

電子モンテカルロシミュレーション

相互作用

近似

輸送方法

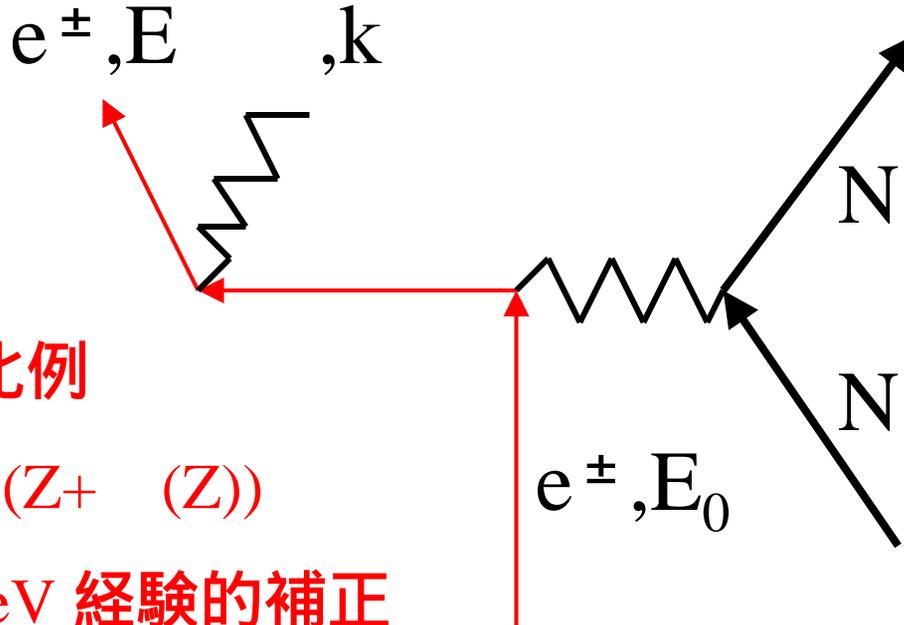
2003.4.14 改訂

重大な相互作用と軽微な相互作用

- 重大な相互作用 (大きな影響) : 個別サンプリング
 - モラー / バーバー 散乱 (2次粒子エネルギー $> AE$) $e^\pm e^- \rightarrow e^\pm e^-$
 - 制動輻射 (光子エネルギー $> AP$) $e^\pm N \rightarrow e^\pm \gamma N$
 - 飛行中および静止時の消滅 $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$
- 軽微な相互作用 (小さな影響) : まとめてサンプリング
 - モラー / バーバー 散乱 (2次粒子エネルギー $< AE$)
 - 制動輻射 (光子エネルギー $< AP$)
 - 原子励起
 - 多重クーロン散乱
 - しいいエネルギー (AE, AP): ユーザーが設定

重大な (Catastrophic) 相互作用

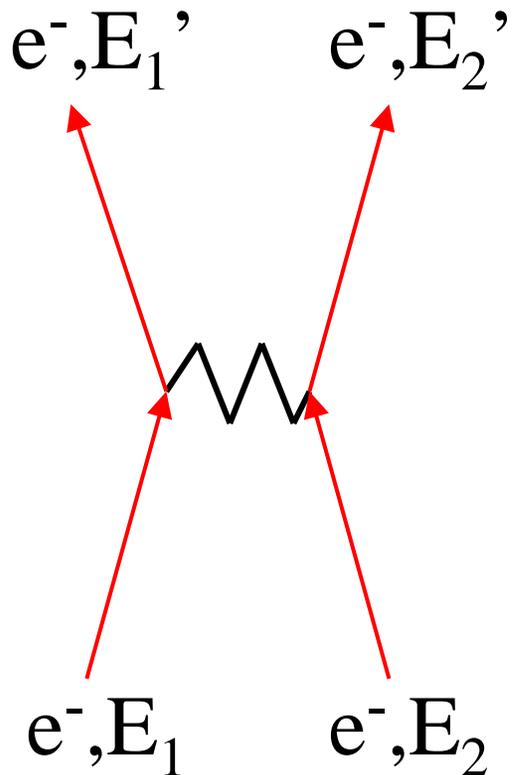
制動輻射



- Z^2 に比例
- $Z^2 = Z(Z+1)$
- $< 50 \text{ MeV}$ 経験的補正
- $> 50 \text{ MeV}$ ERL
- TF スクリーニング
- $1/E$ 発散
- e^-, e^+ 同一視

