

経過報告

西 征爾郎

2011/11/18

1 Bethe-Bloch の公式

Bethe-Bloch の公式は物質に荷電粒子が入射したときに、荷電粒子が単位長さ進むときに失うエネルギーを示す式である。

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_a r_e m_e c^2 \rho \frac{Z z^2}{A \beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 \right] \quad (1)$$

実際には、この式には補正が入って、次式のように表される。

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_a r_e m_e c^2 \rho \frac{Z z^2}{A \beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right] \quad (2)$$

各パラメータは以下のように与えられる。

r_e : 古典電子半径 3.817×10^{-13} cm	ρ : target 物質の密度
N_a : アボガドロ定数	z : 入射粒子の電荷
I : target 原子の平均励起エネルギー	δ 密度補正
Z : target 原子の原子番号	C : 殻補正
A : target 原子の質量数	W_{\max} : 最大エネルギー移行

$$2\pi N_a r_e m_e c^2 = 0.1535 \text{ MeVcm}^2/\text{g}$$

最大エネルギー移行は、正面衝突、または原子核から核子が弾き出されることにより生成される。

最大エネルギー移行 W_{\max}

$$W_{\max} = \frac{2m_e c^2 \eta^2}{1 + 2s\sqrt{1 + \eta^2} + s^2} \quad (3)$$

ここで、 $s = m_e/M$, $\eta = \beta\gamma$ である。

密度補正は、入射粒子が作る電場がその飛跡の周囲の原子に極性を与えるために、入射粒子の飛跡から離れた電子が電場から保護されるという現象によるもので、この離れた電子による入射粒子のエネルギー損失が補正なしの式より小さくなる。

密度補正は δ

$$\delta = \begin{cases} 0 & X < X_0 \\ 4.6052X + C_0 + a(X_1 - X)^m & X_0 < X < X_1 \\ 4.6052X + C_0 & X > X_1 \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $X = \log_{10}(\beta\gamma)$ であり、 X_0 , X_1 , C_0 , a は target 物質によって異なる。

殻補正は、入射粒子の速度が束縛電子の軌道速度と同等以下になったときに現れる。そのようなエネルギーでは、束縛電子が入射粒子に対して静止しているという仮定が成り立たなくなるためである。

殻補正 C は

$$C(I, \eta) = (0.422377\eta^{-2} + 0.0304043\eta^{-4} - 0.00038106\eta^{-6}) \times 10^{-6} I^2 + (3.850190\eta^{-2} - 0.1667989\eta^{-4} + 0.00157955\eta^{-6}) \times 10^{-9} I^3 \quad (5)$$

