

# 放射化学基礎 6

## 23年国家試験

## 解答 5

誤っているのはどれか。

1. 放射分析はある物質が放射性同位体と結合する性質を利用する。
2. 放射化分析は非放射性元素を核反応によって放射性核種にする。
3. 陽イオン交換樹脂は核分裂生成物の分離に用いる。
4. 錯体を形成する金属イオンは陰イオン交換樹脂に吸着する。
5. 電気化学的分離法は放射性核種の蒸気圧の違いを利用する。

# 放射性同位体 (RI) の化学分析

1. 放射分析法
2. 同位体希釈分析法
3. 放射化分析法
4. 放射化学分析法

化学分析とは、化学反応を利用して試料に含まれる元素や化合物の形を定性分析し、その量を定量分析する。

放射能を利用して微量物質の定量が可能。

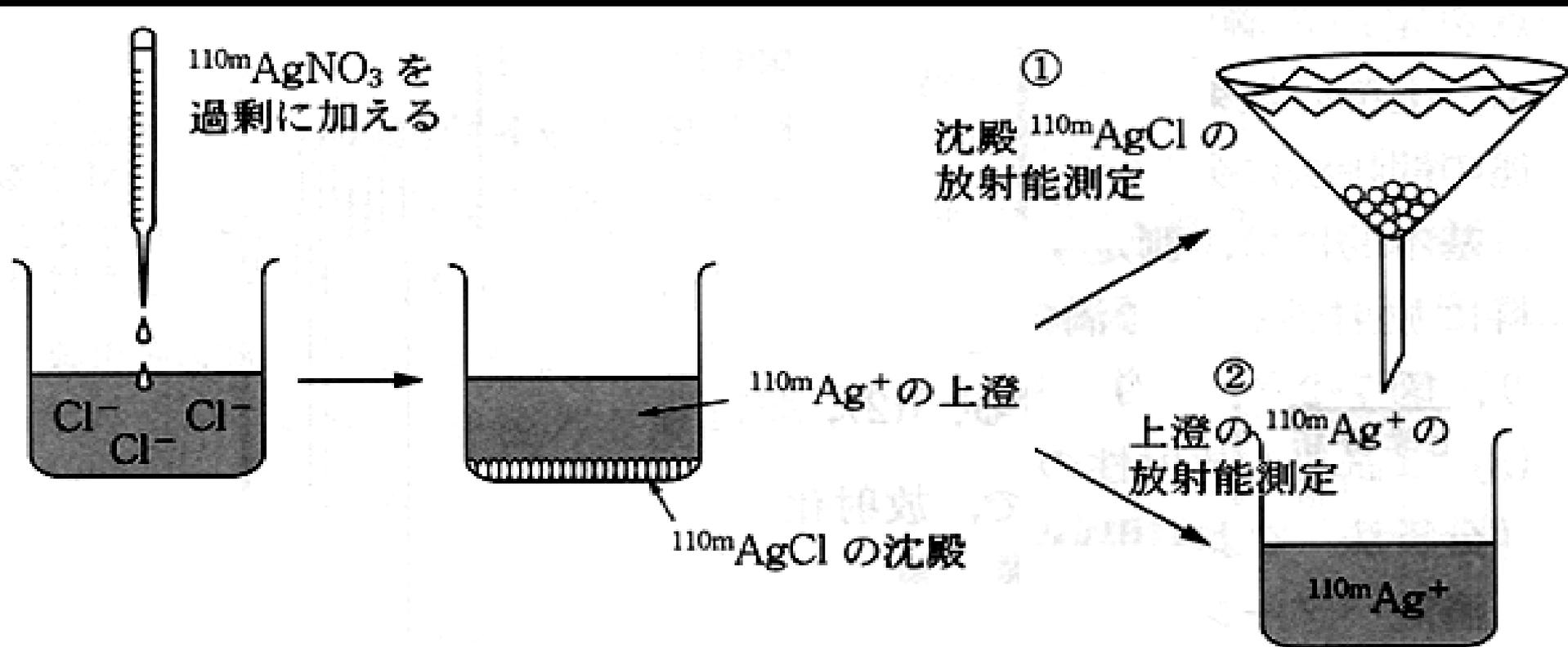
# 1. 放射分析法 radiometric analysis

非放射性の試料に定量的に結合する放射性物質を加え、沈殿または上清の放射能を測定して、試料を定量分析する方法。 Ehrenberg が発明。

試料A と結合して沈殿を生成する放射性物質B\* を、試料Aに滴下し、沈殿A B\* の放射能を測定。

# 放射分析法の例

定量したい非放射性的の試料 **Cl** に、結合する放射性物質  **$^{110m}\text{Ag}$**  を  $^{110m}\text{AgNO}_3$  の水溶液 (放射能は測定済み) として加え、沈殿または上清を採取。



放射分析法には、直接法と間接法がある。

① **直接法**：沈殿物の放射能から試料中の目的物質の定量を行う。

沈殿物  $^{110\text{m}}\text{Ag Cl}$  の放射能から **Cl** を定量。

② **間接法**：上澄の放射能から試料中の目的物質の定量を行う。

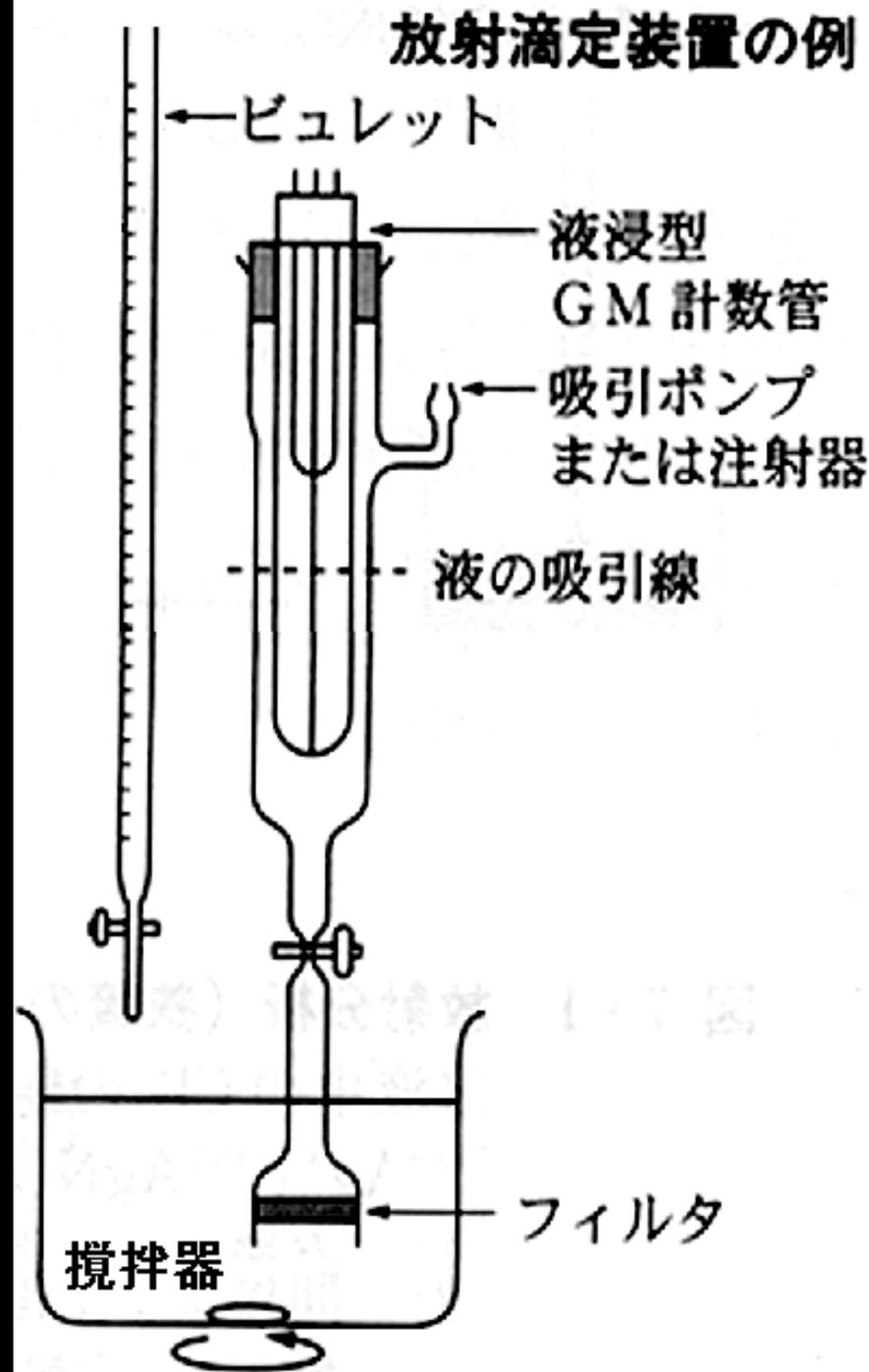
上澄  $^{110\text{m}}\text{Ag NO}_3$  の放射能から沈殿物中の  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  の放射能を計算し、非放射性の試料 **Cl** の定量を行う。

