



ガンマ線バーストでの宇宙線生成と ガンマ線スペクトル

浅野勝晃（国立天文台）

共同研究者：井上進（国立天文台）



将来観測によるGRBモデル検証

- 標準モデルは正しいか？
- 予想されている磁場、などは正しいか？
- 陽子も加速されているか？

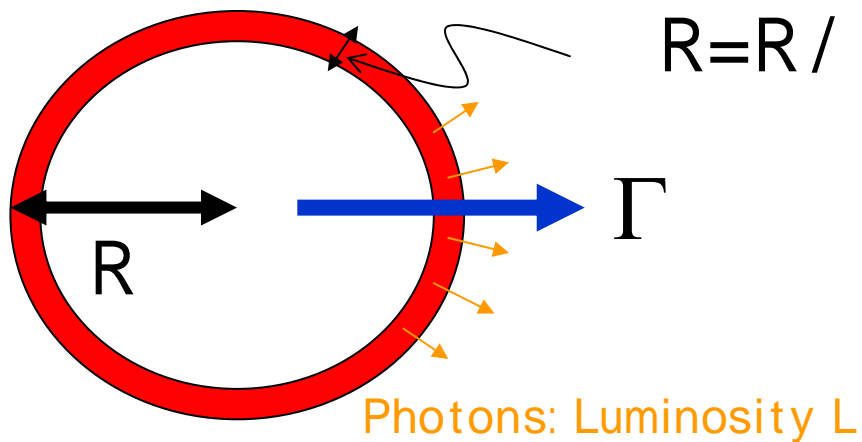


Credit: Hytec

GLASTが観測するMeV、
GeV観測に期待

モンテカルロ法によるスペクトル計算

- 加速陽子の影響も入れた輻射シミュレーション
- p(n) パイオン生成
- ペアカスケード(シンクロトロン、IC、対生成)
- パイオンやミュオンの冷却過程
- シンクロトロン自己吸収
- 輻射場とカスケード過程が無矛盾に計算される



$$R = R / \Gamma^2 \quad L \approx E_{sh} / \Delta t, \quad \Delta t = R / (c\Gamma^2)$$

電子と陽子をべき乗で注入。

Energy Density of Electrons U_e

Magnetic Energy Density $U_B = f_B U_e$

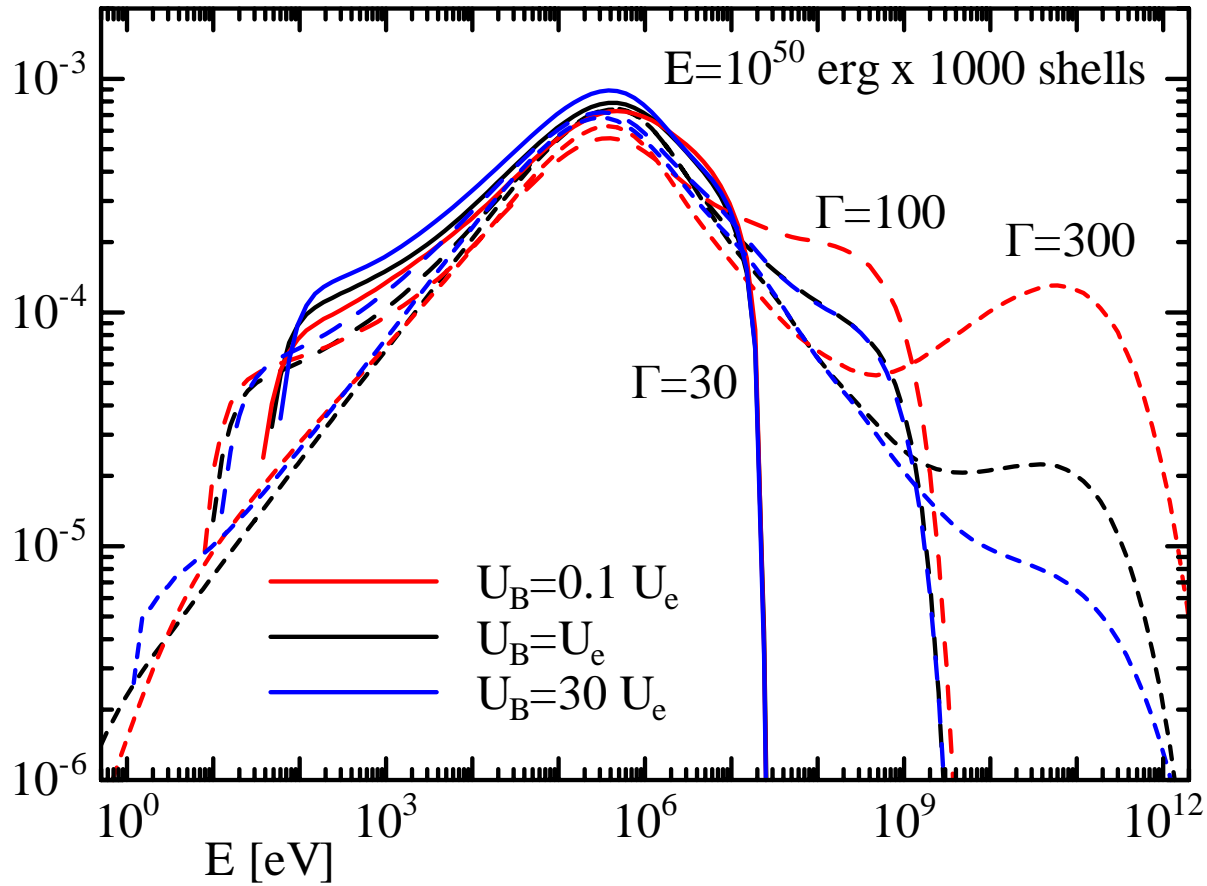
Energy Density of Accelerated Protons $U_p = U_e$

