離にある2つのスリットS_1とS_2を通り，回折してスクリーン上の点Pで出会う場合を考える。ただし，S_1とS_2の距離はd，S_1とS_2が含まれるついたてとスクリーンは平行で，その距離はLとする。このとき，以下の問に答えなさい。必要ならば$k(k=0,\ 1,\ 2,\ \cdot\cdot)$を使用しなさい。

問1　スクリーンの中心の点Cからxだけ離れた点Pに明線が生じるための条件式を示しなさい。

問2　空欄 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 4\ }$ に入る適切な式，記号，または数値を解答用紙に記入しなさい。

いま，xとdはLに比べて十分小さいとすると，$|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=$ $\boxed{\ 1\ }$，明線ができる条件は $\boxed{\ 1\ }$ $=$ $\boxed{\ 2\ }$ となって，干渉縞の間隔は $\boxed{\ 3\ }$ となる。ここで，$d=0.20\ \mathrm{mm}$，$L=2.0\ \mathrm{m}$，$\lambda=5.0\times10^{-7}\ \mathrm{m}$とすると，干渉縞の間隔は $\boxed{\ 4\ }$ mとなる。

問3　空欄 $\boxed{\ 5\ }$ ～ $\boxed{\ 11\ }$ に入る適切な式，記号，または数値を解答用紙に記入しなさい。

$\lambda=5.0\times10^{-7}\ \mathrm{m}$とする。

図2のように，スリットをS_1のみとし，S_0とCを結ぶ中心線(DC)上のEF間に反射鏡を取り付け，S_1からの光とS_1から反射鏡で反射した光とが干渉してスクリーン上の点Pで出会う場合を考える。この時，スクリーン上に明線がどのようにできるかを考える。

S_1から直接スクリーン上に到達する光とS_1から鏡面で反射してスクリーンに到達する光との光路差は $\boxed{\ 1\ }$ となる。鏡面で反射する場合は光の位相は $\boxed{\ 5\ }$ だけずれることを考えると， $\boxed{\ 1\ }$ $=$ $\boxed{\ 6\ }$ となる時に，スクリーン上に明線を生じる。この式を変形すると$x=$ $\boxed{\ 7\ }$ となる。

一方，S_1からの光が反射鏡によってスクリーンに到達するとき，スクリーン上に到達する位置をCからの距離xで表すと，その最小値と最大値は，S_1からの光がそれぞれFおよびEで反射する時であり，$\overline{DE}=0.02\ \mathrm{m}$，

$\overline{FC} = 1.8$ m, $\overline{EF} = 0.18$ m, $d = 0.20$ mm の場合は, $\boxed{\quad 8 \quad}$ mm ≦ x ≦ $\boxed{\quad 9 \quad}$ mm となる。ここで, 明線がスクリーン上で観察されるときの x の条件は, $x = \boxed{\quad 7 \quad}$ なので, したがって $k = \boxed{\quad 10 \quad}$ または $\boxed{\quad 11 \quad}$ の時にスクリーン上で明線が生じることになる。