# 放射滴定法

Radiometric titration

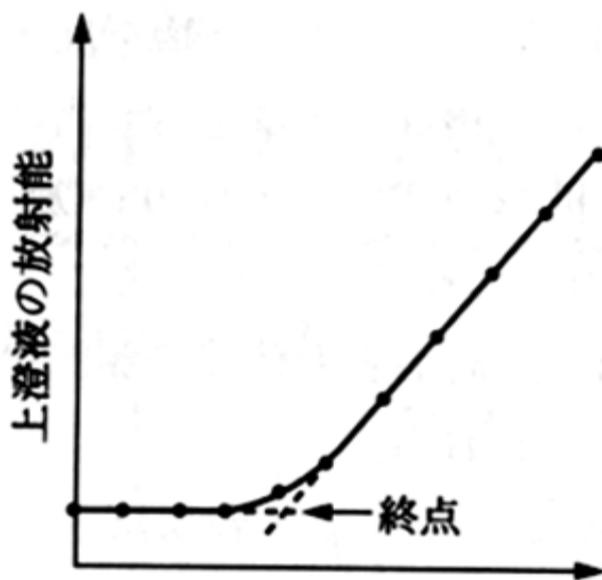
滴定による放射分析法。

沈殿を生成する2種類の  
溶液の混合比を少しずつ  
滴定法にて変えて、上澄  
の放射能を逐次測定しな  
がら滴定曲線を求める。



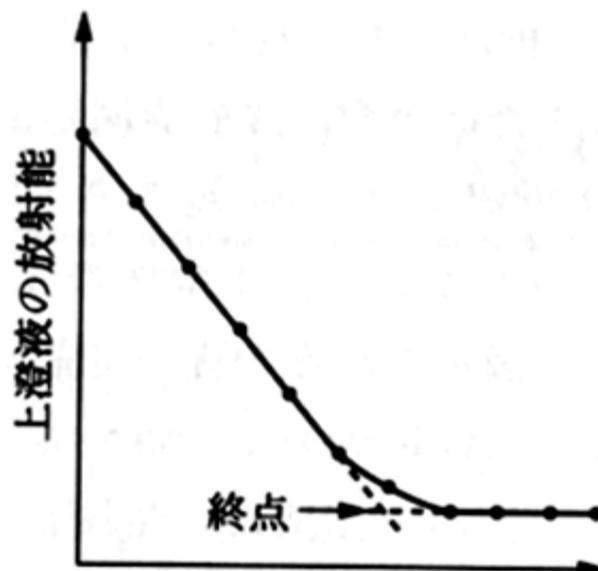
上澄の放射能の滴定曲線は、3パターンある。  
基本法は(1)の、定量したい非放射性試料に  
放射性試薬を滴定する方法。

## 放射滴定法における滴定曲線



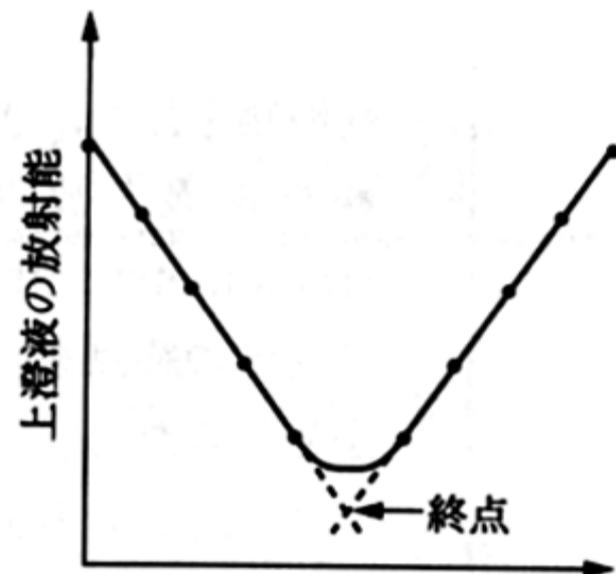
滴定試薬の容量

(1) 非放射性試料を放射性試薬  
で滴定する。



滴定試薬の容量

(2) 放射性試料を非放射性試薬  
で滴定する。



滴定試薬の容量

(3) 放射性試料を放射性試薬  
で滴定する。

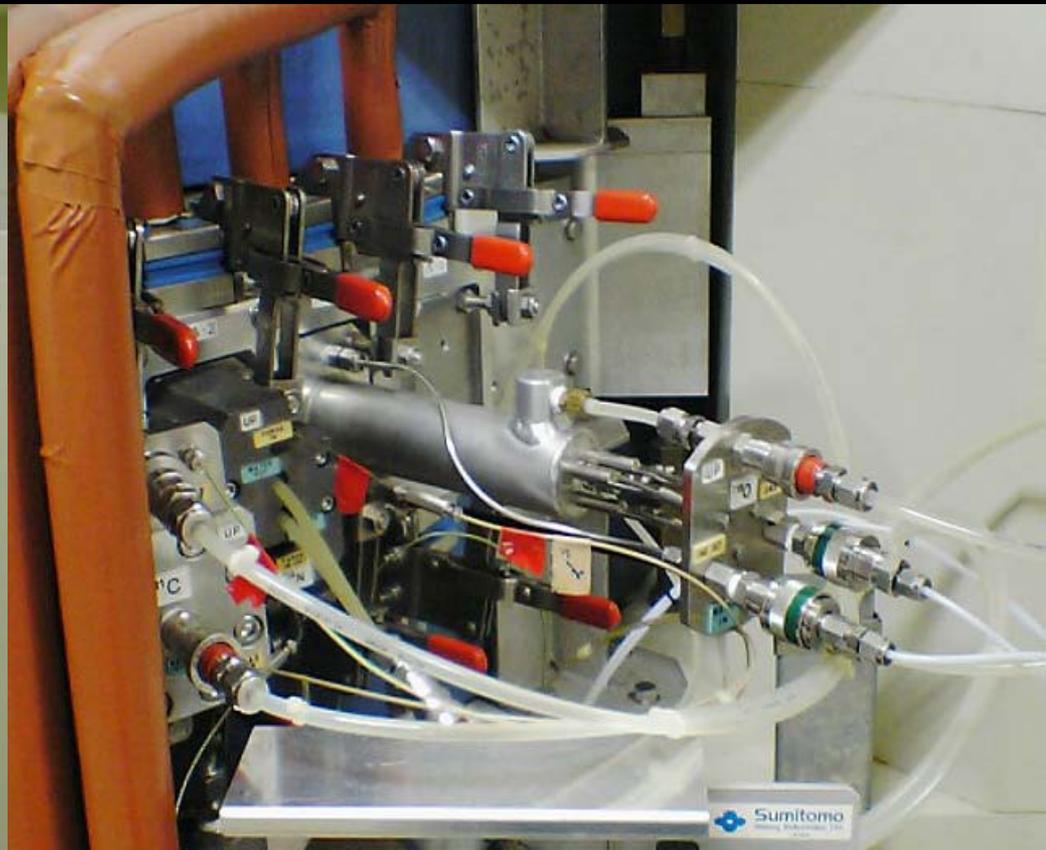
# 放射化分析法

サイクロトロンで陽子p (proton)または重水素原子核d (deuteron)を非放射性元素(ターゲット核種)に照射し、放射性元素を生成する。

その放射能のエネルギーや半減期などを調べ、核種の種類や重量を分析する方法。

# サイクロトロン

水素または重水素原子核（proton、deuteron）を加速して、ターゲットに置いた物質に当てて陽電子放出核種を発生させる。



# 放射化分析法の長所

## 1. 分析感度が高い。

短半減期核種でも分析可能。

## 2. 放射化試料の化学的取扱が容易。

照射前後で試料の化学的操作を行わないので、化学物質の混入や周囲の放射能汚染などは生じない。

### **3. 放射化の核反応は化学的性質と無関係。**

化学的に類似した物質が混在する場合でも目的物質を放射化すれば正確に分離分析できる。

### **4. 非破壊検査が可能。**

粒子線照射のみで放射化分析は可能で、短半減期核種の放射化であれば、短時間で検査前の元の試料に戻るなので、貴重資料や考古学的試料の分析測定に適する。

# 放射化分析法の短所

## 1. 精度が低い。

核反応の統計誤差(粒子束の不均一性や副反応の発生などによる)のため分析誤差は10%近くある。

## 2. 化学的情報は分析できない。

測定する核種の物理的特性(半減期やエネルギーなど)は判るが、核種が試料化合物のどこに結合しているか等の化学的情報は得られない。

# 生成放射能

サイクロトロンで陽子p (proton)または重水素原子核d (deuteron)を非放射性元素(ターゲット核種)に照射し、放射性元素を生成する。

病院内サイクロトロンでPET用の陽電子放出RI生成など。

例 :  $^{12}\text{C} (d, n) ^{13}\text{N}$

炭素12 に deuteron を照射して  
半減期10分の放射性窒素13 を生成。

# 生成放射能の算出法

$N_0$  : ターゲット核種の原子数

$N$  : 生成放射性核種の原子数

$\phi$  : 照射粒子の数 (フルエンス数)

