

4) X線の発生

X線管球：電子を高電圧で加速しターゲット（タングステン等）に衝突させX線を発生

電子の相互作用：制動放射（Bremstrahlung）、制動X線

2. 放射線の性質

1) 放射線の分類

・直接電離放射線

重荷電粒子： α 線、陽子線（p）、重陽子線（d）等

電子： β 線、電子線

・間接電離放射線

中性子：中性子線

電磁波：X線、 γ 線

2) 重荷電粒子

電離作用、励起作用、核反応

相互作用後直進

Bragg 曲線（電離能-飛程との関係）

飛程 α 線（ \sim MeV）：空気中 \sim cm

水中 $\sim \mu$ m

3) 電子

電離作用、励起作用：吸収損失 ϵ_a

制動放射（制動X線）：放射損失 ϵ_r

$$\epsilon_r / \epsilon_a \doteq E \cdot Z / 800 \quad \dots \dots \dots (5)$$

相互作用後方向が変わる：ジグザグ運動、後方散乱

最大飛程 β 線（ \sim 1 MeV）：空気中 \sim m

水中 \sim mm

4) 電磁波

光電効果：全エネルギー吸収、2次電子（ e^- ）の発生

Compton 効果：一部エネルギー吸収、散乱線と反跳電子（ e^- ）の発生

電子対生成：電子（ e^- ）・陽電子（ e^+ ）の発生

これらの作用により発生する2次電子、反跳電子、電子、陽電子が「3）電子」と同様の電離・励起及び制動放射を行う

透過力：大

5) 中性子

核反応：原子核との相互作用

(n, p) (n, d) (n, α) 反応

これらの反応により発生するp, d, α 線が「2）重荷電粒子」と同様の電離・励起、および核反応を行う

透過力：大

6) 放射線の透過力、減弱

(1) 物質による吸収散乱

・ α 線

飛程（ \sim MeV）：空気中 \sim cm、水中 $\sim \mu$ m

・ β 線

最大飛程（ \sim 1MeV）：空気中 \sim m、水中 \sim mm

・電子線

最大飛程（ \sim 10MeV）：水中 \sim 5 cm

・ γ 線

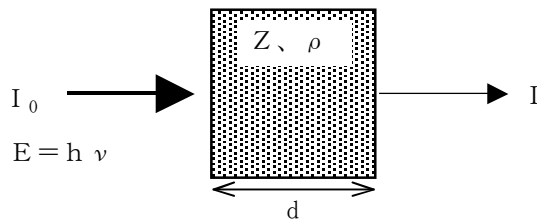
$$I = I_0 \exp(-\mu d) \quad \dots \dots \dots (6)$$

μ ：線減弱係数 $\mu = f(h\nu, Z, \rho)$

半価層 $X = \log_e 2 / \mu = 0.693 / \mu$ (7)

$I = I_0 (1/2)^{d/X}$ (8)

質量減弱係数 $\mu_m = \mu / \rho \doteq f(h\nu, Z)$



(2) 距離の逆2乗則

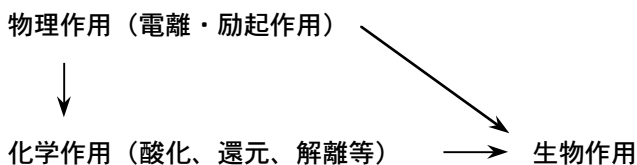
成立条件

- ・吸収・散乱が無視できる (X・γ線 空气中)
- ・線源が点状である

放射線の強度は線源からの距離 (d) の2乗に逆比例する

$I = I_0 / d^2$ (9)

7) 他の作用へ



3. 放射線に関する単位

1) 放射能

単位時間に崩壊する放射性核種の原子数

単位 Bq (Becquerel、ベクレル)、dps [旧単位 Ci (Curie)、キュリー]

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$ (10)

$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (11)

2) エネルギー

放射線のエネルギー eV (Electron volt、エレクトロンボルト)

$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ (12)

3) 照射線量

X線、γ線の空気に対する電離能

X線、γ線の空気中での強度 (量)

単位 C/kg クーロン毎キログラム [旧単位 R (Rontgen、レントゲン)]

$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ (13)

4) 吸収線量

放射線との相互作用により物質に吸収されるエネルギー

単位 Gy (Gray、グレイ)、J/kg [旧単位 rad、ラド]