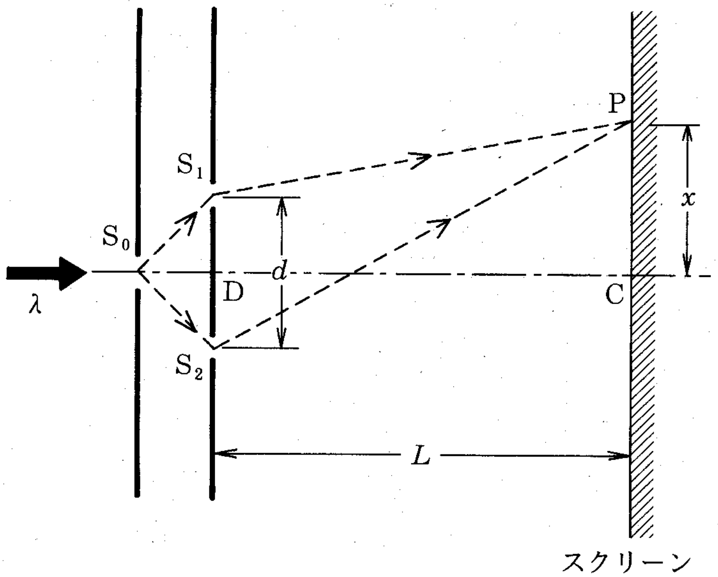


図　1

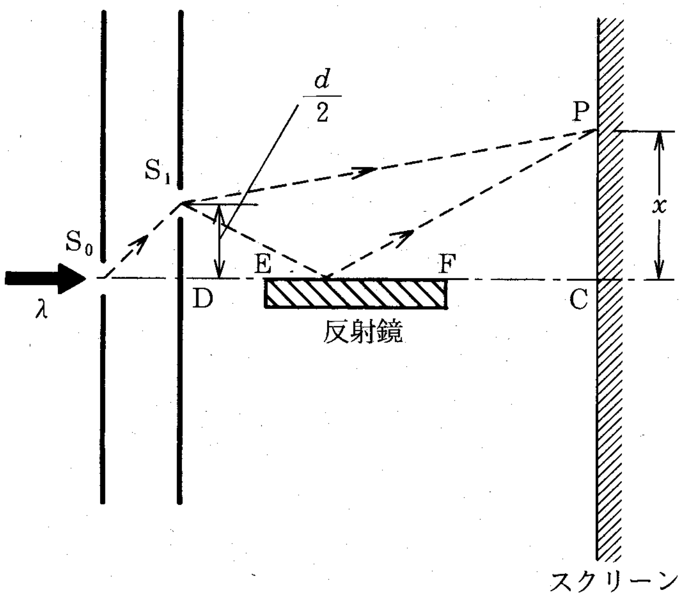


図　2

4 なめらかに動くピストンのついたシリンダーに，一定量の理想気体が入れられている。その体積と圧力を図のA→B→C→D→Aの経路に沿って変化させた。ただし，B→Cは温度一定の変化である。

Aでの理想気体の圧力，体積，温度はそれぞれ，1気圧，2.24 l，300 K である。また，標準状態の圧力と温度は1気圧($= 1.01 \times 10^5$ N/m^2)，273 K である。

このとき以下の問に答えなさい。

問1　用いた理想気体の物質量は何モルか。

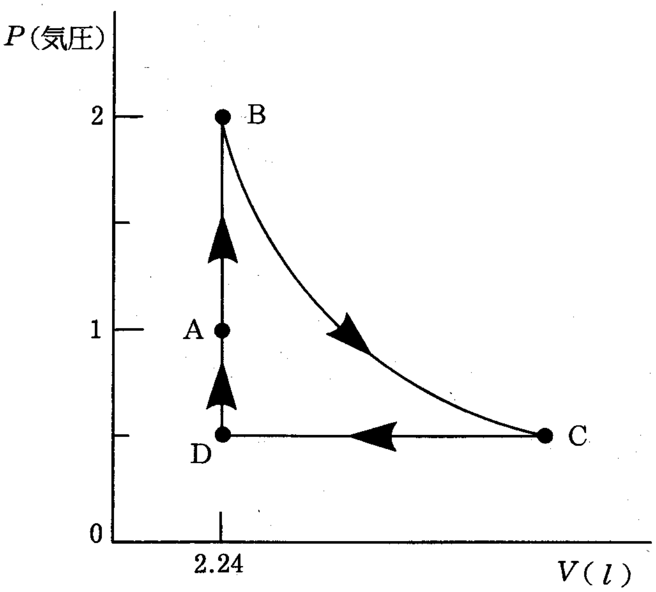
問2　Bでの理想気体の温度は何Kか。

問3　Cでの理想気体の体積は何 l か。

問4　B→Cの過程において，気体が外部から得た熱量 Q と，気体が外部からされた仕事 W との関係式を示しなさい。

問5　C→Dの過程における，絶対温度 T と体積 V との関係式を示しなさい。ただし温度 T の単位をK，体積 V の単位を l とする。

問6　C→Dの過程において，気体が外部からされる仕事は何Jか。



◆M7(567—62)

5 図に示すように，磁束密度 B なる垂直な一様磁界中で，端部に抵抗 R とスイッチSをつないだ2本の導線が，水平面上に間隔 l だけ隔てて平行に置かれている。その導線の上に摩擦なく滑ることのできる導線 a — a' が渡されている。この導線 a — a' には糸が結ばれ，他端には質量 m なるおもりが結び付けられている。重力加速度を g とする。また，導線の電気抵抗および空気抵抗は無視できるものとする。