$\sigma$  : 放射化断面積 (反応の起こりやすさ)

$\lambda$  : 生成核種の崩壊定数

1秒間に生成する放射性核種の数  $= N_0 \phi \sigma$

1秒間に崩壊する放射性核種の数  $= \lambda N$

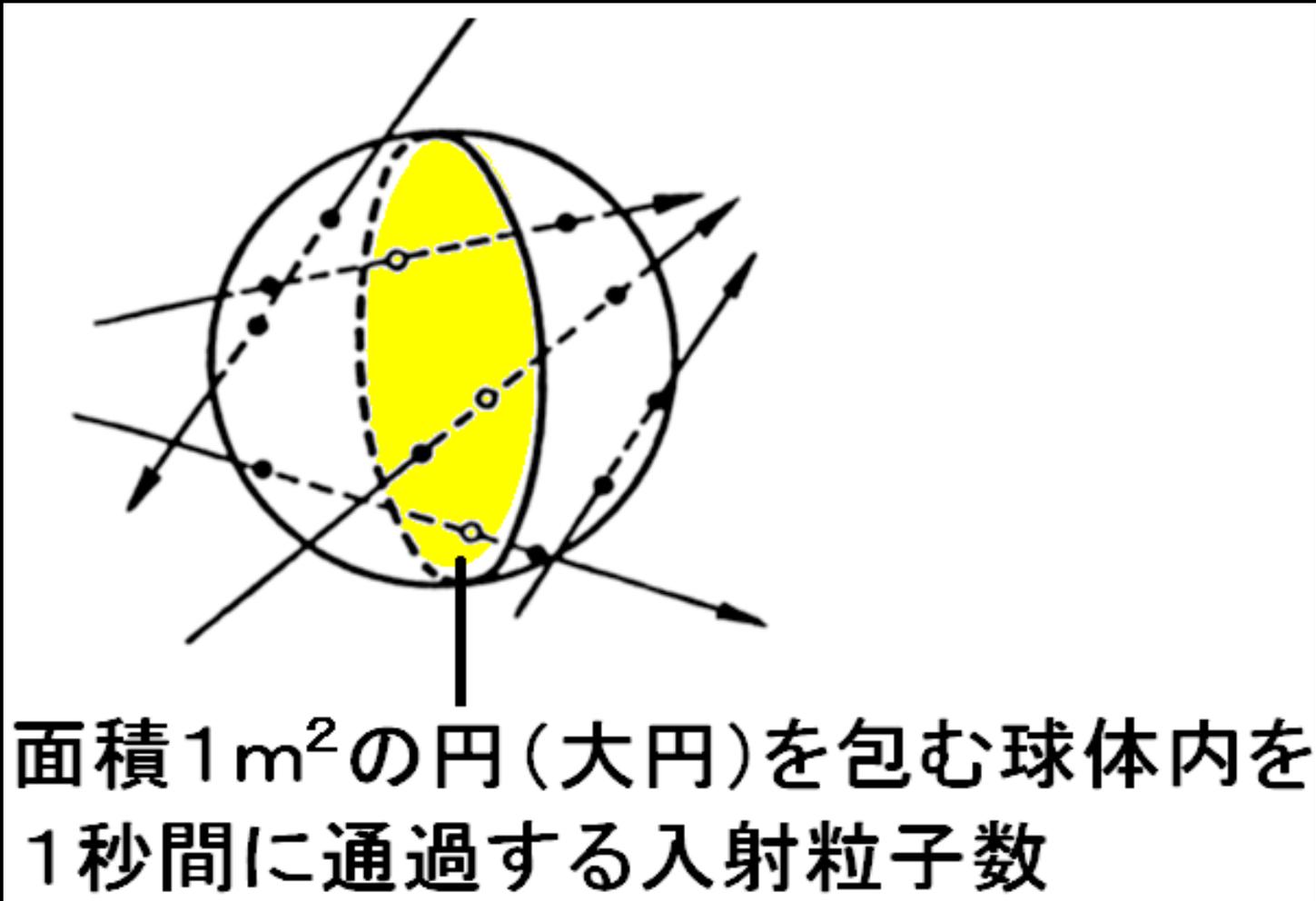
1秒間に増加する放射性核種の数

$$= dN / dt = N_0 \phi \sigma - \lambda N$$

$\phi$  : 照射粒子の数、流束量 (フルエンス数)

大円の面積  $da$  の球に入射する粒子数を  $dN$  とすると、

$$\phi = dN / da$$



$$dN / dt = N_0 \phi \sigma - \lambda N$$

の式を積分すると (  $t = 0$  のとき  $N = 0$  とする )