ブレークが300keVになるように、 $\epsilon_{e,min}$ を調整

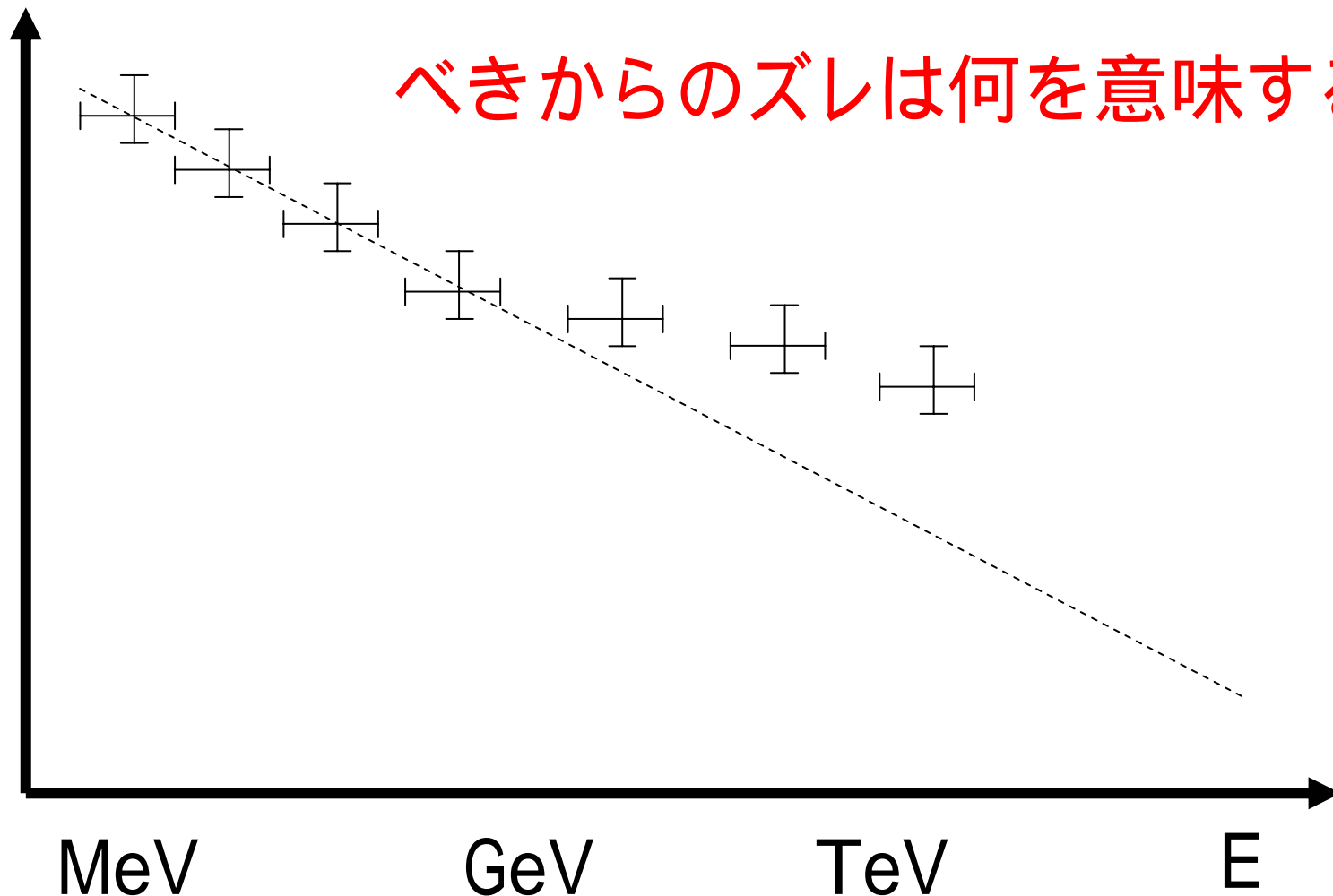
や磁場が決まる

$$\varepsilon_{\text{cut}} \approx 10^9 \left(\frac{\Gamma}{100} \right)^4 \left(\frac{E_{\text{sh}}}{10^{51} \text{ erg}} \right)^{-0.5} \left(\frac{\Delta t}{1 \text{ s}} \right)^{1.3} \text{ eV}$$

$\nu f(\nu)$ [erg/cm²] $\Delta t \sim 0.3\text{-}0.4 \text{ s}, L \sim 3 \times 10^{50} \text{ erg/s}$