で与えられる。

今回は入射粒子に proton、target 物質に ^{63}Cu として、 $-dE/dx$ のグラフを得るために fortran でプログラムを作った。

$$z = 1, Z = 29, A = 63, I = 322 \text{ eV}$$

まず、式 (1) と (2) の違いを見るために、入射時の運動エネルギーを変えて 2 式の比較をし、それを図示した。

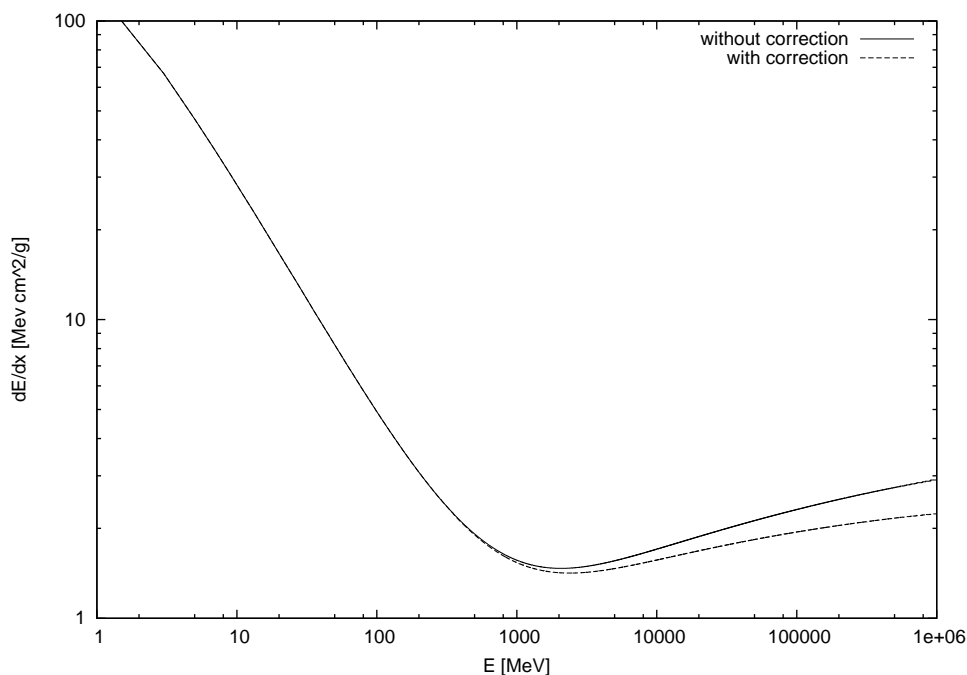


図 1 補正の有無の比較

次に、自分の作ったプログラムがもっともらしいかどうかを見るために、enew との同時に図示し、その誤差を表したグラフも載せた。

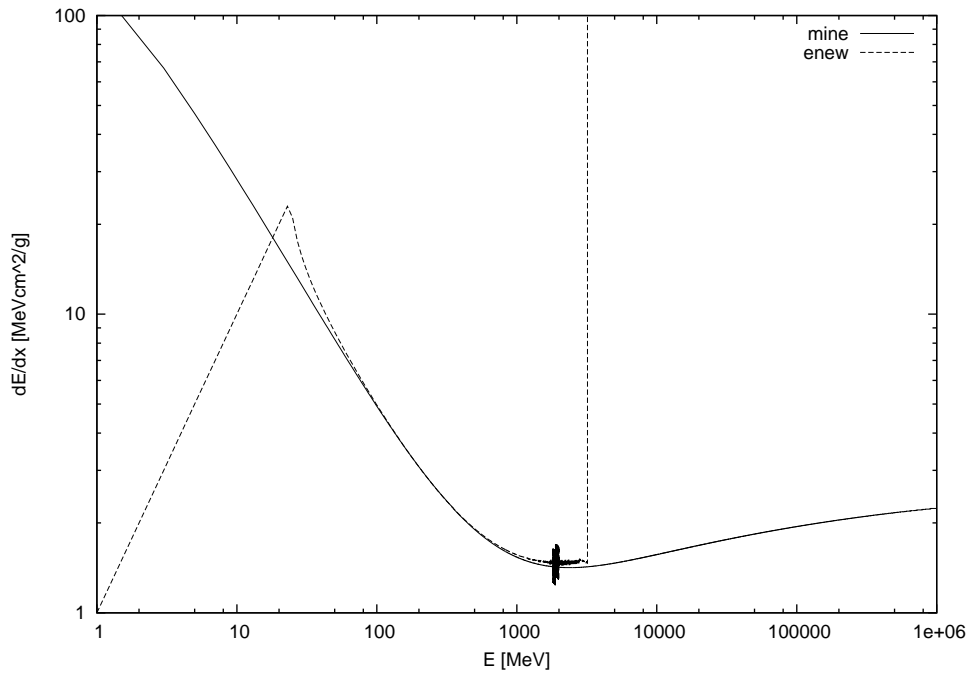


図 2 anew との比較

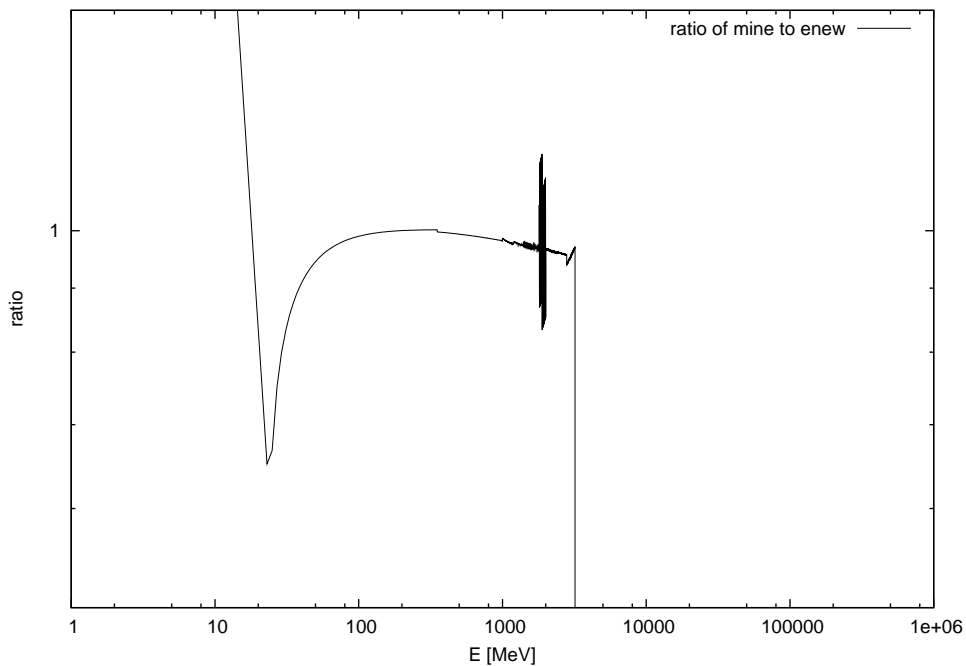


図 3 誤差

enew が低エネルギー側で直線になっているが、これは $-dE/dx = E$ となっているため、入射時の運動エネルギーと target 内でのエネルギー損失が等しいことを表している。自分の作ったプログラムと大きく違うのは、自分の作ったプログラムはエネルギー E での瞬間のエネルギー損失であるのに対し、enew から得たグラフは単位長さ ($1\text{g}/\text{cm}^2$) 進むときに失うエネルギーを求めているためである (target の厚さを $1\text{g}/\text{cm}^2$ として、「 $-dE/dx = (\text{入射時のエネルギー}) - (\text{target 通過後のエネルギー})$ 」として計算している)。