$$N = N_0 \phi \sigma / \lambda ( 1 - e^{-\lambda t} )$$

定数係数1階線形微分方程式の公式を使う。

$dy / dx + a y = F(x)$  の解は、

$$y = e^{-ax} ( \int e^{ax} F(x) dx + C )$$

$y$  に  $N$ 、 $x$  に  $t$ 、 $a$  に  $\lambda$  を代入し、

$F(x)$  を  $N_0 \phi \sigma$  とすると、

$dy / dx + a y = F(x)$  は、

$$dN / dt + \lambda N = N_0 \phi \sigma$$

$y = e^{-at} ( \int e^{at} F(x) dt + C )$  は、

$$N = e^{-\lambda t} \int e^{\lambda t} N_0 \phi \sigma dt$$

$$= e^{-\lambda t} N_0 \phi \sigma \int e^{\lambda t} dt$$

$$= e^{-\lambda t} N_0 \phi \sigma [ e^{\lambda t} / \lambda ]_0^t$$

$$= e^{-\lambda t} N_0 \phi \sigma / \lambda ( e^{\lambda t} - e^0 )$$

$$N = N_0 \phi \sigma / \lambda ( 1 - e^{-\lambda t} )$$

生成放射能  $A$

$$= \lambda N = N_0 \phi \sigma (1 - e^{-\lambda t})$$

$(1 - e^{-\lambda t})$  を飽和係数  $S$  とすると、  
照射時間  $t$  における生成放射能  $A$  は、

$$A = N_0 \phi \sigma S$$

$S$  に  $\lambda T = \log 2$  の式を代入すると、

照射時間  $t$  が 半減期  $T$  の場合、

$$S = 1 - e^{-\lambda T} = 1 - e^{-\log 2} = 1 - 1/2 = 1/2$$

照射時間  $t$  が 2半減期  $2T$  の場合、

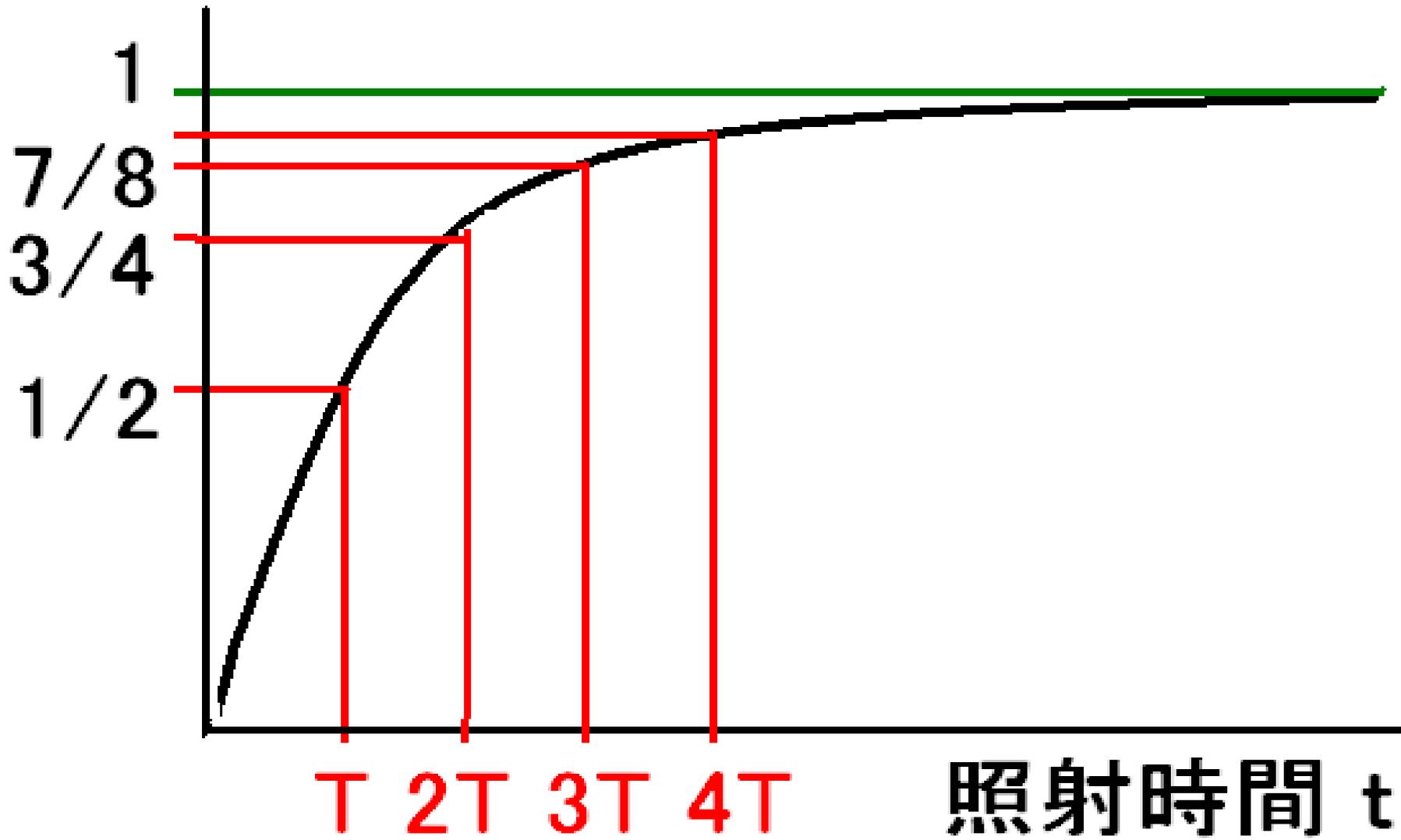
$$S = 1 - e^{-2\lambda T} = 1 - e^{-2\log 2} = 1 - 1/4 = 3/4$$

照射時間  $t$  が 3半減期  $3T$  の場合、

$$S = 1 - e^{-3\lambda T} = 1 - e^{-3\log 2} = 1 - 1/8 = 7/8$$

照射時間  $t$  が 4半減期 ( $4T$ ) の場合  $S \doteq 0.94$  で、ほぼ飽和状態

飽和係数  $S = 1 - e^{-\lambda t}$



# 放射性核種分離法

生成した放射性核種は不純物を含む。

放射性核種分離、精製の方法は数種類あり、それぞれの特徴を理解する。

1. 共沈法

2. 溶媒抽出法

3. イオン交換法

4. クロマトグラフィ

5. 昇華・蒸留法

6. 電気化学的分離法

7. ラジオコロイド

8. 無担体分離

### 3. イオン交換法 ion exchange process

イオン交換樹脂を用いて RIを分離精製する方法。

#### [イオン交換]

イオン交換樹脂に分離したい溶質を含む溶液を接触させ、樹脂中と溶液中の同符号のイオンが交換され平衡状態に至る現象をイオン交換という。

イオン交換を行う樹脂中の固体をイオン交換体という。

# 陽イオン交換樹脂

H<sup>+</sup> を交換基とした陽イオン交換体 R-H<sup>+</sup> と、  
交換したい陽イオンB<sup>+</sup>を含む溶液との交換反応



溶液と樹脂の交換平衡定数 K は、

$$K = ([B^+]_R [H^+]_S) / ([B^+]_S [H^+]_R)$$

Rは、樹脂 (Resin) でのイオン濃度

Sは、溶液 (Solution) でのイオン濃度

イオン交換する $B^+$ の量が微量で、  
交換樹脂のイオン量 $H^+$ が大きい場合、  
溶液と樹脂の交換平衡定数  $K$  は、

$$K = ([B^+]_R [H^+]_S) / ([B^+]_S [H^+]_R)$$

$$\doteq K_d (\text{分布係数}) = [B^+]_R / [B^+]_S$$

$$([H^+]_S \doteq [H^+]_R)$$

$K, K_d$  が大きいほど、イオンの樹脂に対する選択性  
が大きく、分離効果が高い。

# 陰イオン交換樹脂

OH<sup>-</sup> を交換基とした陰イオン交換体 R-OH<sup>-</sup>と、  
交換したい陰イオンB<sup>-</sup> を含む溶液との交換反応



溶液と樹脂の交換平衡定数 K は、

$$K = ([B^-]_R [OH^-]_s) / ([B^-]_s [OH^-]_R)$$

$$\doteq K_d (\text{分布係数}) = [B^-]_R / [B^-]_s$$

$$( [OH^-]_s \doteq [OH^-]_R )$$

## よく使用される 酸性 陽イオン交換基

スルフォ基  $-\text{SO}_3^-$  ( $-\text{SO}_3\text{H}$ )

カルボキシル基  $-\text{COO}^-$  ( $-\text{COOH}$ )

## よく使用される 塩基性 陰イオン交換基

第四級アンモニウム基  $-(\text{NR}_3)$  (強塩基性)

アミノ基  $-(\text{NH}_2\text{R})$  (弱塩基性)

イミノ基  $-(\text{NHR}_2)$  (弱塩基性)