問 1 スイッチSを開いて，糸を張った状態で，おもりを静かに離した。このとき，以下の問に答えなさい。

(1) 長方形 $abb'a'$ の面を貫く磁束を求めなさい。ただし，ab 間の距離を x とする。

(2) 時刻 t での導線 a — a' 間に生じる誘導起電力の大きさを求めなさい。

(3) a と a' のどちらの点の電位が高いか答えなさい。

次に，スイッチSを閉じたのち，糸を張った状態で，おもりを静かに離した。おもりが十分長い時間落下できるものとすると，最終的に落下速度は一定値に近づいていくと考えられる。

問 2 落下速度が一定に近づく理由を30字程度で述べなさい。

問 3 おもりの落下速度が一定になったとして，次の問に答えなさい。

(1) R を流れる電流を求めなさい。

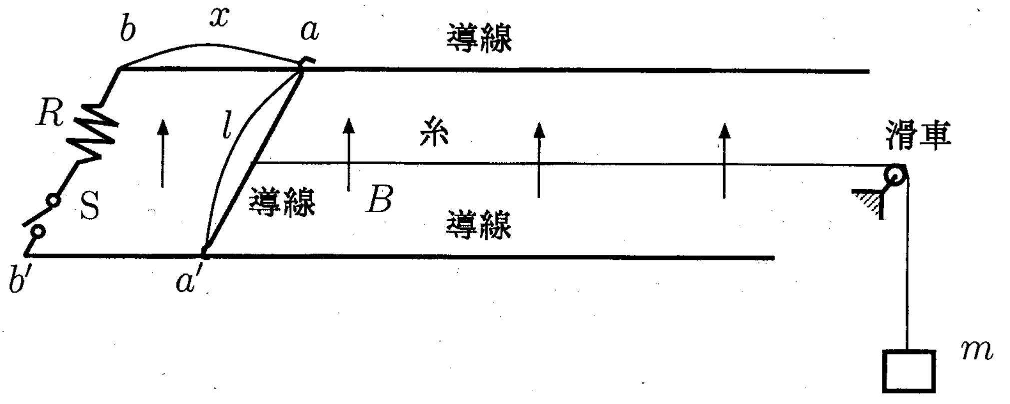
(2) この一定速度を求めなさい。

(3) R が単位時間当りに発生する熱エネルギーを求めなさい。

(4) おもりが単位時間当りに失う位置エネルギーを求めなさい。

(5) (3)(4)の結果からどのようなことがいえるか。50字程度で述べなさい。

(6) また，おもりが最初の位置から距離 h だけ落下したとき，R で消費されるエネルギーを求めなさい。



x
b
a
導線
R
l
糸
滑車
S
導線
B
導線
b′
a′
m

6 2枚の導体板を平行に向かい合わせた平行平板コンデンサーの静電容量は，その平板間を誘電体(不導体)で満たすと真空の場合の容量よりも一般に大きくなる。この静電容量の比，すなわち，真空時の容量を C_0，物質を満たしたときの容量を C とすれば，$\varepsilon_r = C/C_0$ をその物質の比誘電率といい，真空の誘電率を ε_0 とすれば，$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ はその物質の誘電率と呼ばれる。

空気中に置かれた平行平板コンデンサーがある。導体板の間隔は d，面積は S である。一方のコンデンサーはちょうど導体板の面積の半分まで比誘電率 ε_r の誘電体がそう入されている(図1参照)。もう一方のコンデンサーは導体板の間隔の半分の厚さの誘電体がそう入されている(図2)。空気の比誘電率を1とみなして，以下の空欄に適当な語句や式をいれなさい。

一様な電界 E の中に置かれた点電荷 q が電界から受ける静電気力は $\boxed{\quad 1 \quad}$ である。電界 E 内の2点間を静電気力に逆らって，単位電荷を運ぶのに必要な仕事の量を電位差あるいは電圧という。したがって，電界に沿って距離 l だけ移動したとき，電位差が V とすると $V = \boxed{\quad 2 \quad}$ である。