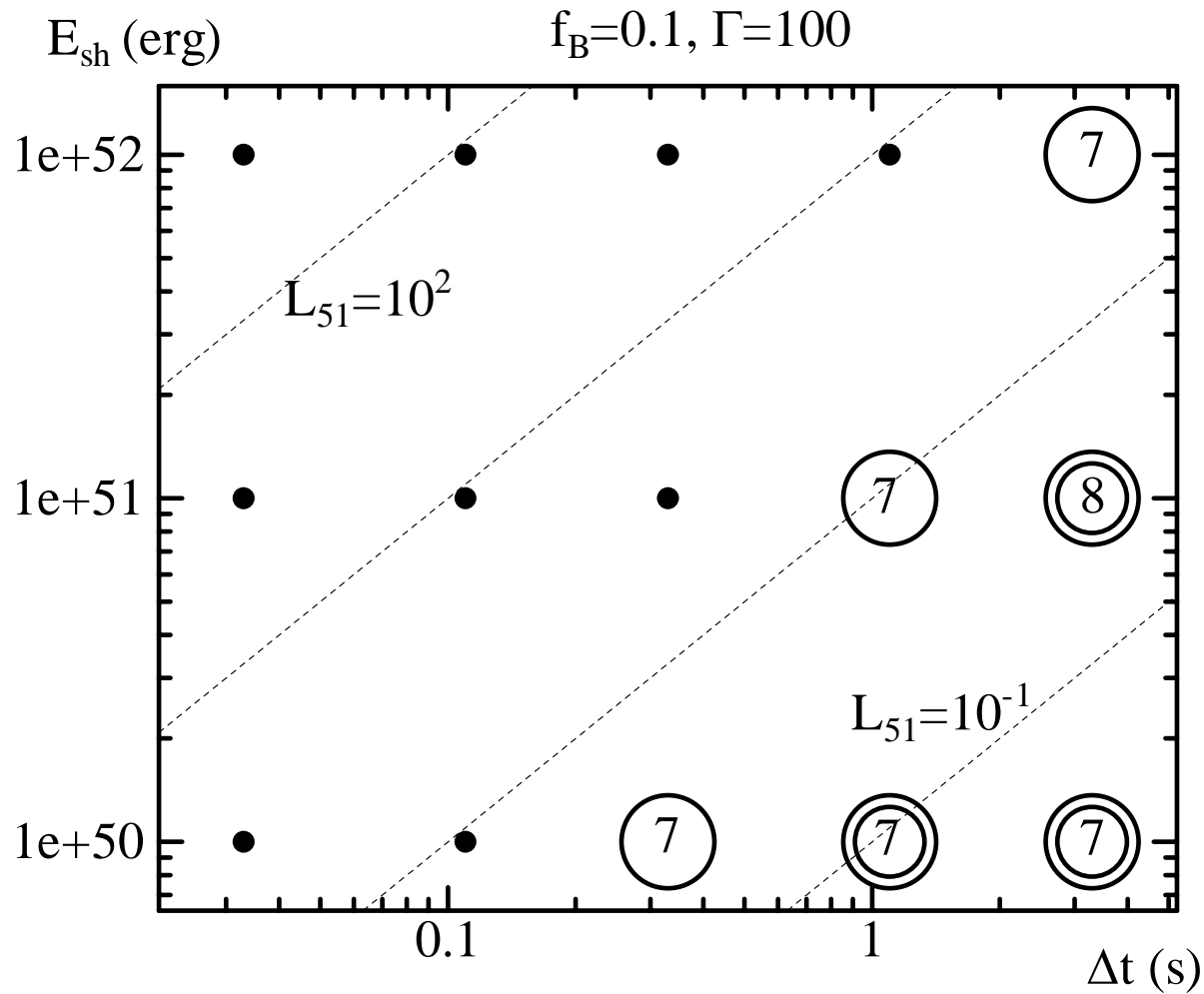


べき乗からのズレ



磁場が小さいとき

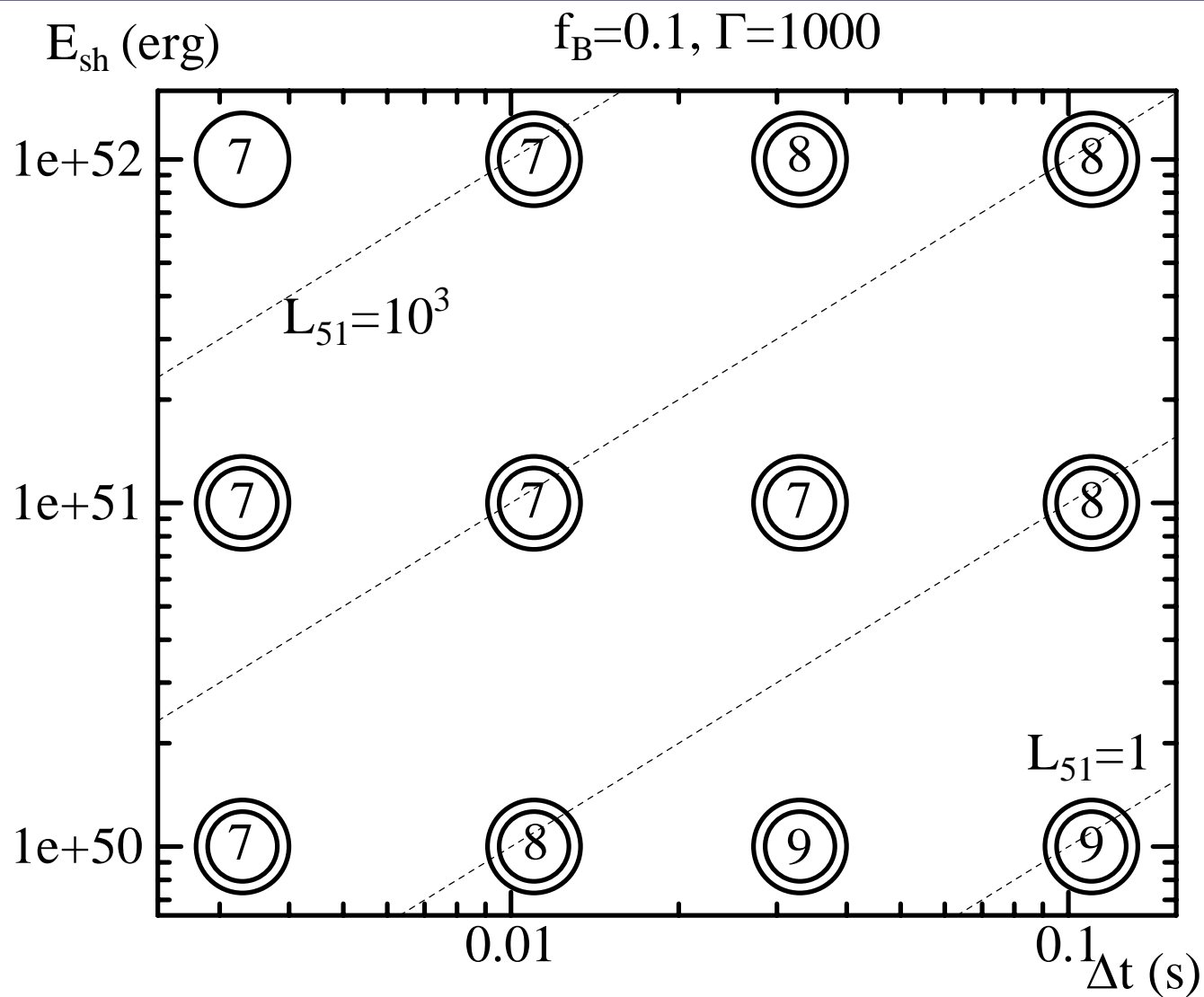