## 6. 電気化学的方法

electro-chemical method

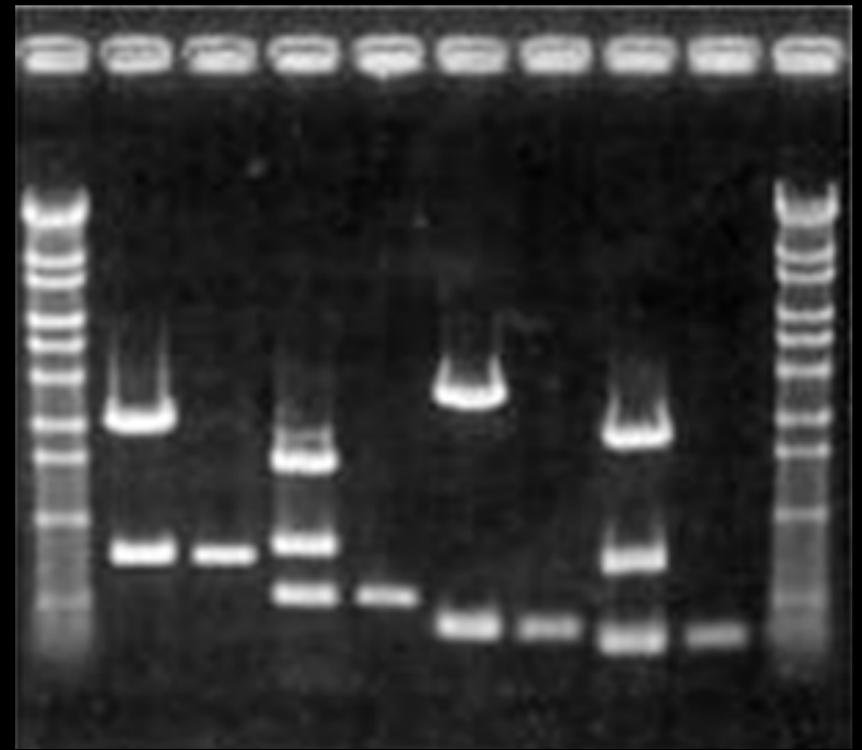
金属のイオン化傾向を利用して電気化学的にRI の分離を行う方法。

### 電気化学的分離法

金属 RI を含む液体試料に、イオン化傾向の大きい金属板を入れると、その表面に液体中の金属 RI が析出し分離される。

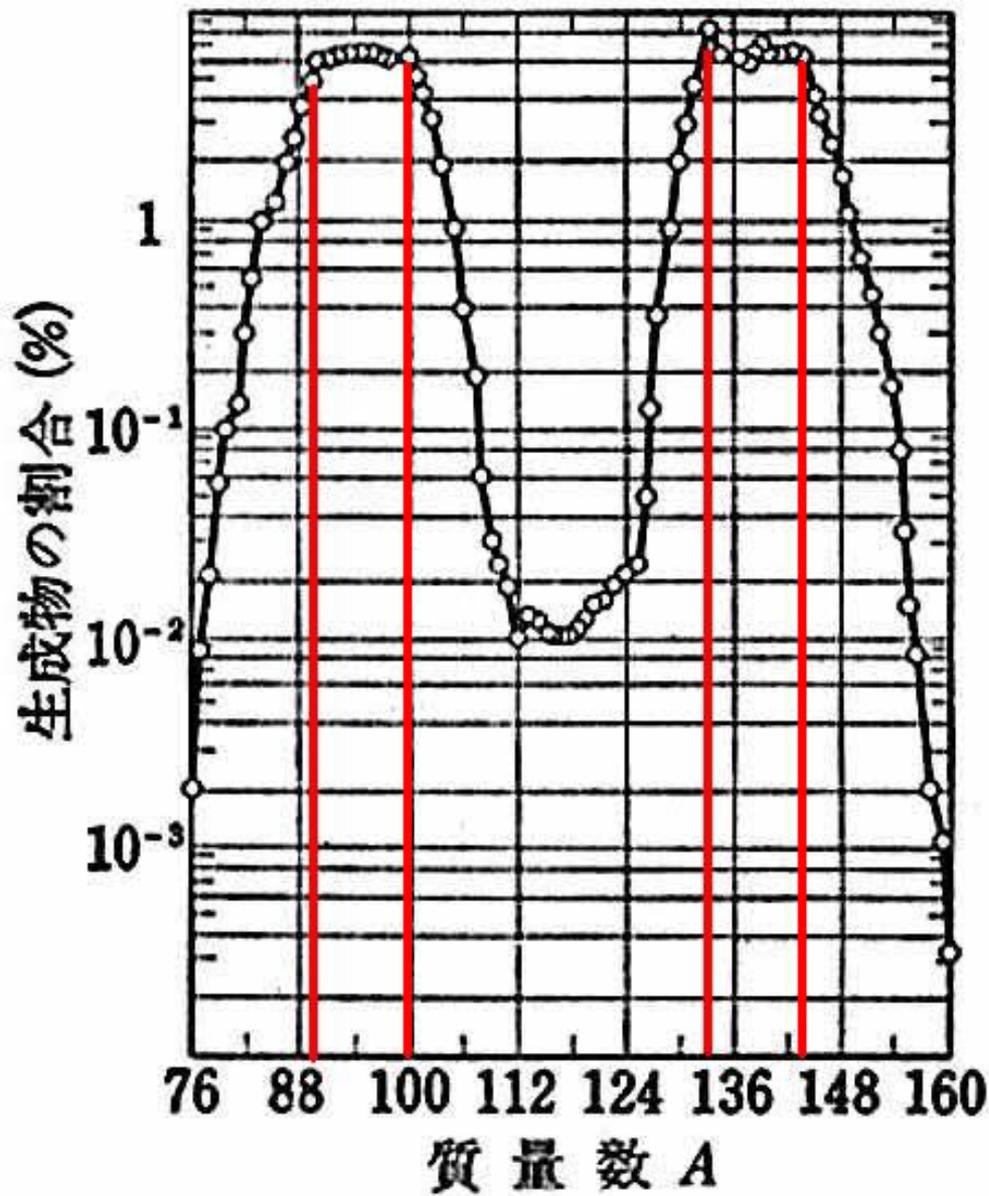
# 電気泳動法 electro-phoresis

電気化学的分離法の一つ。電荷量の異なる分子やイオンを分離する方法。電解質溶液に浸した濾紙に試料を置き、濾紙に電圧を加えて移動速度の差を利用して分離する。



原子炉生成核種はどれか。2つ選べ。

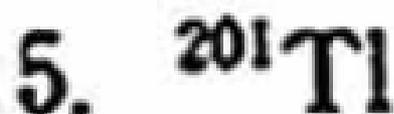
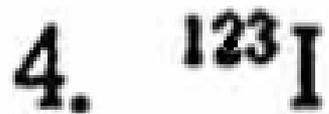
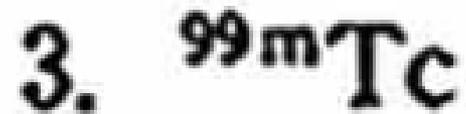




$^{235}\text{U}$  の分裂生成物の分布

原子炉内で  
 $^{235}\text{U}$  に熱中性子  
(エネルギーの小さい  
中性子)をあてると、  
質量数が  
90~100 と  
130~140 の  
元素に核分裂しやすく、  
約200MeVの  
エネルギーを放出する。

ジェネレータで抽出されるのはどれか。  
2つ選べ。



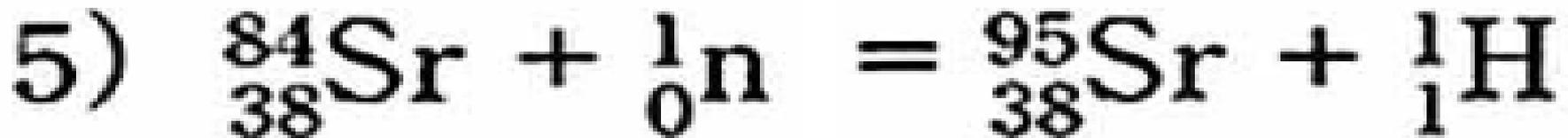
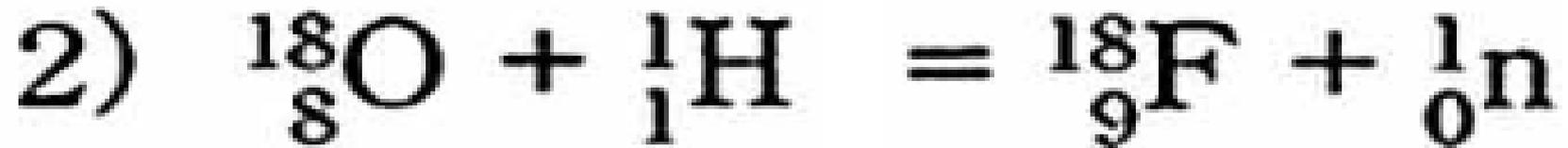
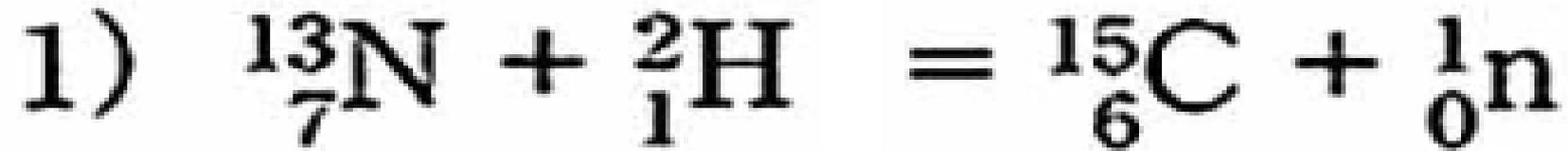
$^{67}\text{Ga}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$  は、サイクロトロン生成核種である。

## サイクロトロン生成核種の放射化反応式

正しいのはどれか。 2つ選べ。



左辺と右辺の陽子数、質量数の和が等しい放射化反応式が正解。



$^{18}\text{F}$  110 min

$^{15}\text{O}$  2.04 min

$^{11}\text{C}$  20.4 min

$^{13}\text{N}$  9.97 min

$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})\ ^{18}\text{F}$

$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})\ ^{15}\text{O}$ ,  $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})\ ^{15}\text{O}$

$^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)\ ^{11}\text{C}$

$^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})\ ^{13}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)\ ^{13}\text{N}$