- ミグダル効果無視 $> 10 \text{ GeV}$
- e^\pm 方向不変
- $\theta = m_e/E_0$
- チップ 0

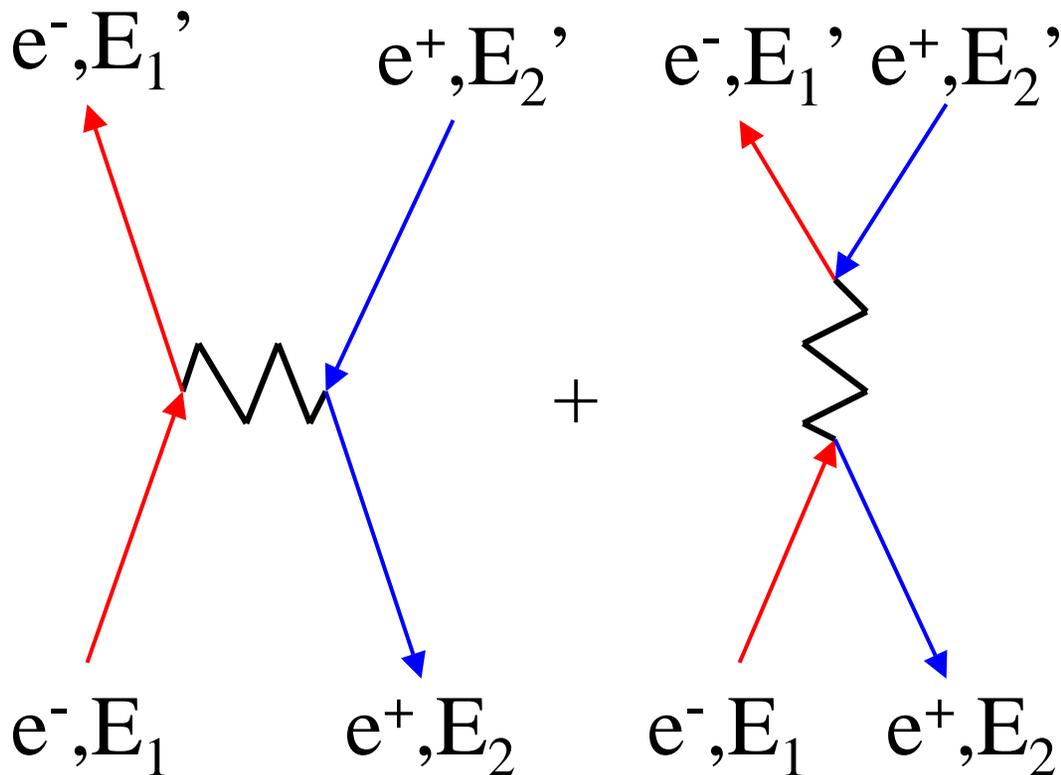
モラー散乱



同種粒子:

しきい: $2(AE-RM)$

バーバー散乱



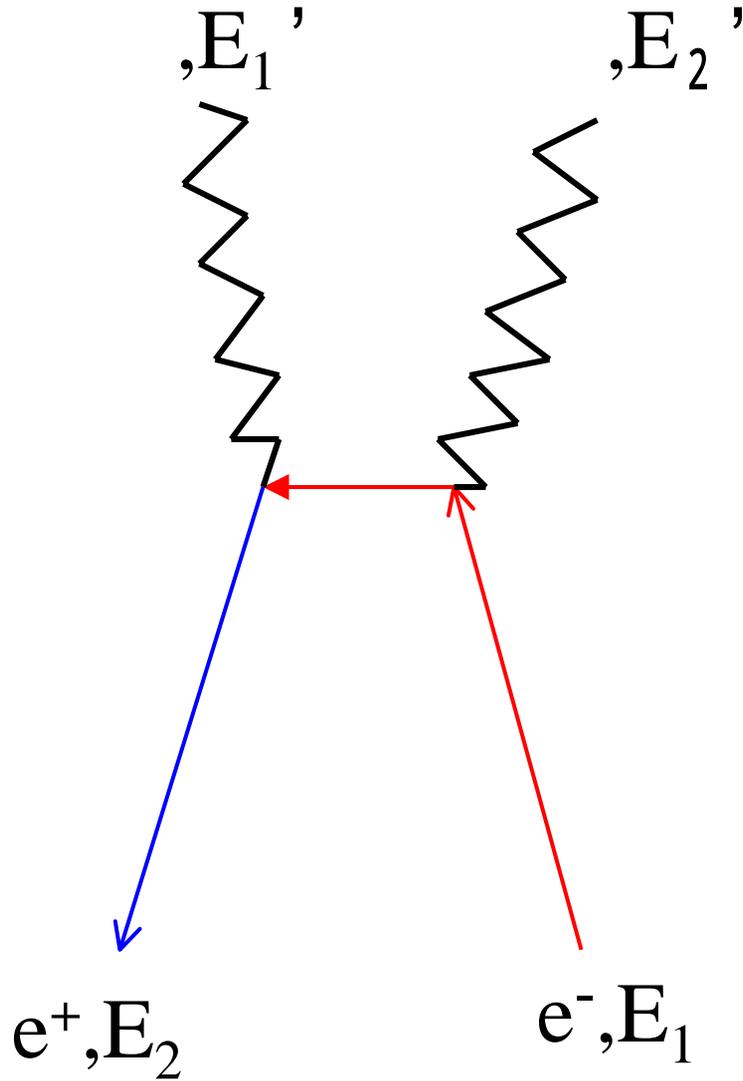
異種粒子: しきい: $AE-RM$

- $1 / v^2$

- Z に比例

- ターゲット e^- は自由

消滅



- 飛行中および静止時

- $e^+e^- \rightarrow n \quad (n>2)$ 無視

- $e^+e^- \rightarrow N^*$ 無視

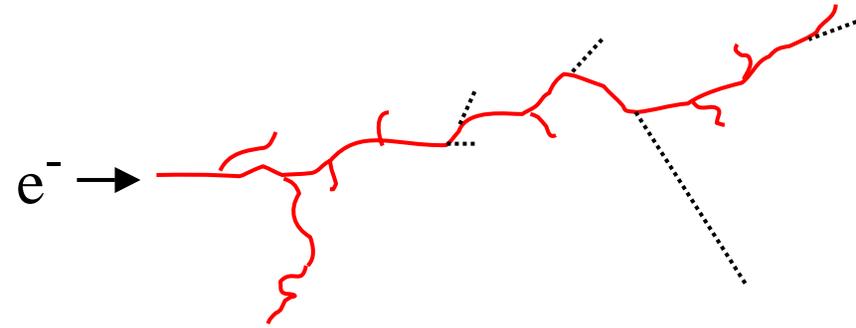
- ECUTで e^+ 消滅

残りの移動は無視

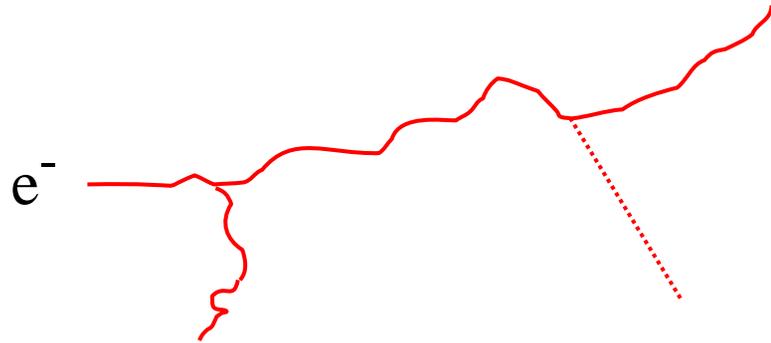
- 束縛無視

統計的にグループ化して扱う相互作用

凝縮近似(Condensed Random Walk)