べきからのズレは逆コンプトン散乱によるもののみ。



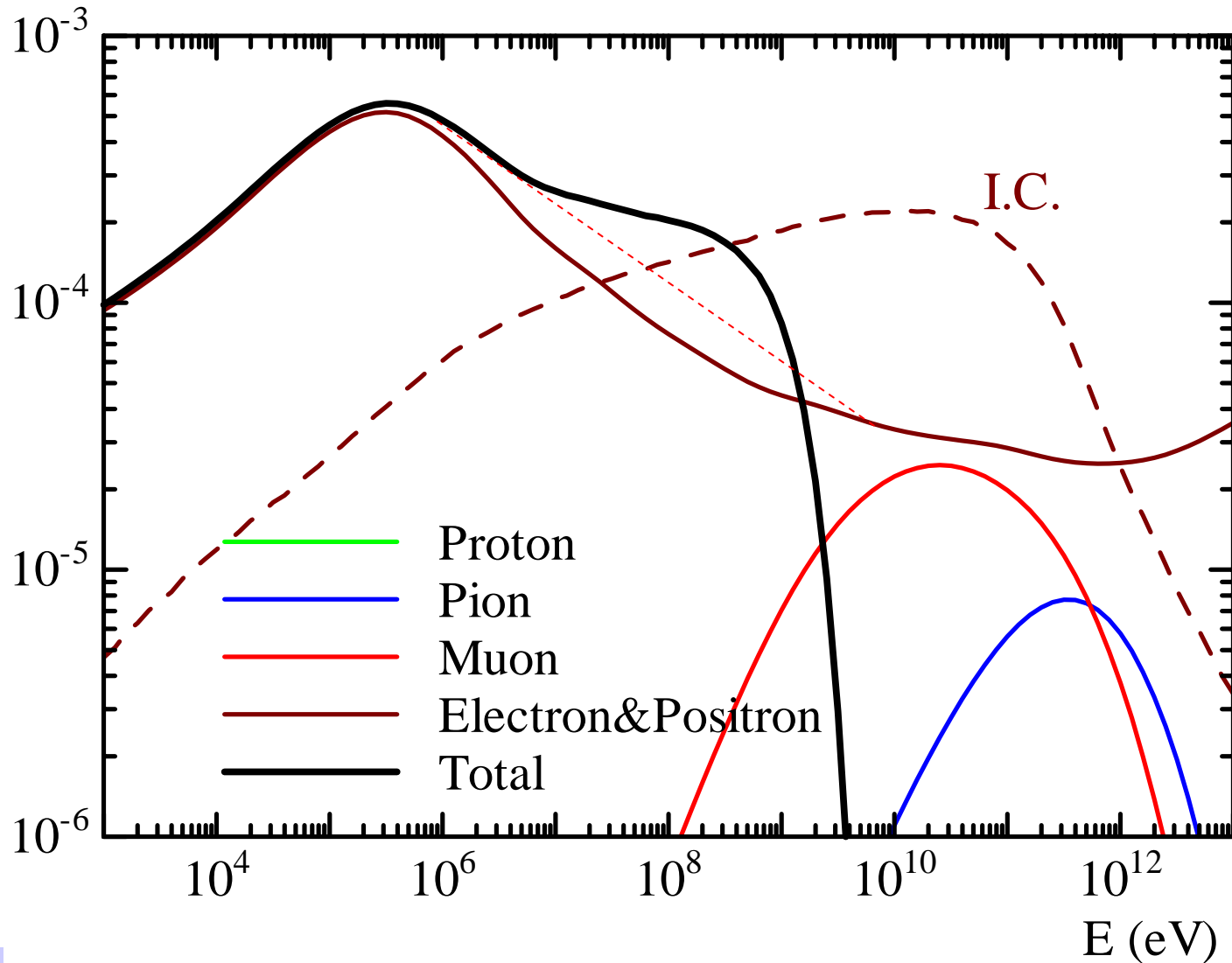
数字: べきからずれるエネルギーのオーダー (log[eV])