図1において，導体板に電位差 V を加えた。導体板にはさまれた空気中の電界の強さは $\boxed{\quad 3 \quad}$ で，誘電体中の電界の強さは $\boxed{\quad 4 \quad}$ である。したがって，電極面積が $\boxed{\quad 5 \quad}$ の導体間に誘電率 $\varepsilon_0 \varepsilon_r$ の誘電体をはさんだ平行平板コンデンサーと同じ面積で電極間が空気のコンデンサーとを $\boxed{\quad 6 \quad}$ 接続したものの静電容量と等しいので，このコンデンサーの容量は $\boxed{\quad 7 \quad}$ である。このとき，空気部分の電極上にある電荷の電気量は $\boxed{\quad 8 \quad}$ であり，誘電体部分の電極上にある電荷の電気量は $\boxed{\quad 9 \quad}$ である。したがって，ある面に分布する電荷の電気量をその面の面積で割った値，すなわち，面電荷密度は誘電体部分の電極上の方が $\boxed{\quad 10 \quad}$ 倍大きい。

次に，図2のコンデンサーの上下の電極に $+Q$，$-Q$ の電気量の電荷を与えた。誘電体と空気の境界面は2枚の平行平板電極に平行であることを考えると，この境界面上の任意の2点間の電位差は $\boxed{\quad 11 \quad}$ であり，この境界面は $\boxed{\quad 12 \quad}$ になっている。したがって，この境界面に導体板を置いたとしても電位および電界分布は変化しない。したがって，空気をはさんだ間隔 $\dfrac{d}{2}$ の平行平板コンデンサーと誘電体をはさんだ平行平板コンデンサーとを $\boxed{\quad 13 \quad}$ 接続したものとみなして静電容量を求めると，$\boxed{\quad 14 \quad}$ となる。このとき，電界の強さは，空気部分では $\boxed{\quad 15 \quad}$ で，誘電体中では $\boxed{\quad 16 \quad}$ である。

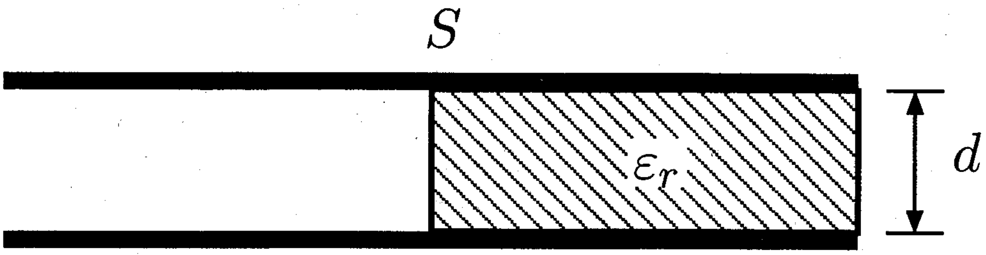


図 1

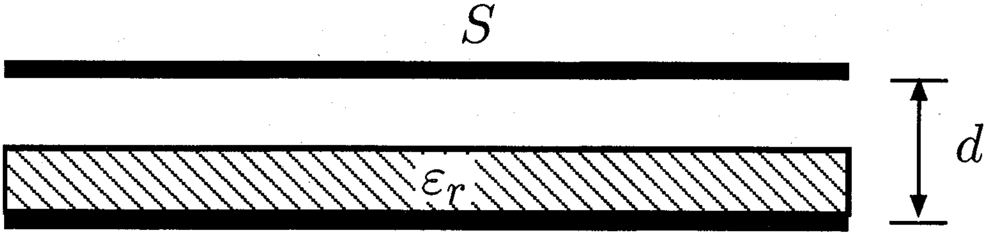


図 2

7 クォークは物質を構成する最も基本的な粒子で，陽子やπ中間子などのような粒子はクォークで構成されている。これらのクォークから成る粒子には，

クォーク3個でできた重粒子(と反クォーク3個でできた反重粒子)

クォーク1個と反クォーク1個でできた中間子

の2種類が存在する。

問1 クォークの電荷は，u，c，t クォークが電気素量の $+\frac{2}{3}$ 倍で，d，s，bクォークは電気素量の $-\frac{1}{3}$ 倍で，反クォークは元のクォークの逆である。このことから，以下のクォークで構成される粒子の電荷は電気素量の何倍になるか答えなさい。

(例えば反uクォークは $\bar{u}$ のように，反クォークは $\bar{\ }$ の記号で示している。)

(1) u u d　　(2) u $\bar{s}$　　(3) u u c

(4) b $\bar{u}$　　(5) $\bar{u}$ $\bar{d}$ $\bar{d}$

問2 粒子と反粒子が衝突すれば共に消滅してエネルギーが解放される(対消滅)。逆に，十分なエネルギーがあれば粒子と反粒子がペアで生まれる(対生成)。例題のように，以下の(1)と(2)の反応において下線を引いた粒子が何のクォークで構成されているかを答えなさい。