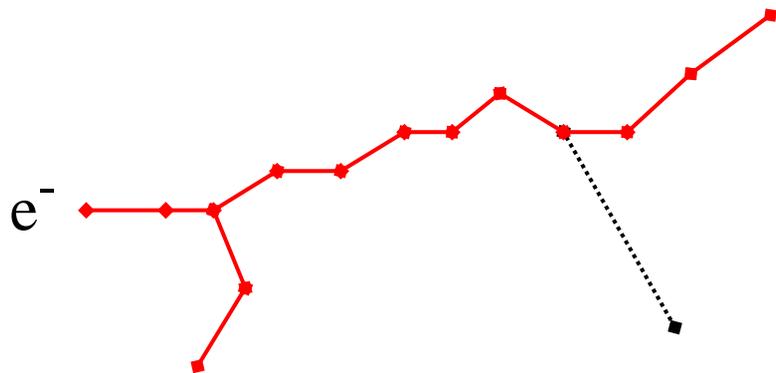


現実(?) MFP:nm単位



連続減速近似

線、制動輻射:
>しきいエネルギーのみ



多重散乱近似

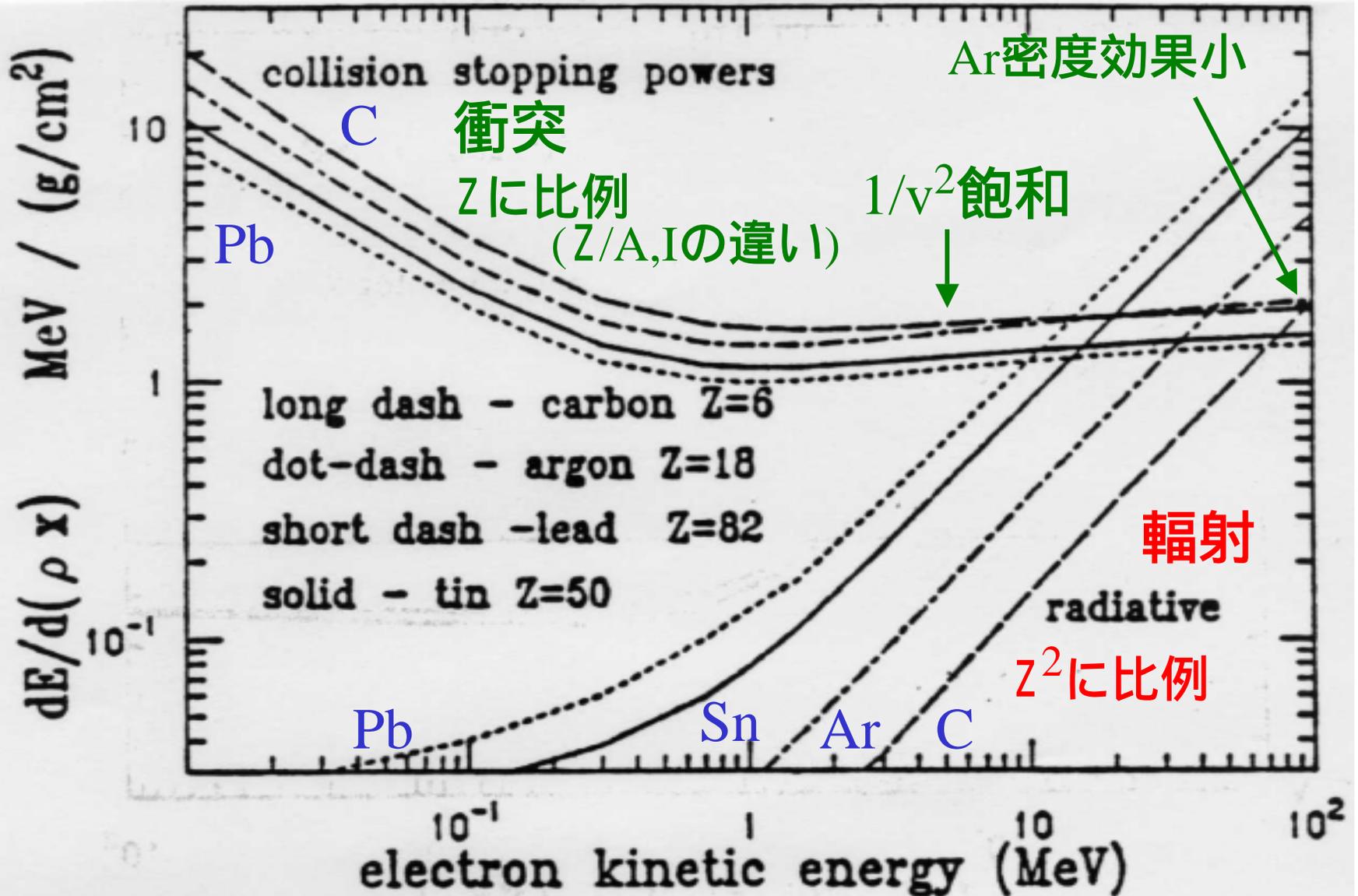
多重散乱角 $\theta_{ms}(E,Z,t)$

モリエール理論

「連続」エネルギー損失

1. **衝突**エネルギー損失 (e^\pm 区別)
 - K殻エネルギーの十分上
 - ベーテ・ブロッコ理論 + 密度効果
2. **放射**エネルギー損失 (e^\pm 同一視)
 - 制動輻射断面積の積分

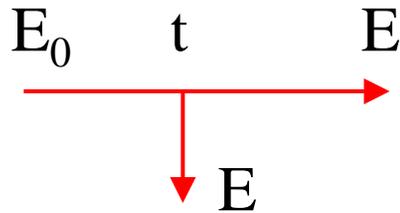
電子の阻止能 (非制限)



クラス とクラス

クラス

相関なしのエネルギー損失

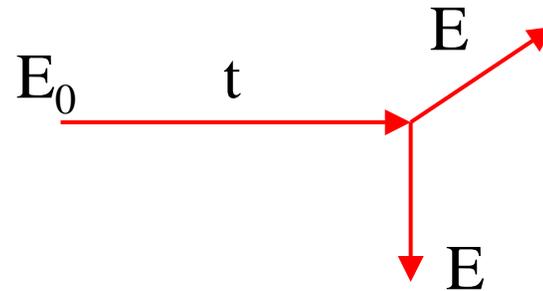


$$E = E_0 - E(t)$$

$$E_{\text{dep}} = E(t) - E$$

クラス (EGS4)