: ダブルピーク

同 = 1000



I.C.によるズレ

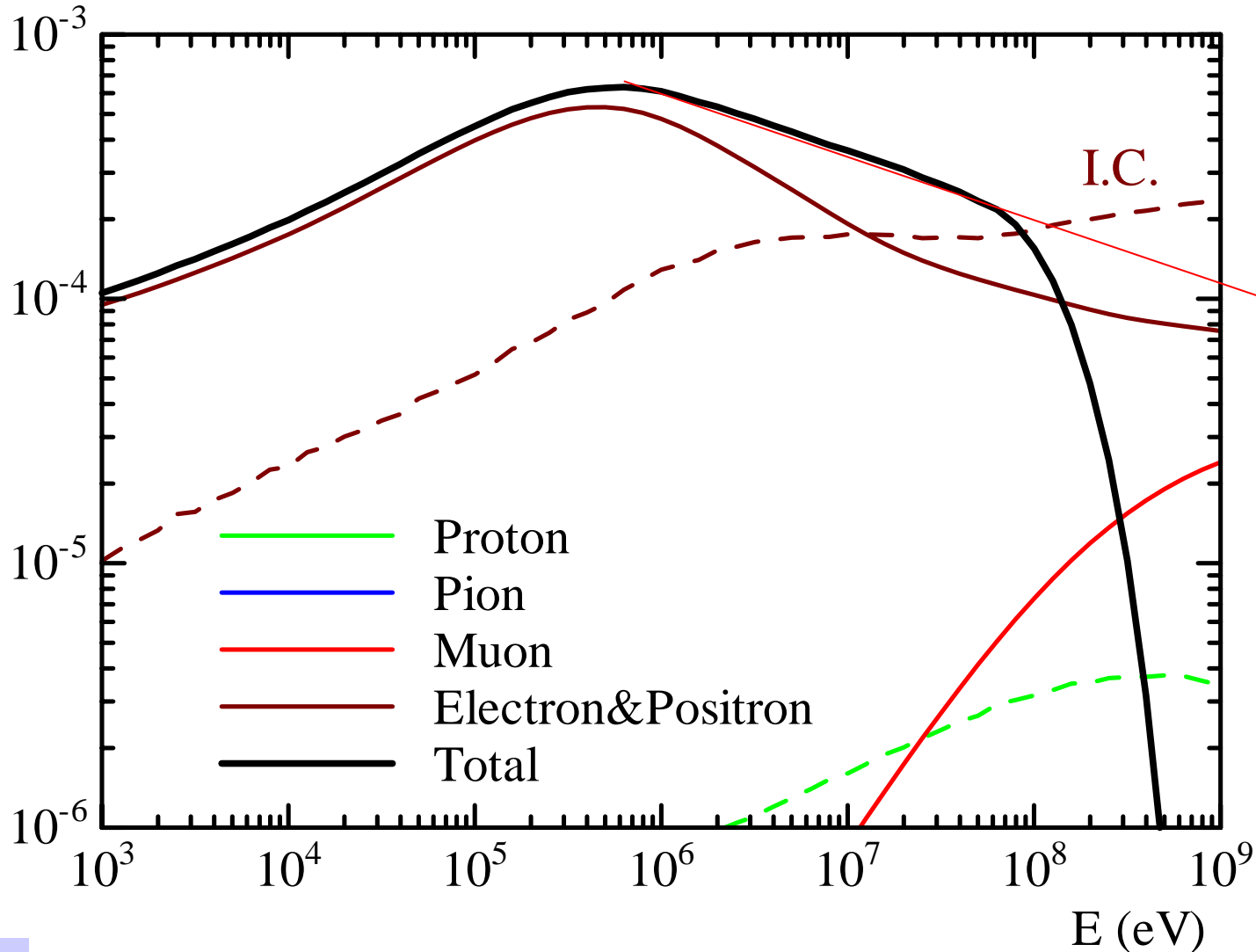


$$E_{\text{sh}} = 10^{51} \text{ erg}$$

$$\Gamma = 100$$

$$\Delta t = 1.1 \text{ s}$$

I.C.が効いても、ベキ乗が良い近時の場合

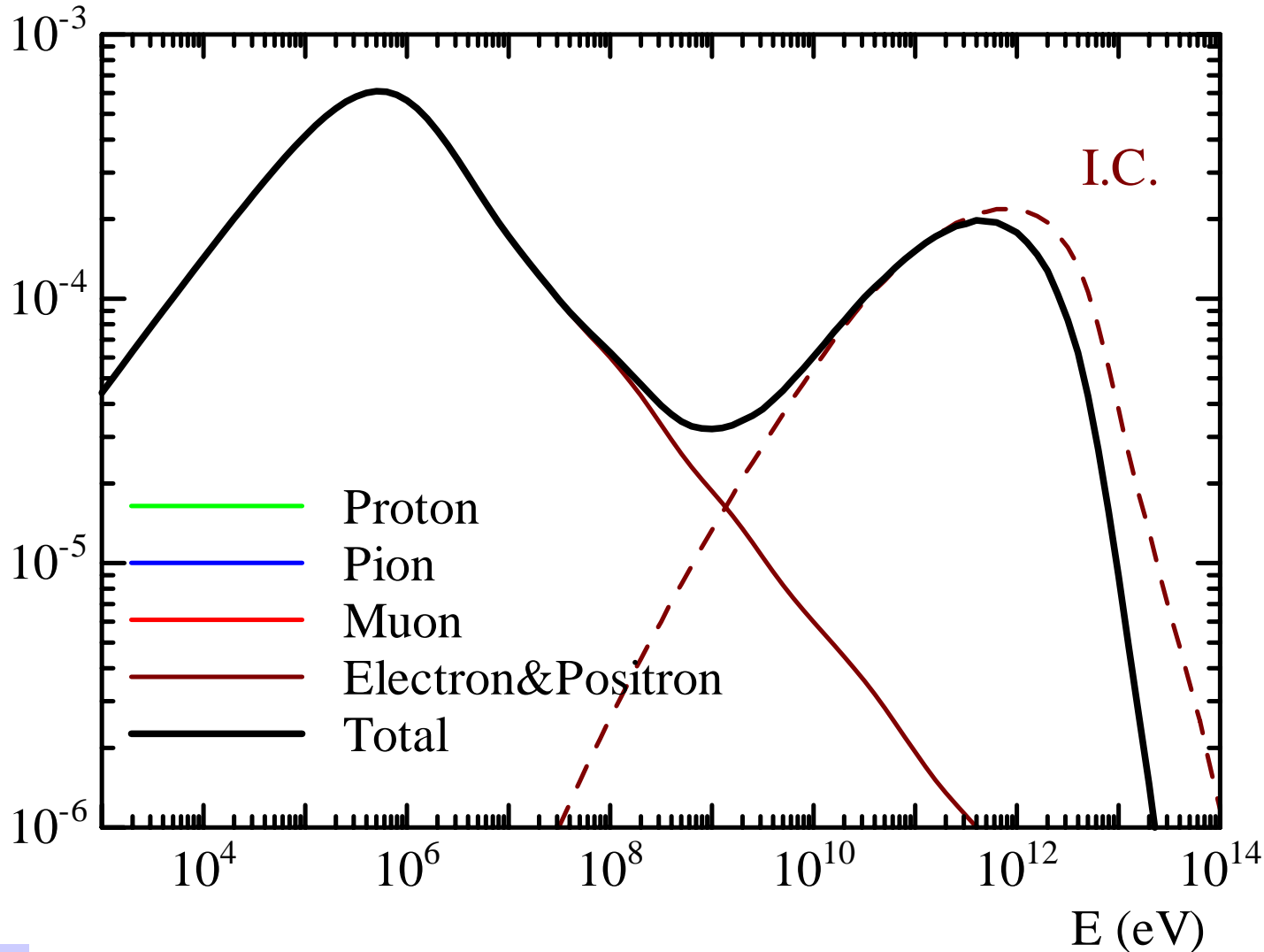


