

放射性同位体による年代測定の代表的なものとして、 ^{14}C を用いる方法がある。 ^{14}C は、大気上層で宇宙線によって作られる中性子 n と ^{14}N の反応で生成されて大気中に広がり、約 5700 年の半減期でベータ崩壊する。もし、生成と崩壊の割合がつりあっているならば、生物の体を構成する炭素には一定の割合の ^{14}C が含まれることになる。しかし、生物が死んで代謝が停止すると、 ^{14}C は崩壊を続けてその割合は減少してゆく。そこで、 ^{14}C と ^{12}C の構成比を求めることによって、その生物が生存していた年代を測定することが可能になる。 ^{12}C 原子 1 個の重さを $2 \times 10^{-23} \text{ g}$ 、現在の大气における ^{14}C の個数の ^{12}C に対する割合を 1×10^{-12} 、1 年は 3×10^7 秒であるとして以下の問いに答えよ。

(1) 上で説明した、 ^{14}C が生成される過程の原子核反応式を示せ。ただし、反応前後の粒子の質量数と原子番号がわかるように表記せよ。

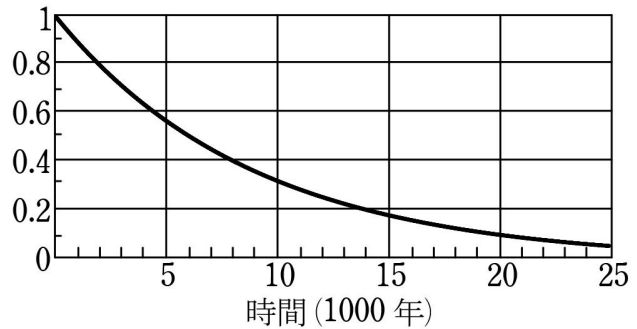


図 1 ^{14}C のベータ崩壊による減少

(2) 図 1 は ^{14}C が崩壊によって減少する様子を示している。このグラフの傾きから減少の割合を読み取ると、試料に含まれる ^{14}C の単位時間あたりの崩壊数がわかる。0 年におけるグラフの傾きから、1 g の炭素を含む現在の試料がベータ崩壊で 1 分間に放出する電子の個数を求めよ。

従来は ^{14}C のベータ崩壊によって生じる電子を直接測定していたが、その数はもともと存在している ^{14}C の個数にくらべると非常に少ない。そこで、崩壊前の ^{14}C の数を直接計る方法が考案された。そのモデルとして、図 2 のような装置を考える。

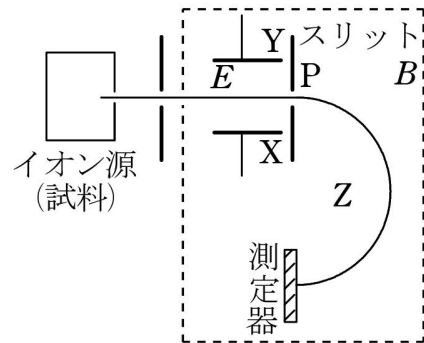


図 2 質量分析装置のモデル

年代測定する試料に含まれる原子は、イオン源で正の荷電粒子となって装置に入る。荷電粒子の質量を M 、電荷を Q 、速度を v とする。荷電粒子が入射する装置には、図の電極 XY 方向に強さ E の電界(電場)と、これに垂直に紙面の裏から表方向に磁束密度 B の磁界(磁場)がかけている。

(3) 電界と磁界の強さを調整して、荷電粒子が電界と磁界から受ける力の和が 0 になるようにする。このとき粒子は直進してスリット P を通過するが、その速さ v を求めよ。また、同じ質量と電荷をもった荷電粒子でこれより速いものは、スリットの X 、 Y どちら側に衝突するか。

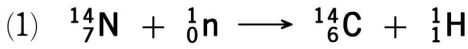
(4) 先程と同じ向きと強さの一樣な磁界がかけている領域 Z に速度 v で入射した荷電粒子は半円を描いて測定器に到達する。この円の軌道半径を R とするとき、 R を M 、 Q 、 B 、 v を用いて表せ。