相関ありのエネルギー損失



$$E = E_0 - t L_{\text{col}}^{\text{AE}} - E$$

$$E_{\text{dep}} = t L_{\text{col}}^{\text{AE}}$$

- $E(t)$: エネルギー損失ストラグリング分布からサンプリングしたエネルギー損失
- $L_{\text{col}}^{\text{AE}}$: AE以下の2次粒子に対する制限付き衝突阻止能

エネルギー吸収

- e^\pm が「 t 」だけ動くときのエネルギー吸収

$$= -\left(\frac{dE_\pm}{dx}\right)_{(\text{全連続})} \times t$$

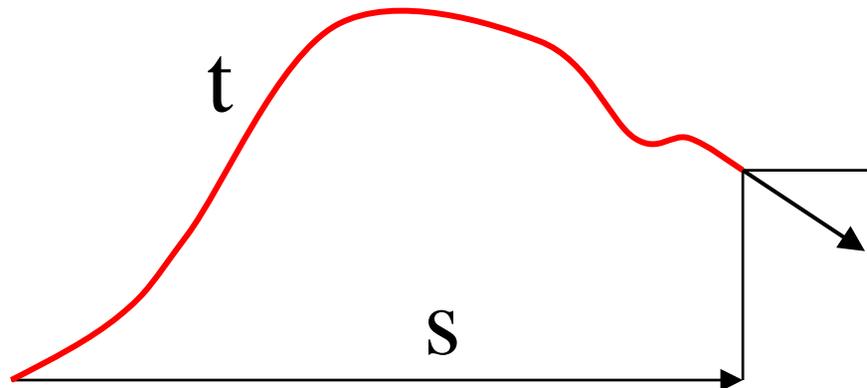
- $-\left(\frac{dE_\pm}{dx}\right)_{(\text{全連続})} = -\left(\frac{dE_\pm}{dx}\right)_{(\text{軟ブレム})}$