$$E_{\text{sh}} = 10^{51} \text{ erg}$$

$$\Gamma = 100$$

$$\Delta t = 0.33 \text{ s}$$

I.C.による2山スペクトル

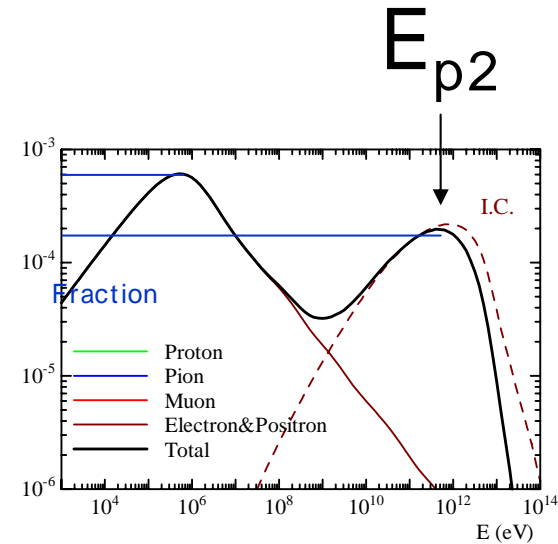
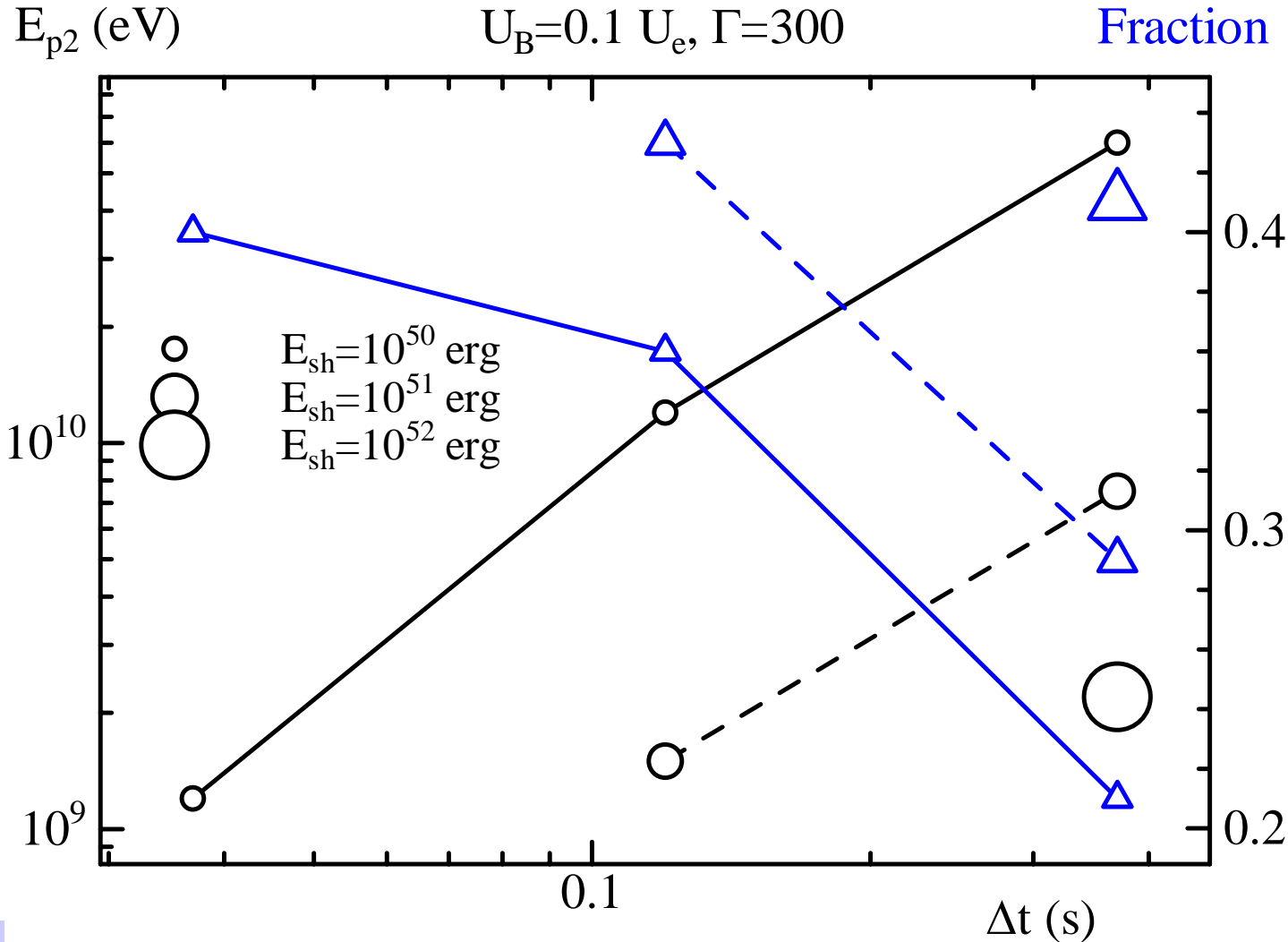