例題 <u>Δ^-粒子</u> は 中性子(u d d) と π^-(d $\bar{u}$) に崩壊する。

例題の解答　　d d d

解説 反応が終了した状態は全体ではクォーク4個と反クォーク1個でその差は3個なので，Δ^-粒子はクォーク3個で構成される重粒子である。Δ^-粒子の崩壊の際に余分なエネルギーがクォーク・反クォークの対生成に使われたが，終状態の中で反クォークは $\bar{u}$ なのでこの崩壊反応では u $\bar{u}$ が対生成された。したがって崩壊前から存在していてΔ^-粒子を構成していたのは残りの d d d である。

(1) <u>ϕ粒子</u> は K^+(u $\bar{s}$) と K^-(s $\bar{u}$) にも，K^0(d $\bar{s}$) と $\bar{K}^0$(s $\bar{d}$) にも崩壊できる。

(2) 中性子 と π^- が衝突して K^0 と <u>Σ^-粒子</u> が生まれた。

8 以下の空欄の中に，$\boxed{\quad 1 \quad}$ には適当な記号を，$\boxed{\quad 2 \quad}$ $\boxed{\quad 5 \quad}$ には数値を，$\boxed{\quad 3 \quad}$ $\boxed{\quad 4 \quad}$ $\boxed{\quad 6 \quad}$ には語句を，$\boxed{\quad 7 \quad}$ $\boxed{\quad 8 \quad}$ には文字式を記入しなさい。なお，$\boxed{\quad 7 \quad}$ $\boxed{\quad 8 \quad}$ では問題文中で与えられた記号以外に必要ならば

プランク定数 h，電気素量 e，光速 c，アボガドロ数 N_0

の記号を使用しなさい。

宇宙からやってくる放射線(1次宇宙線)は，大気中の原子核と衝突して中性子(n)などの粒子(2次宇宙線)を生む。その n が大気中の ^{14}N とぶつかると，

$$\mathrm{n} + {}^{14}\mathrm{N} \rightarrow \boxed{\quad 1 \quad} + {}^{14}\mathrm{C} \qquad \text{(a)}$$

という反応で放射性の炭素 ^{14}C が生産される。放射性炭素の割合は 1×10^{-12} すなわち普通の炭素原子 $\boxed{\quad 2 \quad}$ 個について1個の割合である。生産され続ける ^{14}C は半減期 5.7×10^3 年で $\boxed{\quad 3 \quad}$ 崩壊するので，大気中の ^{14}C の ^{12}C に対する割合($\frac{^{14}\mathrm{C}}{^{12}\mathrm{C}}$)はほぼ一定に保たれる。植物が生きている間は $\boxed{\quad 4 \quad}$ で植物体内に取り入れられる ^{14}C の割合は一定であるので，体内の $\frac{^{14}\mathrm{C}}{^{12}\mathrm{C}}$ の値はやはり一定である。しかし，植物が枯れて死滅すると ^{14}C の取り込みが止まり，植物体内の $\frac{^{14}\mathrm{C}}{^{12}\mathrm{C}}$ の値は時間とともに減少する。ある古い木片の $\frac{^{14}\mathrm{C}}{^{12}\mathrm{C}}$ の値が生きている木と比べて 0.125 倍であったとすると，この木が生きていたのは今からおよそ $\boxed{\quad 5 \quad}$ 年前と推定できる。

(a)式の反応は発熱反応であるので反応前後で質量は $\boxed{\quad 6 \quad}$ する。このため，n と ^{14}N が小さな相対速度で衝突しても反応後の2粒子は比較的大きな相対速度で運動する。反応前の n と ^{14}N の速度を無視し，反応後の $\boxed{\quad 1 \quad}$ の速度の大きさを V，^{14}C の速度の大きさを V_C とする。また，n の質量を m，^{14}N の質量を m_N，$\boxed{\quad 1 \quad}$ の質量を M，^{14}C の質量を M_C とする。反応前後での運動量の関係式は

$$\boxed{\qquad\qquad\qquad\qquad 7 \qquad\qquad\qquad\qquad}$$

のようになる。また反応前後でのエネルギーの関係式は

$$\boxed{\qquad\qquad\qquad\qquad 8 \qquad\qquad\qquad\qquad}$$

のようになる。この2式から V を求めると，およそ 1.1×10^7 m/s となる。