$$-\left(\frac{dE_\pm}{dx}\right)_{(\text{カットオフ以下の衝突})}$$

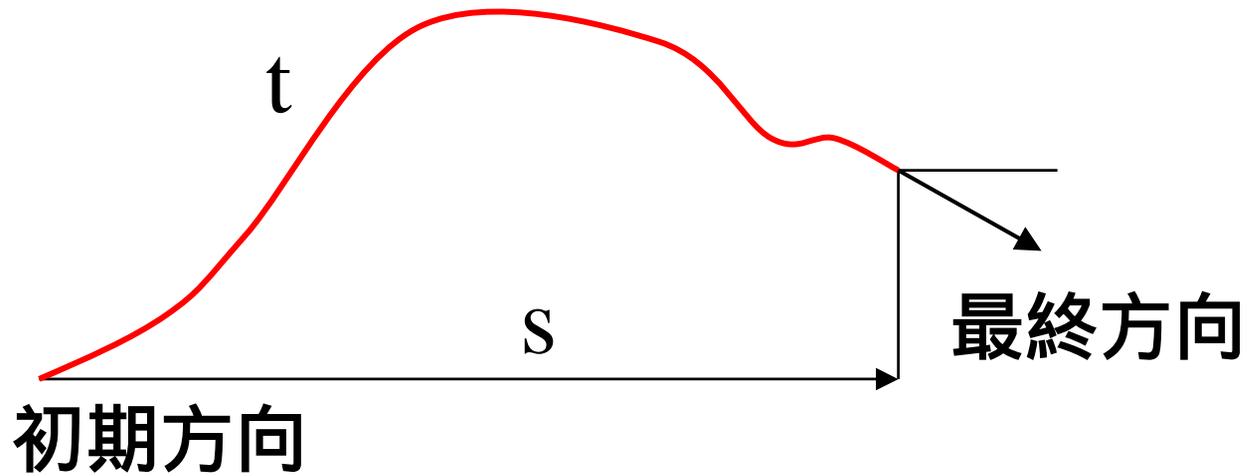
制限付き阻止能

ガウス分布の連続エネルギー損失の平均値

薄い体系にはランダウ分布が必要



多重散乱ステップ



移動距離補正

横変位

t/s

EGS4

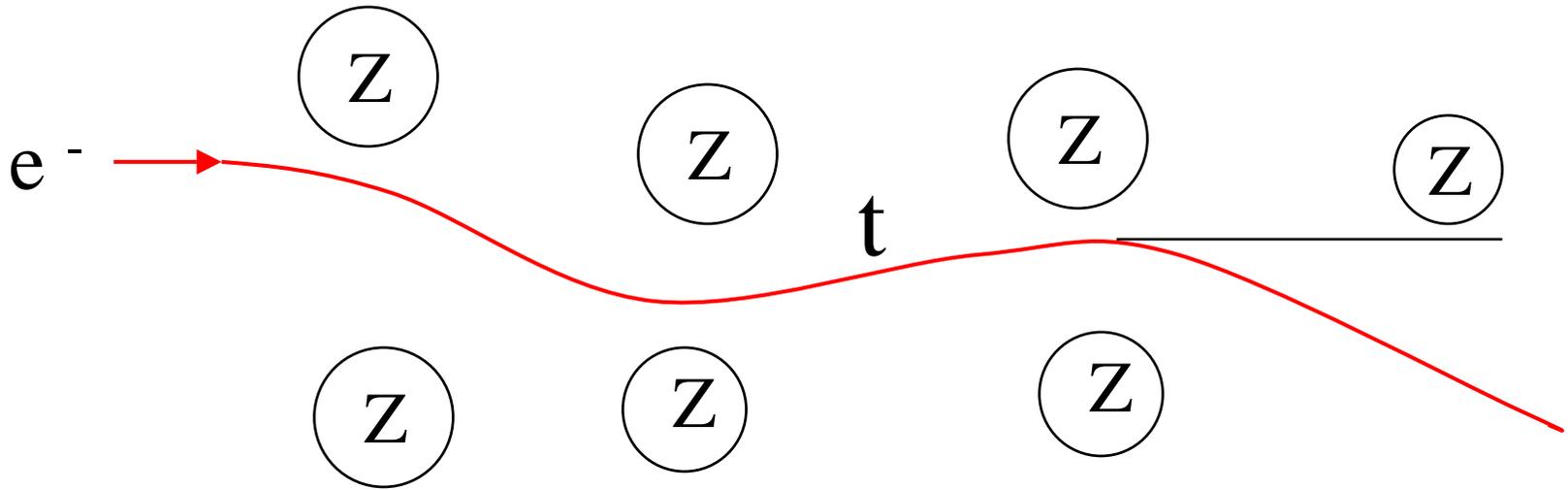
*

×

PRESTA

*2倍までの過大評価

多重散乱角



$f(\) = ?$: t だけの移動後の多重散乱角分布

•EGS4:モリエール理論

ステップ長さ(t)依存

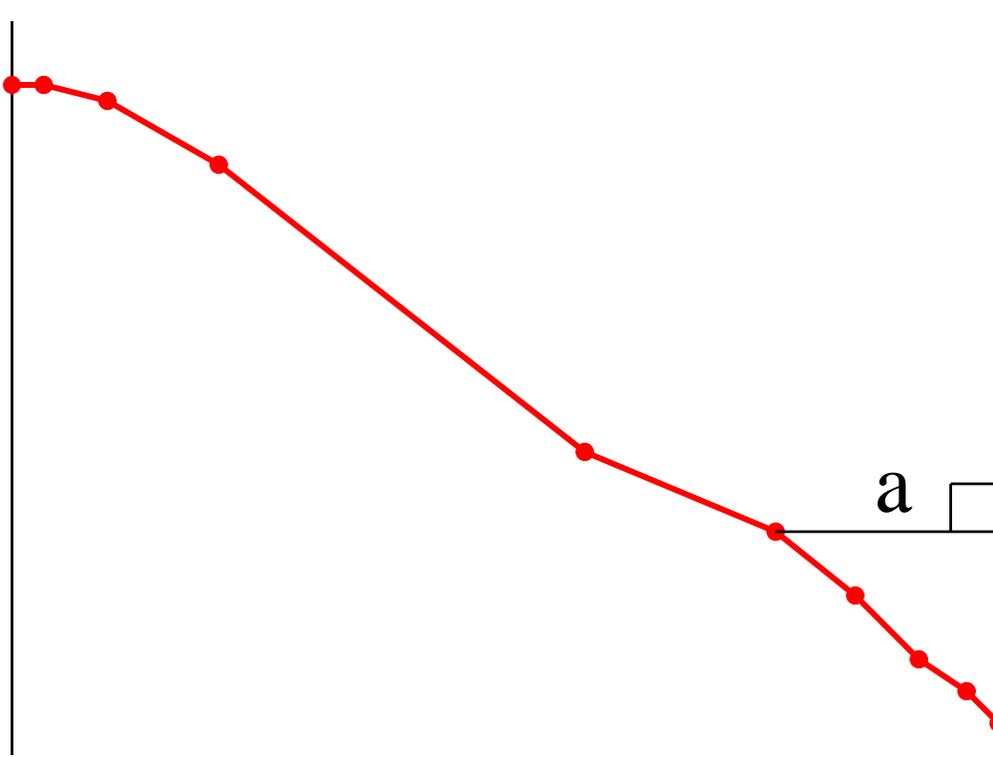
ESTEPEオプション

PRESTA

PRESTA

- Bielajew & Rogers, NIM **B18**, 165 (1987)
- Parameter Reduced Electron-Step Transport Algorithm
- 電子輸送アルゴリズム
- EGS4と組み合わせて使用する。
- 移動距離補正、横変位、境界交差アルゴリズム

PRESTAの境界交差アルゴリズム



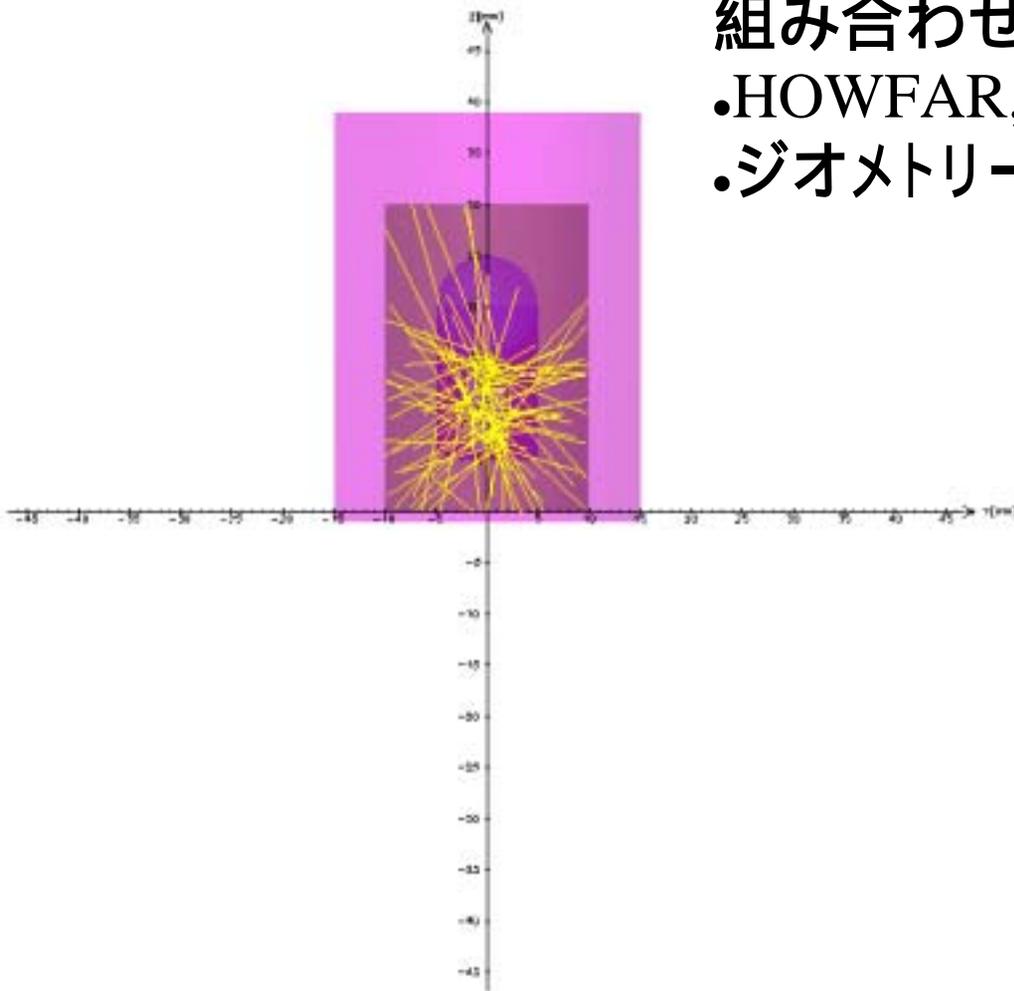
- 境界近くでは小ステップ
速度と精度の両立
aの計算が必要(HOWNEAR)