(5) ^{12}C と ^{14}C がともに電荷 Q の正イオンとなって測定器に到着した。 ^{12}C の質量を M として、測定器における ^{12}C と ^{14}C の到達位置の差を、 M , Q , E , B を用いて表せ。

(6) この方法では試料に混在する他の種類の荷電粒子を分離することが難しい。分離できない物質の例をあげてその理由を述べよ。

最近では、この問題を解決するために入射粒子を高エネルギーに加速して不純物の影響を減らし、目的の荷電粒子だけを測定する技術が開発されている。これによって、年代測定に必要な試料の量は以前に比べて $1/1000$ 以下となり、考古学、宇宙科学や環境科学などの分野で注目を集めている。

解説



(2) 1 g の ${}^{12}\text{C}$ の個数は,

$$\frac{1}{2 \times 10^{-23}} = 5 \times 10^{22} \text{ (個)}$$

現在の 1 g の炭素に含まれる ${}^{14}\text{C}$ の個数は

$$5 \times 10^{22} \times 1 \times 10^{-12} = 5 \times 10^{10} \text{ (個)}$$

図 a のように 0 年において接線を引くと 7500 年で 100% の崩壊をするので

$$n = \frac{60 \times 5 \times 10^{10}}{7500 \times 3 \times 10^7} = 13 \text{ (個)}$$

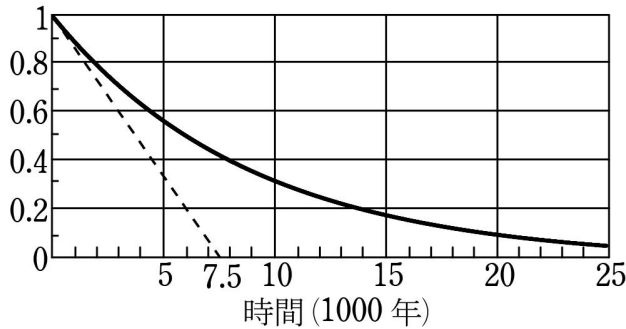


図 a

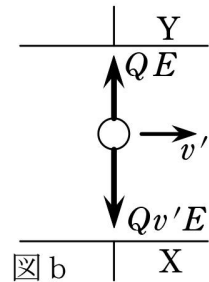
(3) 電界から受ける力 QE と磁界から受ける力 QvB が等しいとき直進するから

$$QE = QvB \quad \text{よって} \quad v = \frac{E}{B}$$

$v' > v$ とすると図 b のようにローレンツ力 $Qv'B$ が静電気力 QE より大きくなるから合力は $Y \rightarrow X$ の向きになるので v が大きくなると X 側に衝突する。

(4) ローレンツ力が向心力となって円運動するから

$$M \frac{v^2}{R} = QvB \quad \text{よって} \quad R = \frac{Mv}{QB}$$



(5) ${}^{14}\text{C}$ の質量を M_{14} とすると

$$M_{14} = \frac{14}{12} M = \frac{7}{6} M$$

${}^{12}\text{C}$ の直径を $2R$, ${}^{14}\text{C}$ の直径を $2R'$ とすると, (4) より

$$2R = \frac{2Mv}{QB}, \quad 2R' = 2 \times \frac{7}{6} \frac{Mv}{QB}$$

$$\Delta R = 2R' - 2R = \frac{7}{3} \frac{Mv}{QB} - \frac{2Mv}{QB}$$

$$= \frac{1}{3} \frac{Mv}{QB} = \frac{M}{3QB} \cdot \frac{E}{B} = \frac{ME}{3QB^2}$$

(6) 比電荷 $\frac{Q}{M}$ の等しい物質は同じ位置に到達するから分離できない。たとえば, $^{12}_6\text{C}$ の原子核と $^{14}_7\text{N}$, $^{16}_8\text{O}$ の原子核。