北大病院内の  
サイクロトン

巨大な電磁石

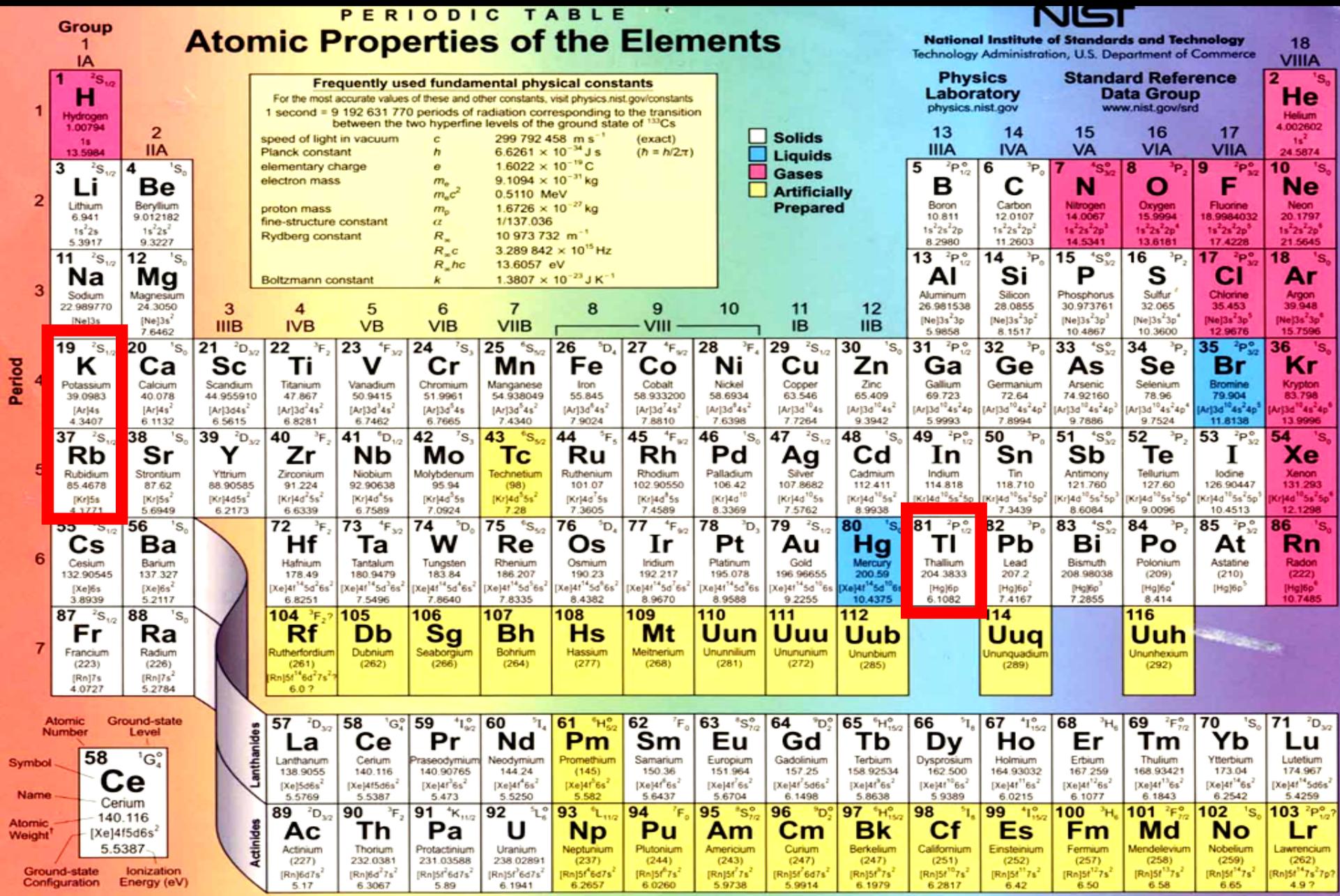
水素または重水素  
原子核を加速して  
元素に衝突させ、

陽電子を出す  
RI を作っている。

一般的に、 $^{15}\text{O}$ などの短半減期のPET用の陽電子放出核種はサイクロトロンを備えたPET施設でなければ実施できないが、

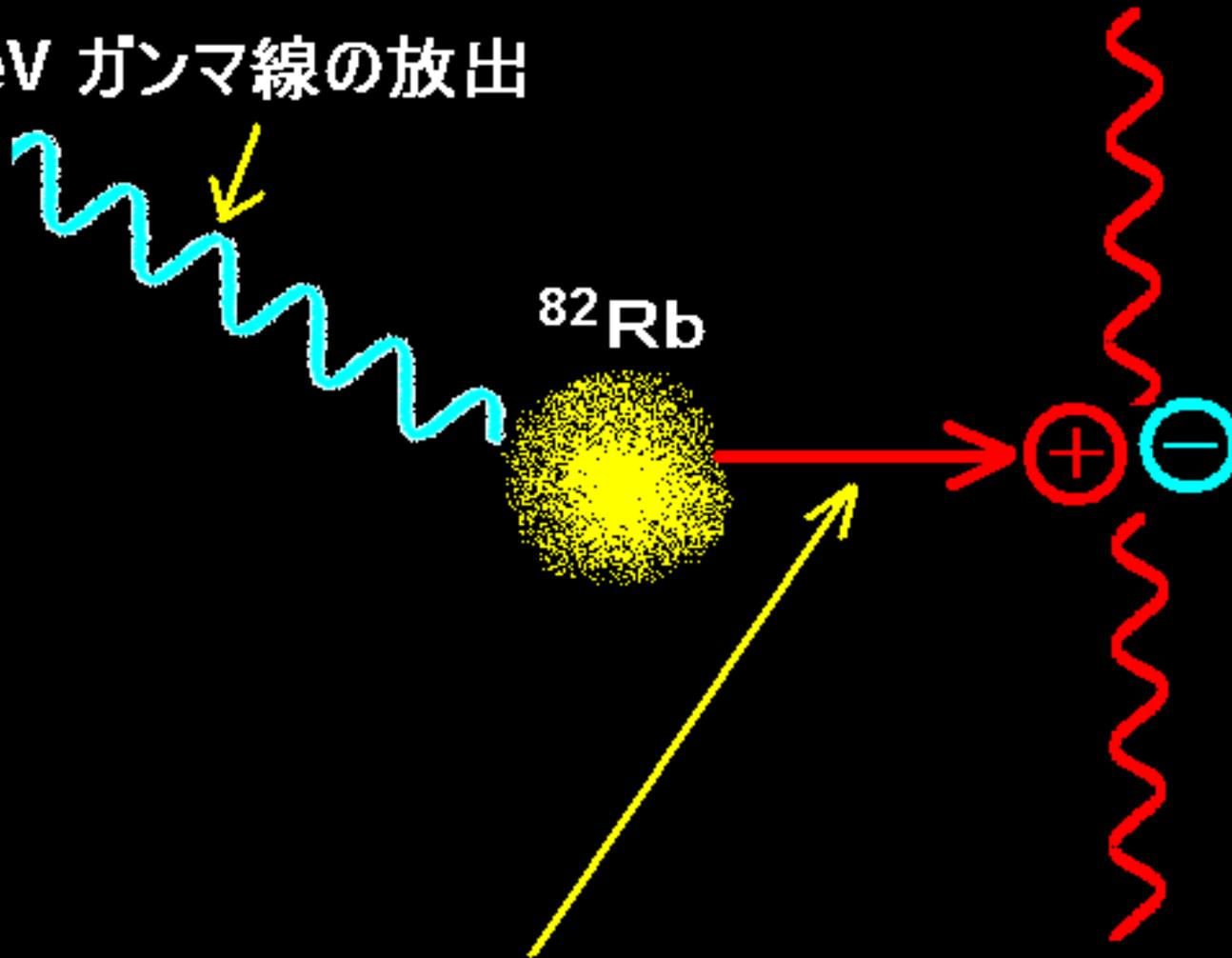
$^{82}\text{Rb}$  (Rubidium) は、半減期25日の $^{82}\text{Sr}$ が壊変して発生する半減期75秒の陽電子放出核種。 $^{82}\text{Sr}$  -  $^{82}\text{Rb}$ ジェネレータを購入すれば、サイクロトロンは不要。心筋PETに用いる。

# 82Rbは、Kや201Tlと同等の体内動態を示す元素。



$^{82}\text{Rb}$  PET は画質が悪い。 画像解析に工夫が必要。

777keV ガンマ線の放出



強い $\beta^+$ 線エネルギー 3.4MeV

$^{15}\text{O}$ は1.7MeV

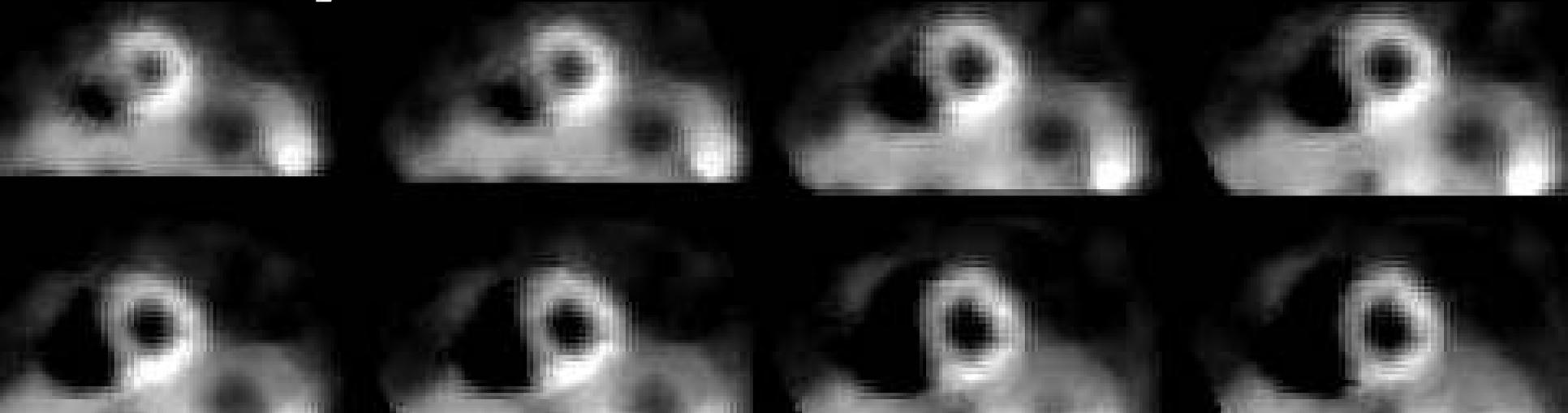
$^{18}\text{F}$ は0.63MeV

長い $\beta^+$ 線飛程 14.1mm(最大値)