PRESTAの使い方

- ユーザーコードにPRESTAに必要なマクロ、行、サブルーチンを追加(ucnai3p.mor参照)
- Unix: egs4run中でPRESTA使用を指定
- PC:EGS4RUNPを使用

PRESTA-CG

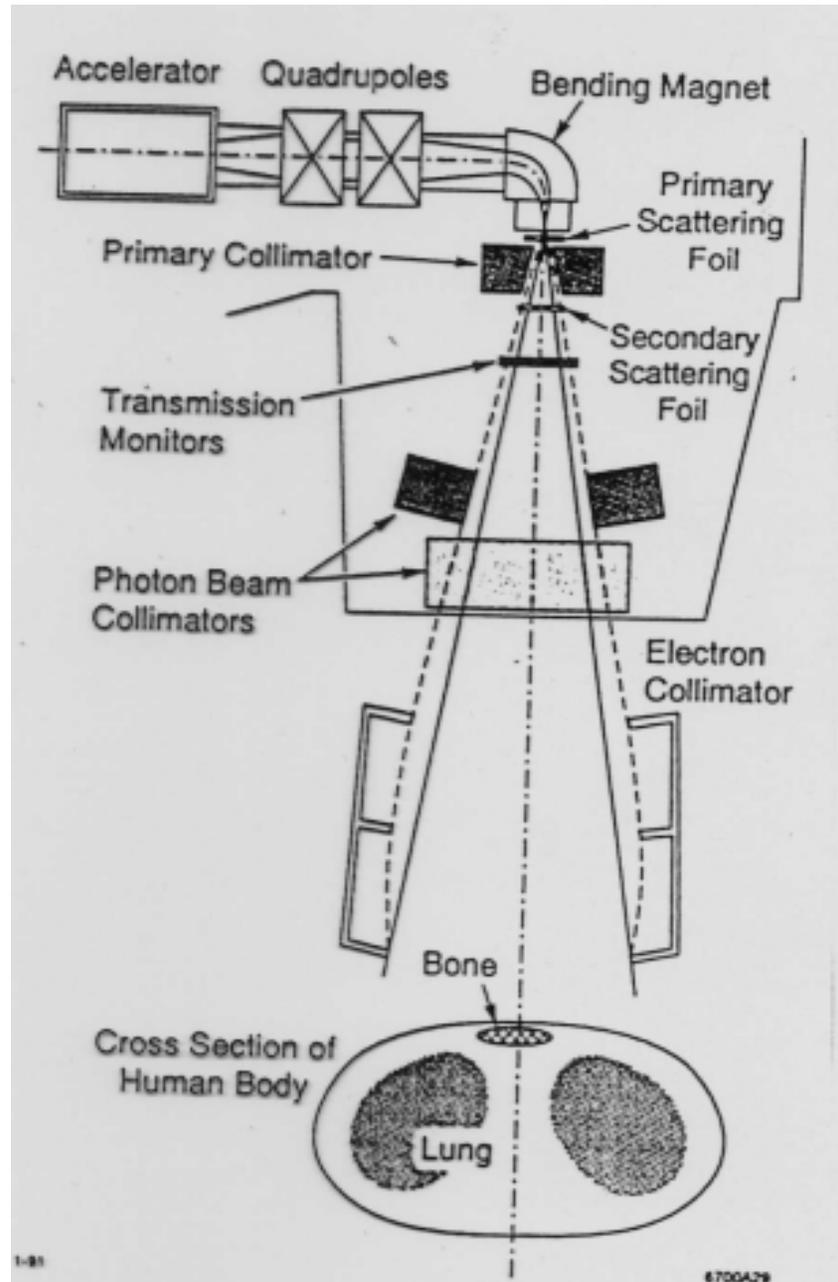
- 直方体、円筒、球などの立体の組み合わせによるジオメトリー記述
- HOWFAR, HOWNEARの記述は不要
- ジオメトリー、飛跡3D表示ソフト