$$E_{\text{sh}} = 10^{50} \text{ erg}$$

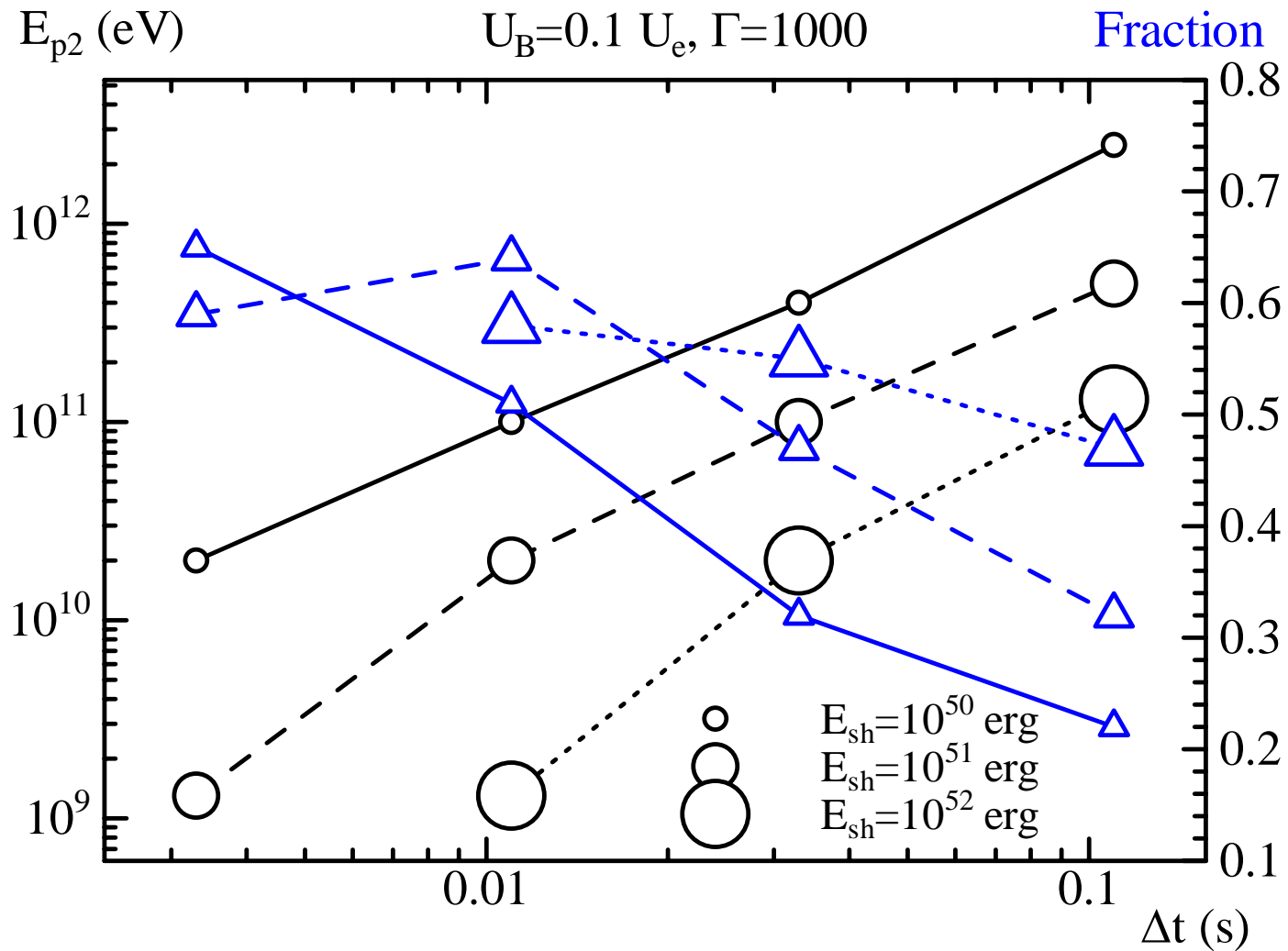
$$\Gamma = 1000$$

$$\Delta t = 0.033 \text{ s}$$

2番目のピークとその高さ



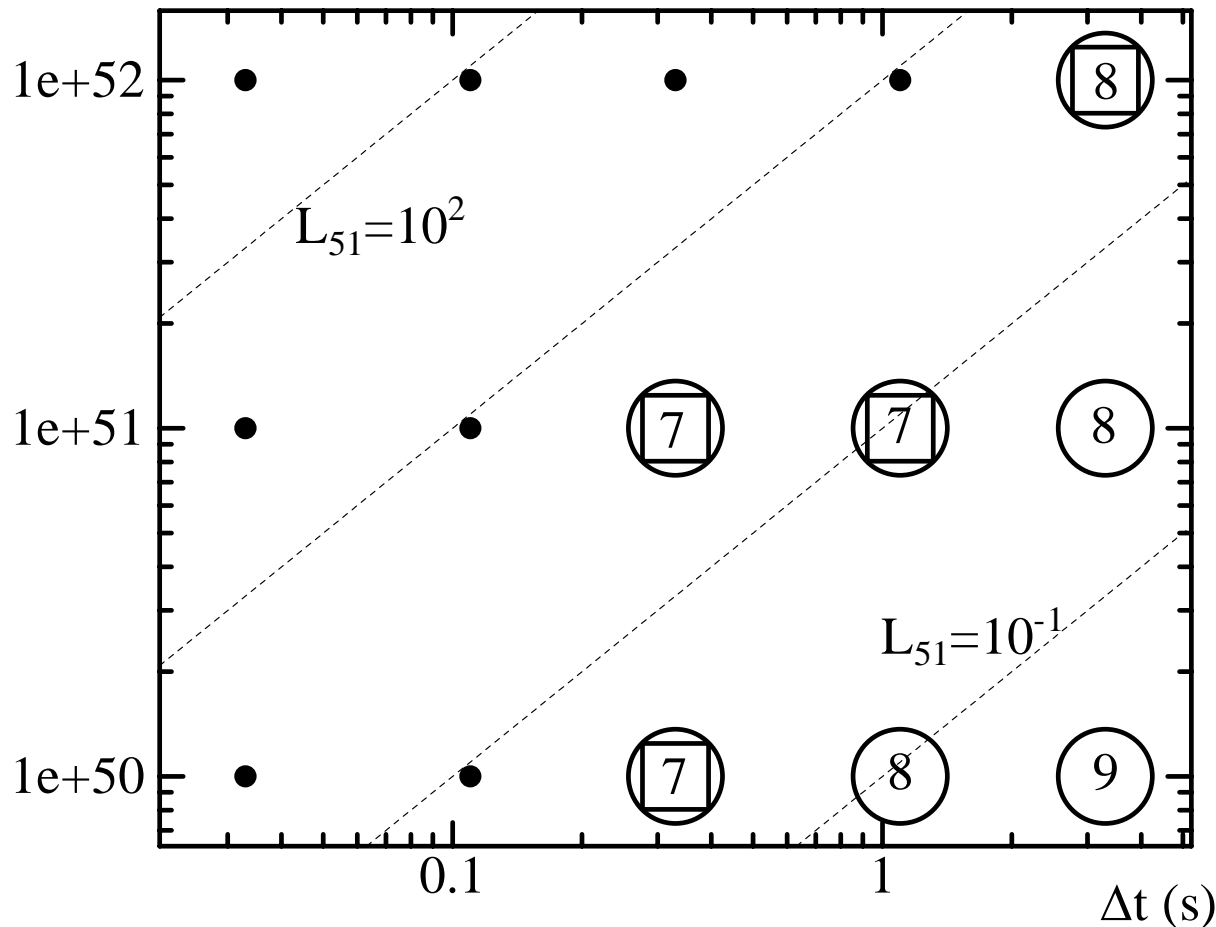
同 = 1000



磁場と電子が同じエネルギー密度の時

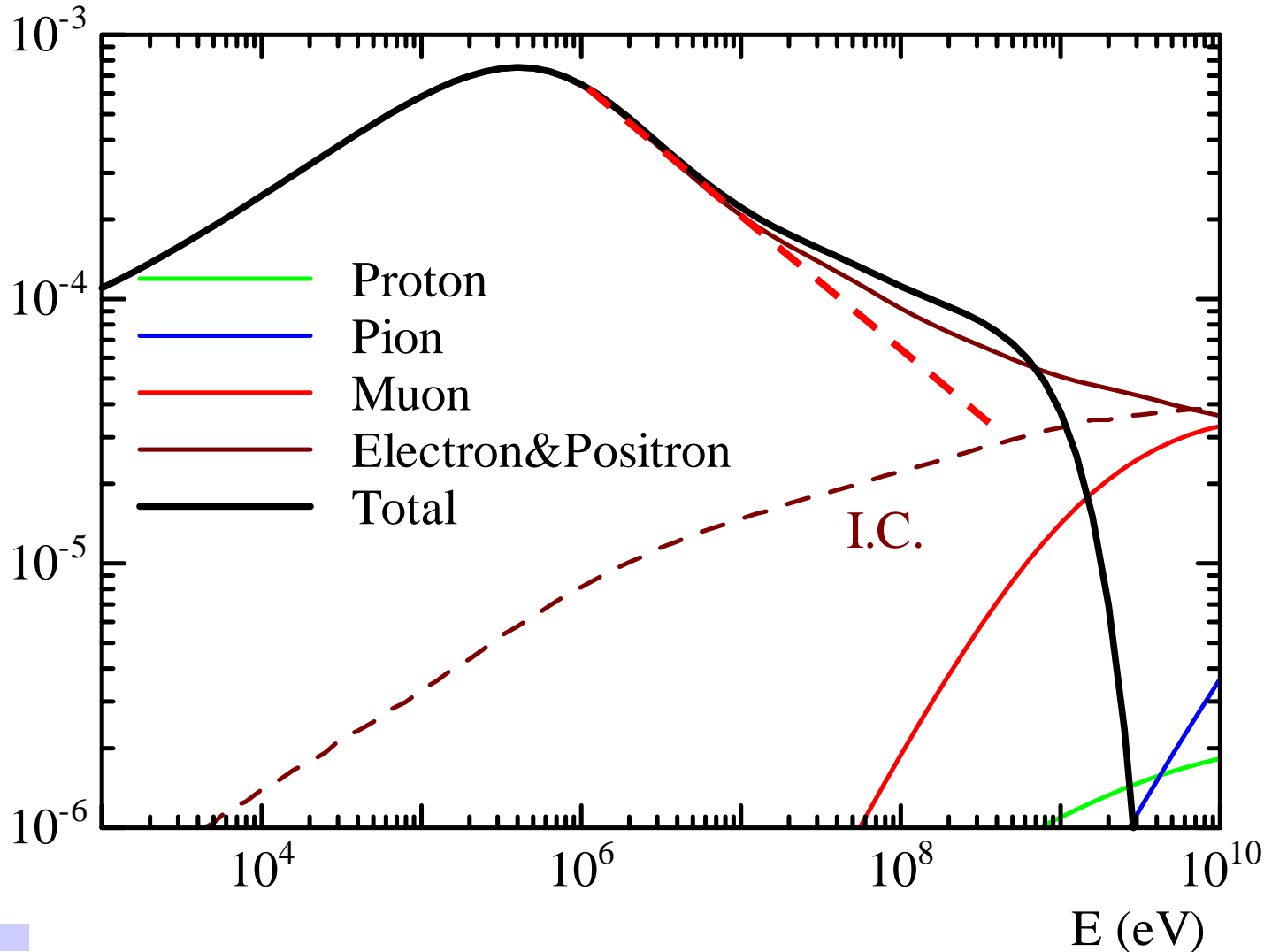
カスケード起源の電子がスペクトルを歪めることも