$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$ (14)

5) 等価当量、実効線量

放射線防護に用いる量、人体の被曝線量を評価する量

単位 Sv (Sievert、シーベルト) [旧単位 rem、レム]

$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ (15)

ある臓器・組織 (T) の等価線量 H_T (Sv) は、臓器・組織 (T) での吸収線量 $D_{T,R}$ (Gy) と

放射線荷重係数 W_R を用いて

$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$ (16)

となる。

放射線の種類	放射線荷重係数 (W_R)
X・ γ 線、 β 線・電子線	1
陽子線	5
中性子線	5~20
α 線、重粒子、核分裂片	20

(ICRP1990年勧告より)

また、人体への確率的影響を評価する実効線量 E (Sv) は、組織荷重係数 W_T を用いて

$$E = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R} = \sum_T W_T \cdot H_T \quad \dots \dots \dots (17)$$

となる。

※ 組織荷重係数とは、全身が均等に照射された結果生じる影響の損害の総計に対するその組織・臓器の相対的割合である。

4. 放射線の測定

1) 気体の電離を利用した計測器

(1) 電離箱

電離気体：空気、アルゴンガス

測定機構：放射線によって発生したイオンを収集し電気量又は電流として測定

(利 用)

X線、 γ 線の照射線量の測定

X線、 γ 線、電子線等の吸収線量の測定

放射線施設管理、環境モニタリング

(2) GM計数管

電離気体：アルゴンガス、ヘリウムガス

測定機構：個々の放射線により発生したイオンをパルス計測

(利 用)

β 線の測定、放射能の測定

放射線施設管理、環境モニタリング

2) シンチレーションカウンタ

蛍光作用 (Scintillation) の利用

蛍光体 (Scintillator) : NaI (Tl)、CsI (Tl)、BGO、ZnWO₄、CdWO₄、
アントラセン、プラスチック、液体

測定機構

シンチレータに放射線が入射 → 瞬間的に蛍光を発する →

蛍光を光電子増倍管で電気パルスに変換、増幅利用 → 測定

(利 用)

放射線のエネルギー測定、放射能の測定

放射線施設管理、環境モニタリング

3) 熱蛍光線量計 (TLD, Thermoluminescent dosimeter)

熱蛍光作用の利用

熱蛍光素子：LiF、CaSO₄、BeO、Mg₂SiO₄、UgB₄O₇

サイズ Rod形：1~2 mm ϕ × 10 mm、Disk形：5 mm ϕ × 0.5 mm

測定機構：放射線の照射により結晶体が励起、エネルギーを蓄積

素子を一定の温度 (200~300°C) で加熱

吸収エネルギーに比例した蛍光を発する (熱蛍光)

蛍光を光電子増倍管で受けて定量

(利 用)

吸収線量、照射線量の測定

個人被曝線量の測定

4) OSL線量計 (Optically Stimulated Luminescence)

光刺激ルミネセンスの利用

ルミネセンス素子：酸化アルミニウム

測定機構：発光のメカニズムは、TLDと似ているが熱の代わりに光を使用
蓄積されたエネルギーを蛍光により測定

(利用)

個人被曝線量の測定

5) 蛍光ガラス線量計

ラジオフォトルミネセンス (RPL、Radio-photo-luminescence) の利用

ガラス素子：銀活性リン酸塩ガラス

測定機構：OSL線量計のように紫外線励起によりオレンジ色の蛍光を発光
蛍光量は吸収したエネルギー量に比例

(利用)

個人被曝線量、環境放射線量の測定

吸収線量、照射線量の測定

6) 半導体検出器

半導体中での電子・正孔対の発生の利用

半導体：Si、Ge、CdTe、CZT (CdZnTe)

測定機構：放射線により発生した電子・正孔対を電気パルスまたは電流として測定

(利用)

放射線のエネルギー、放射能、放射線量の測定

個人被曝線量の測定

7) 写真乳剤

写真作用（銀粒子 AgBr の還元）の利用

感光材料：X線フィルム（医療用、工業用）、原子核乾板

オートラジオグラフィ用乳剤・フィルム

(利用)

医療用X線写真、工業用X線写真（非破壊検査）

オートラジオグラフィ（ミクロ、マクロ）

放射線量測定（黒化度）

粒子線の飛跡の観察（核物理学）

個人被曝線量の測定（以前、フィルムバッジとして使用されていた）