なので、今度は target の厚さを $0.01\text{g}/\text{cm}^2$ として、比較を行った。

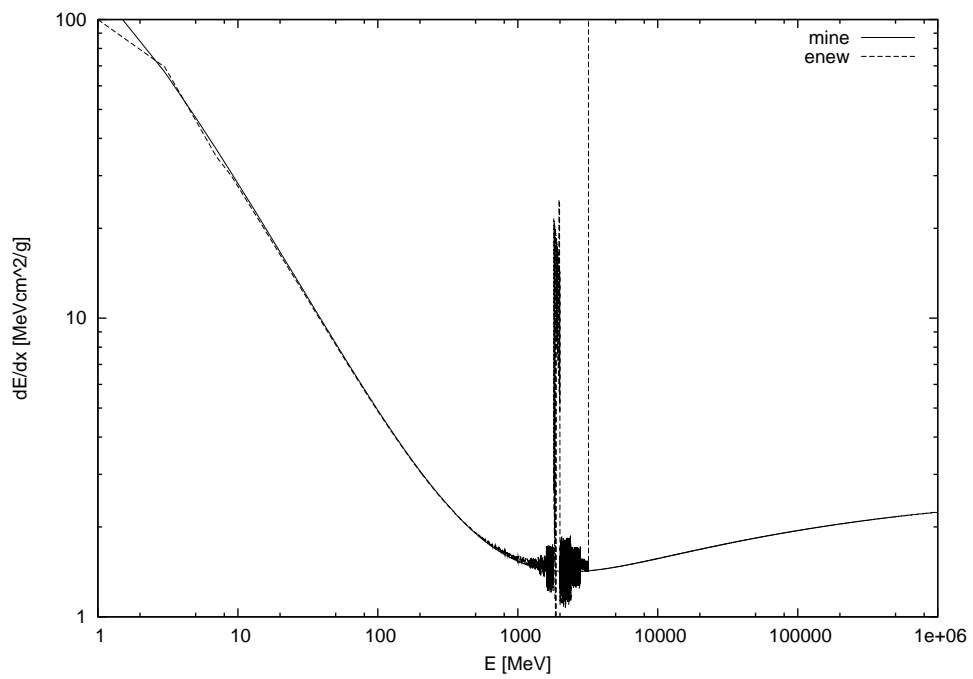


図 4 enew との比較

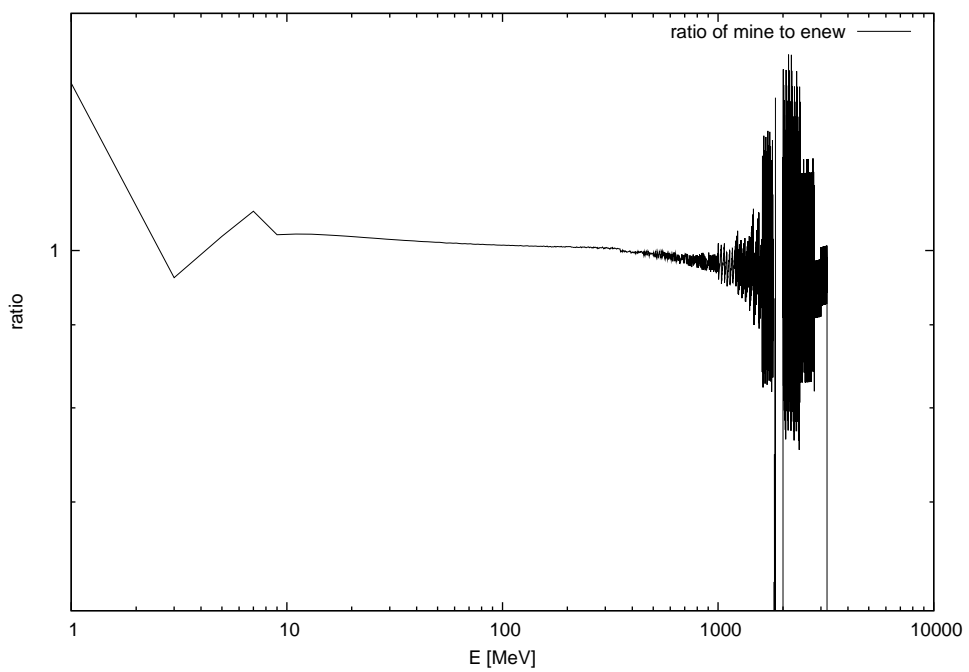


図 5 誤差

2 最近の活動

佐古さんに付いて、NEBULA の整備を手伝っている。今週は NEUT300, 400 番台と VETO200 番台の配線と、フォトマルから来る信号のチェックを行った。

3 今後やること

- enew との誤差の考察
- 飛程のプロット
- 理研の訓練申し込み
- NEBULA の整備（当面は佐古さんの指示に従う）
- NEBULA の全容把握（河田さんの修論を読む）
- コロキウム第二の準備
- 原子核の勉強