ベンチマーク実験との比較

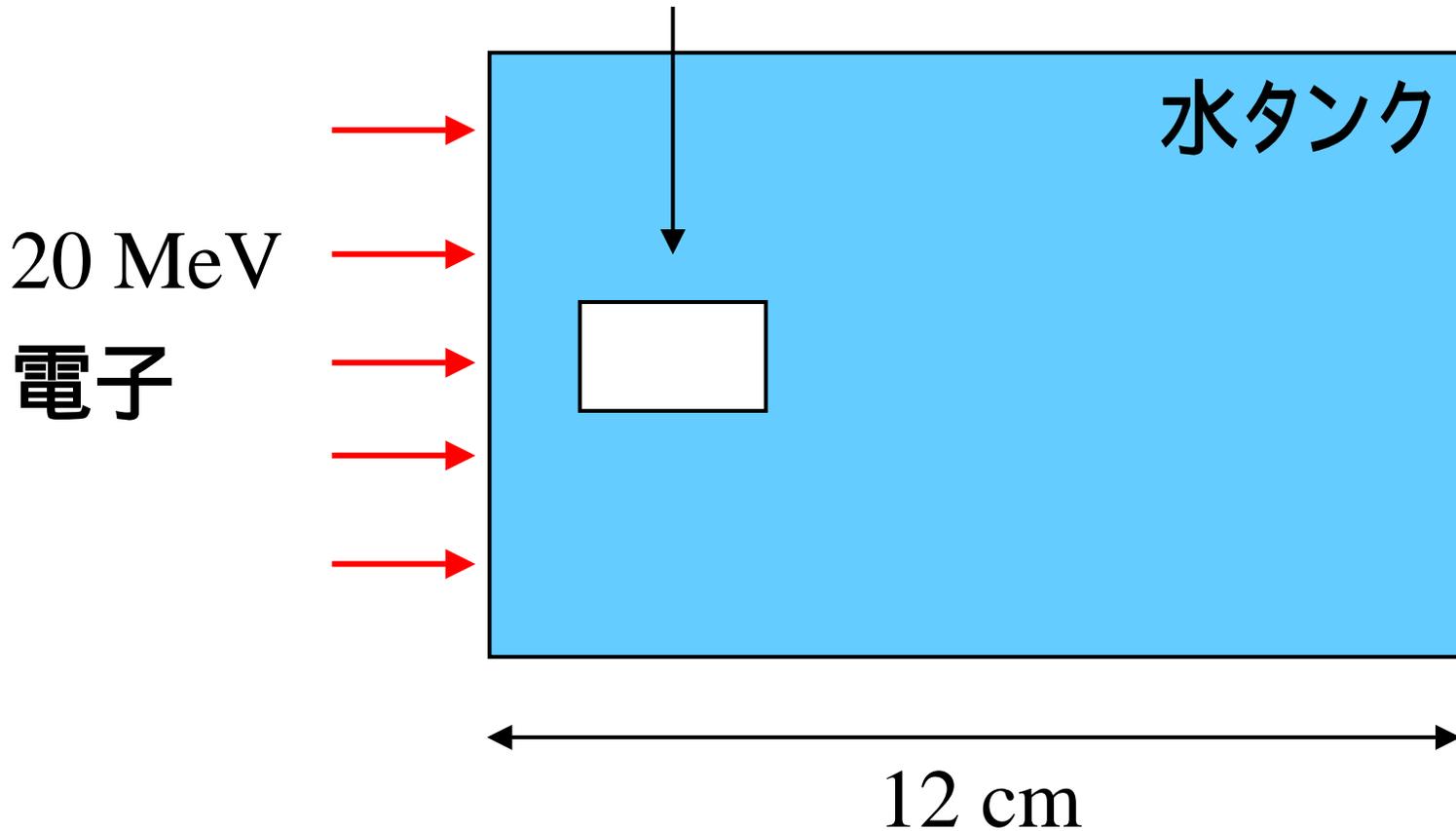
- 高エネルギー物理分野での比較: よく合う
- 最も高精度のベンチマーク: 医学物理から
- 厳密な患者線量計算には、
 - 人体中の不均一部分からの散乱
(例: 骨、肺、界面効果問題)

放射線治療用の典型的な臨床用加速器



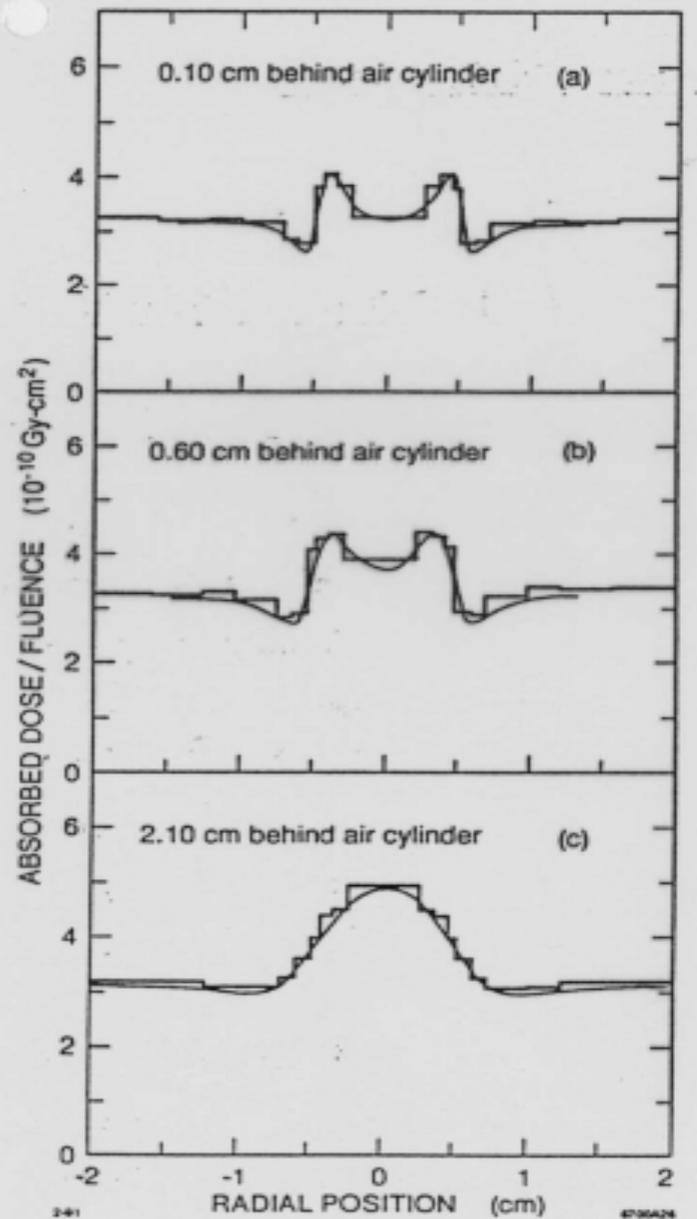
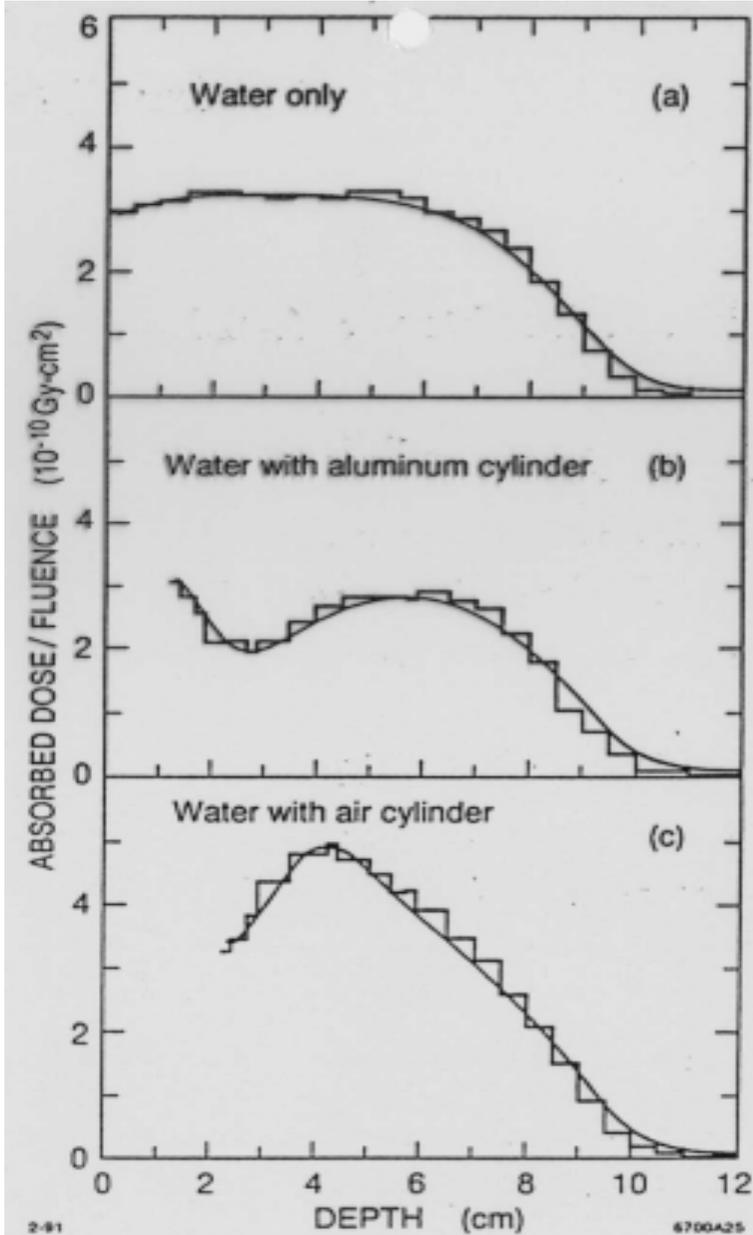
実験セットアップ