$^{15}\text{O}$ は7.3mm

$^{18}\text{F}$ は2.4mm

**$^{82}\text{Rb}$  myocardial PET      short axial 4 ~ 6 min**



Published online: 14 April 2012

Journal of Nuclear Cardiology

## ORIGINAL ARTICLE

# Quantification of regional myocardial blood flow estimation with three-dimensional dynamic rubidium-82 PET and modified spillover correction model

Chietsugu Katoh, MD, PhD,<sup>a</sup> Keiichiro Yoshinaga, MD, PhD, FACC,<sup>b</sup> Ran Klein, PhD,<sup>c,d</sup> Katsuhiko Kasai, BSc,<sup>a</sup> Yuuki Tomiyama, BSc,<sup>a</sup> Osamu Manabe, MD, PhD,<sup>c</sup> Masanao Naya, MD, PhD,<sup>e</sup> Mamoru Sakakibara, MD, PhD,<sup>e</sup> Hiroyuki Tsutsui, MD, PhD,<sup>e</sup> Robert A. deKemp, PhD,<sup>d</sup> and Nagara Tamaki, MD,

正しいのはどれか。 2つ選べ。

1.  $^{109}\text{Pd}$  ————— 鉛

2.  $^{140}\text{La}$  ————— ランタン

3.  $^{144}\text{Ce}$  ————— セシウム

4.  $^{226}\text{Ra}$  ————— ラドン

5.  $^{239}\text{Pu}$  ————— プルトニウム

19 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>K</b> Potassium 39.0983 [Ar]4s 4.3407	20 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Ca</b> Calcium 40.078 [Ar]4s <sup>2</sup> 6.1132	21 <sup>3</sup> D <sub>3/2</sub> <b>Sc</b> Scandium 44.955910 [Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> 6.5615	22 <sup>2</sup> F <sub>2</sub> <b>Ti</b> Titanium 47.867 [Ar]3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> 6.2821	23 <sup>3</sup> F <sub>2</sub> <b>V</b> Vanadium 50.9415 [Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> 6.7462	24 <sup>3</sup> S <sub>3</sub> <b>Cr</b> Chromium 51.9961 [Ar]3d <sup>5</sup> 4s 6.7665	25 <sup>5</sup> S <sub>2</sub> <b>Mn</b> Manganese 54.938049 [Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> 7.4340	26 <sup>4</sup> S <sub>2</sub> <b>Fe</b> Iron 55.845 [Ar]3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 7.9024	27 <sup>4</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Co</b> Cobalt 58.933200 [Ar]3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> 7.8810	28 <sup>3</sup> F <sub>4</sub> <b>Ni</b> Nickel 58.6934 [Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> 7.6398	29 <sup>3</sup> F <sub>4</sub> <b>Cu</b> Copper 63.546 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s 7.7264	30 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Zn</b> Zinc 65.409 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 9.3942	31 <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <b>Ga</b> Gallium 69.723 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p 5.9993	32 <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <b>Ge</b> Germanium 72.64 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup> 7.8994	33 <sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> <b>As</b> Arsenic 74.92160 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup> 9.7886	34 <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <b>Se</b> Selenium 78.96 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup> 9.7524	35 <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <b>Br</b> Bromine 79.904 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup> 11.8138	36 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Kr</b> Krypton 83.798 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 13.9996	
37 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Rb</b> Rubidium 85.4678 [Kr]5s 2.4830	38 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Sr</b> Strontium 87.62 [Kr]5s <sup>2</sup> 5.6949	39 <sup>2</sup> D <sub>3/2</sub> <b>Y</b> Yttrium 88.90585 [Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> 6.2173	40 <sup>2</sup> F <sub>2</sub> <b>Zr</b> Zirconium 91.224 [Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> 6.6339	41 <sup>3</sup> D <sub>5/2</sub> <b>Nb</b> Niobium 92.90638 [Kr]4d <sup>4</sup> 5s 6.7589	42 <sup>2</sup> S <sub>3</sub> <b>Mo</b> Molybdenum 95.94 [Kr]4d <sup>5</sup> 5s 7.0924	43 <sup>5</sup> S <sub>2</sub> <b>Tc</b> Technetium (98) [Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> 7.28	44 <sup>5</sup> F <sub>5</sub> <b>Ru</b> Ruthenium 101.07 [Kr]4d <sup>7</sup> 5s 7.3605	45 <sup>4</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Rh</b> Rhodium 102.90550 [Kr]4d <sup>8</sup> 5s 7.4589	46 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Pd</b> Palladium 106.42 [Kr]4d <sup>10</sup> 8.3369	47 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Ag</b> Silver 107.8682 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s 7.5762	48 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Cd</b> Cadmium 112.411 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 8.9938	49 <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <b>In</b> Indium 114.818 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p 5.7864	50 <sup>3</sup> P <sub>0</sub> <b>Sn</b> Tin 118.710 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup> 7.3439	51 <sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> <b>Sb</b> Antimony 121.760 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup> 8.6084	52 <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <b>Te</b> Tellurium 127.60 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup> 9.0096	53 <sup>2</sup> P <sub>0</sub> <b>I</b> Iodine 126.90447 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup> 10.4513	54 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Xe</b> Xenon 131.293 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 13.4398	
55 <sup>1</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Cs</b> Cesium 132.90545 [Xe]6s 2.4030	56 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Ba</b> Barium 137.327 [Xe]6s <sup>2</sup> 5.2117		72 <sup>2</sup> F <sub>2</sub> <b>Hf</b> Hafnium 178.49 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 6.8251	73 <sup>3</sup> F <sub>3/2</sub> <b>Ta</b> Tantalum 180.9479 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 7.5496	74 <sup>3</sup> D <sub>0</sub> <b>W</b> Tungsten 183.84 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 7.8640	75 <sup>5</sup> S <sub>2</sub> <b>Re</b> Rhenium 186.207 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 7.8335	76 <sup>3</sup> D <sub>4</sub> <b>Os</b> Osmium 190.23 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 8.4382	77 <sup>4</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Ir</b> Iridium 192.217 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 8.9670	78 <sup>2</sup> D <sub>3</sub> <b>Pt</b> Platinum 195.078 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s 8.9588	79 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Au</b> Gold 196.96655 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s 9.2255	80 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Hg</b> Mercury 200.59 10.4375	81 <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <b>Tl</b> Thallium 204.3833 [Hg]6p 6.1082	82 <sup>2</sup> P <sub>0</sub> <b>Pb</b> Lead 207.2 7.4167	83 <sup>3</sup> S <sub>3/2</sub> <b>Bi</b> Bismuth 208.98038 [Hg]6p <sup>3</sup> 7.2855	84 <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <b>Po</b> Polonium (209) [Hg]6p <sup>4</sup> 8.414	85 <sup>2</sup> P <sub>0</sub> <b>At</b> Astatine (210) [Hg]6p <sup>5</sup>	86 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Rn</b> Radon (222) [Hg]6p <sup>6</sup> 10.7485	
87 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Fr</b> Francium (223) [Rn]7s 4.0727	88 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Ra</b> Radium (226) [Rn]7s <sup>2</sup> 5.2784		104 <sup>2</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Rf</b> Rutherfordium (261) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0?	105 <sup>3</sup> F <sub>5/2</sub> <b>Db</b> Dubnium (262)	106 <sup>3</sup> D <sub>0</sub> <b>Sg</b> Seaborgium (266)	107 <sup>5</sup> S <sub>2</sub> <b>Bh</b> Bohrium (264)	108 <sup>3</sup> D <sub>4</sub> <b>Hs</b> Hassium (277)	109 <sup>4</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Mt</b> Meitnerium (268)	110 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Uun</b> Ununnilium (281)	111 <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> <b>Uuu</b> Unununium (272)	112 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Uub</b> Ununbium (285)		114 <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <b>Uuq</b> Ununquadium (289)			116 <sup>3</sup> P <sub>2</sub> <b>Uuh</b> Ununhexium (292)		
		Lanthanides	57 <sup>2</sup> D <sub>3/2</sub> <b>La</b> Lanthanum 138.9055 [Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5769	58 <sup>3</sup> G <sub>4</sub> <b>Ce</b> Cerium 140.116 [Xe]4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5767	59 <sup>4</sup> I <sub>9/2</sub> <b>Pr</b> Praseodymium 140.90765 [Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 5.473	60 <sup>3</sup> I <sub>4</sub> <b>Nd</b> Neodymium 144.24 [Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5250	61 <sup>5</sup> H <sub>9/2</sub> <b>Pm</b> Promethium (145) [Xe]4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 5.582	62 <sup>2</sup> F <sub>0</sub> <b>Sm</b> Samarium 150.36 [Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 5.6437	63 <sup>5</sup> S <sub>7/2</sub> <b>Eu</b> Europium 151.964 [Xe]4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 5.6704	64 <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <b>Gd</b> Gadolinium 157.25 [Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1498	65 <sup>5</sup> H <sub>15/2</sub> <b>Tb</b> Terbium 158.92534 [Xe]4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> 5.8638	66 <sup>3</sup> I <sub>8</sub> <b>Dy</b> Dysprosium 162.500 [Xe]4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 5.9389	67 <sup>4</sup> I <sub>13/2</sub> <b>Ho</b> Holmium 164.93032 [Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> 6.0215	68 <sup>3</sup> H <sub>6</sub> <b>Er</b> Erbium 167.259 [Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1077	69 <sup>2</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Tm</b> Thulium 168.93421 [Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1843	70 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>Yb</b> Ytterbium 173.04 [Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> 6.2542	71 <sup>2</sup> D <sub>3/2</sub> <b>Lu</b> Lutetium 174.967 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.4259	
		Actinides	89 <sup>2</sup> D <sub>3/2</sub> <b>Ac</b> Actinium (227) [Rn]6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 5.17	90 <sup>3</sup> F <sub>2</sub> <b>Th</b> Thorium 232.0381 [Rn]6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 6.3067	91 <sup>4</sup> K <sub>11/2</sub> <b>Pa</b> Protactinium 231.03588 [Rn]5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 5.89	92 <sup>3</sup> L <sub>4</sub> <b>U</b> Uranium 238.02891 [Rn]5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 6.1941	93 <sup>5</sup> L <sub>11/2</sub> <b>Np</b> Neptunium (237) [Rn]5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 6.2657	94 <sup>2</sup> F <sub>0</sub> <b>Pu</b> Plutonium (244) [Rn]5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0260	95 <sup>5</sup> S <sub>7/2</sub> <b>Am</b> Americium (243) [Rn]5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> 5.9738	96 <sup>3</sup> D <sub>2</sub> <b>Cm</b> Curium (247) [Rn]5f <sup>8</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 5.9914	97 <sup>5</sup> H <sub>15/2</sub> <b>Bk</b> Berkelium (247) [Rn]5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup> 6.1979	98 <sup>3</sup> I <sub>8</sub> <b>Cf</b> Californium (251) [Rn]5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 6.2817	99 <sup>4</sup> I <sub>13/2</sub> <b>Es</b> Einsteinium (252) [Rn]5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> 6.42	100 <sup>3</sup> H <sub>6</sub> <b>Fm</b> Fermium (257) [Rn]5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> 6.50	101 <sup>2</sup> F <sub>7/2</sub> <b>Md</b> Mendelevium (258) [Rn]5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> 6.58	102 <sup>1</sup> S <sub>0</sub> <b>No</b> Nobelium (259) [Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> 6.65	103 <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <b>Lr</b> Lawrencium (262) [Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup> 4.9?	

Cs セシウム      Ce セリウム  
 Pd パラジウム      Pb 鉛  
 Ra ラジウム      Rn ラドン

物理学的半減期が6時間の放射性医薬品の有効半減期が2.4時間であった。

生物学的半減期[時間]はどれか。

- |        |        |
|--------|--------|
| 1. 2   | 4. 4.8 |
| 2. 3.2 | 5. 6   |
| 3. 4   |        |

**物理的半減期  $T_p$  physical half life**

核種の放射能が物理的に半減する時間。

**生物的半減期  $T_b$  biological half life**

生物が摂取した核種が、代謝されて半分量が排泄される時間。

**有効(実効)半減期  $T_{eff}$  effective half life**

生物が摂取した核種の放射性が半減する時間。

$$1 / T_{eff} = 1 / T_p + 1 / T_b$$

$$1 / T_{\text{eff}} = 1 / T_p + 1 / T_b$$

$$1 / 2.4 = 1 / 6 + 1 / T_b$$

$$10 / 24 = 4 / 24 + 1 / T_b$$

$$6 / 24 = 1 / T_b$$

$$T_b = 4$$

**物理的崩壊定数  $\lambda_p$  physical decay constant**

核種が1秒間で物理的に崩壊する割合。

**生物的崩壊定数  $\lambda_b$  biological decay constant**

生物が摂取した核種が1秒間で排泄される割合。

**有効崩壊定数  $\lambda_{\text{eff}}$  effective decay constant**

生物が摂取した核種が1秒間で減衰する割合。

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_p + \lambda_b$$

$$\lambda_{\text{eff}} \cdot T_{\text{eff}} = \log 2$$

低エネルギーβ線核種がよい。制動X線等の画像を不鮮明にする放射線が出ない。

オートラジオグラムで最も高い解像度が得られるのはどれか。

1.  $^3\text{H}$

2.  $^{14}\text{C}$

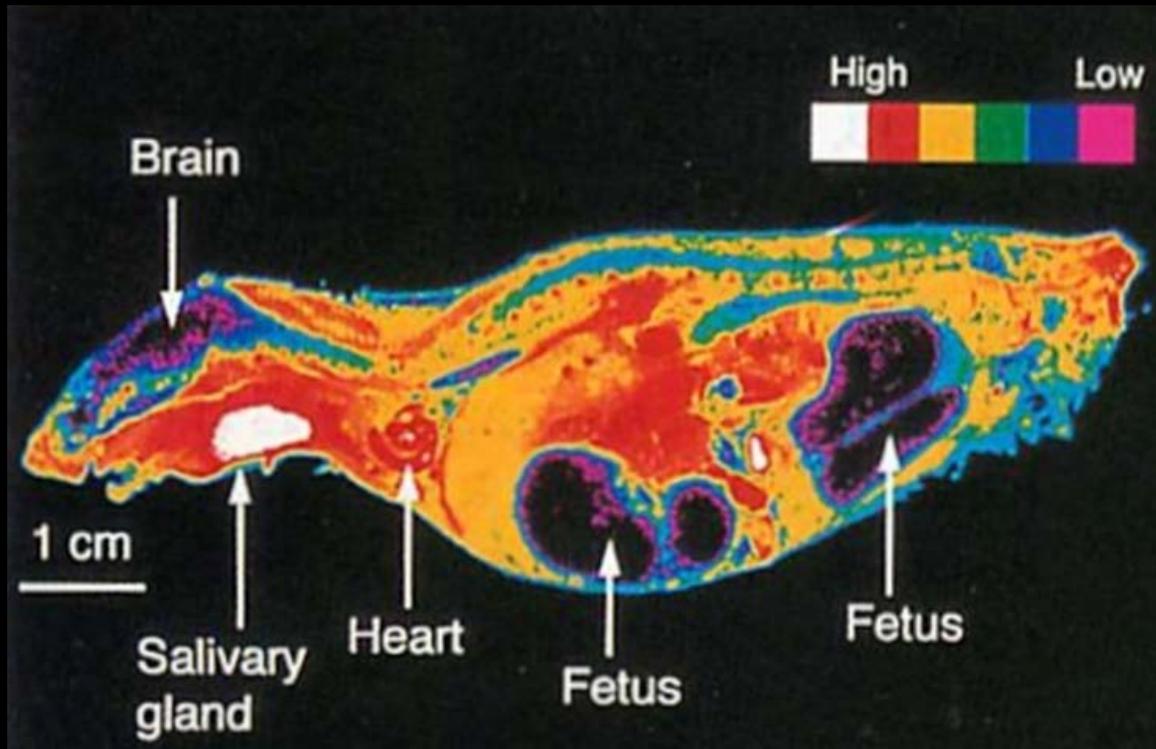
3.  $^{32}\text{P}$

4.  $^{35}\text{S}$

5.  $^{59}\text{Fe}$

# オートラジオグラフィ Autoradiography

低エネルギーβ線放出RIを投与した生物を薄切してフィルムを感光させて撮像。エネルギーの低い $^3\text{H}$ が最も画質が良好。



$^{137}\text{Cs}$  を吸入したマウス

$^{14}\text{C}-\text{CO}_2$  を吸入したインゲン

代表的な動物実験用のβ線核種は、

$^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{35}\text{S}$

液体シンチレータ、オートラジオグラフィに用いる。

核種	放射線	エネルギー	半減期
1) $^3\text{H}$	$\beta^-$	0.018MeV	12.3Y
2) $^{14}\text{C}$	$\beta^-$	0.156MeV	5730Y
3) $^{32}\text{P}$	$\beta^-$	1.711MeV	14.3d
4) $^{35}\text{S}$	$\beta^-$	0.168MeV	87.4d
5) $^{59}\text{Fe}$	$\beta^-$	0.270MeV	44.6d