空気またはアルミ円柱

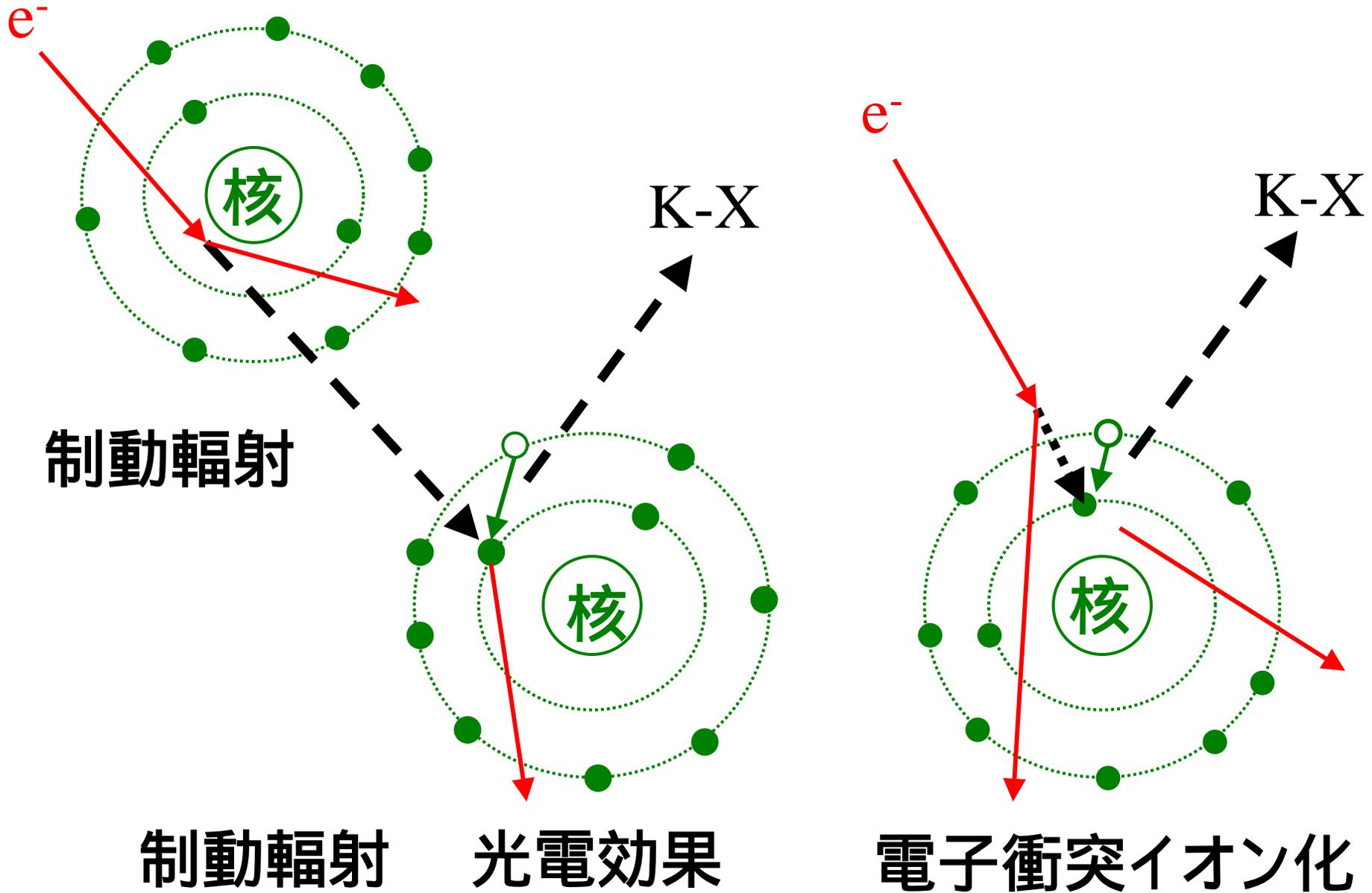


Shortt, Ross, Bielajew, Rogers, PMB **31**, 235 (1986)

吸収線量の比較



電子衝突イオン化とは？



経緯

- 100 keV電子 Sn:K-Xを過小評価C/M=0.5(1989)
- 電子衝突電離(EII)計算を追加(1996-98)
- EGS5向けKEK改良統合版(2000)
EIIも一部変更

K-X強度の測定と計算の比較