E_{sh} (erg) $f_B=1.0, \Gamma=100$

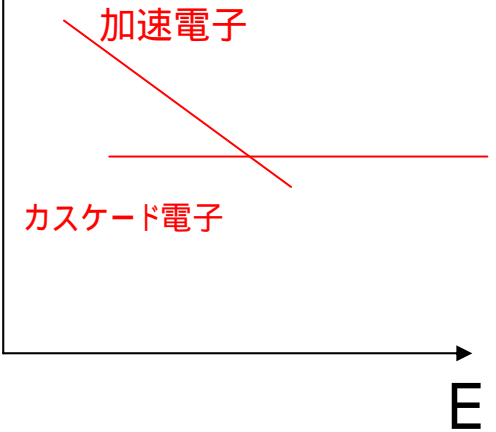


:カスケード起源電子によるスペクトルの歪み

カスケードで歪んだスペクトル



電子分布



$$E_{sh} = 10^{51} \text{ erg}$$

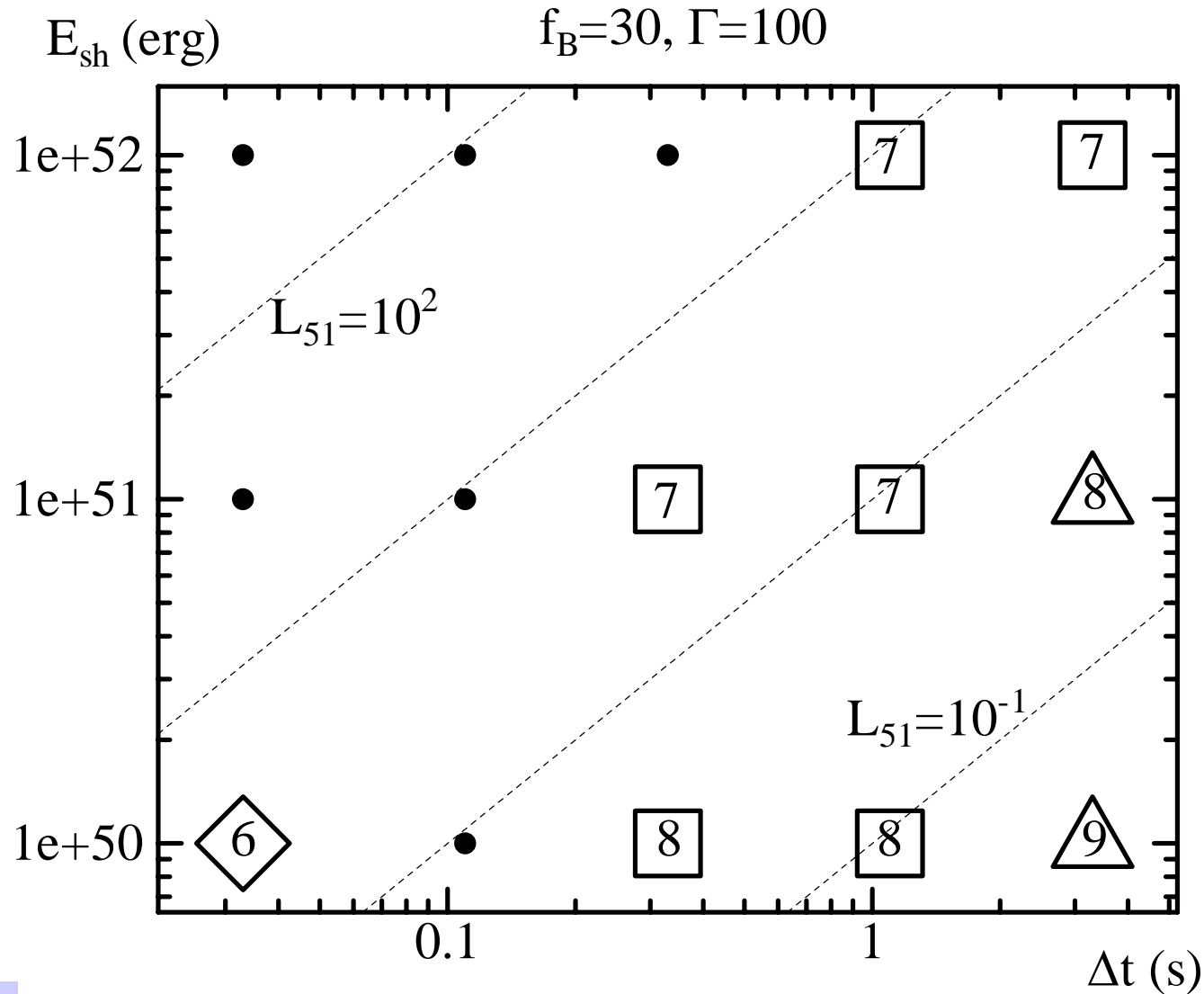
$$\Gamma = 100$$

$$\Delta t = 1.1 \text{ s}$$

磁場が強いとき

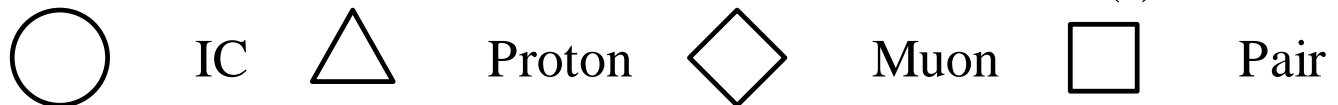
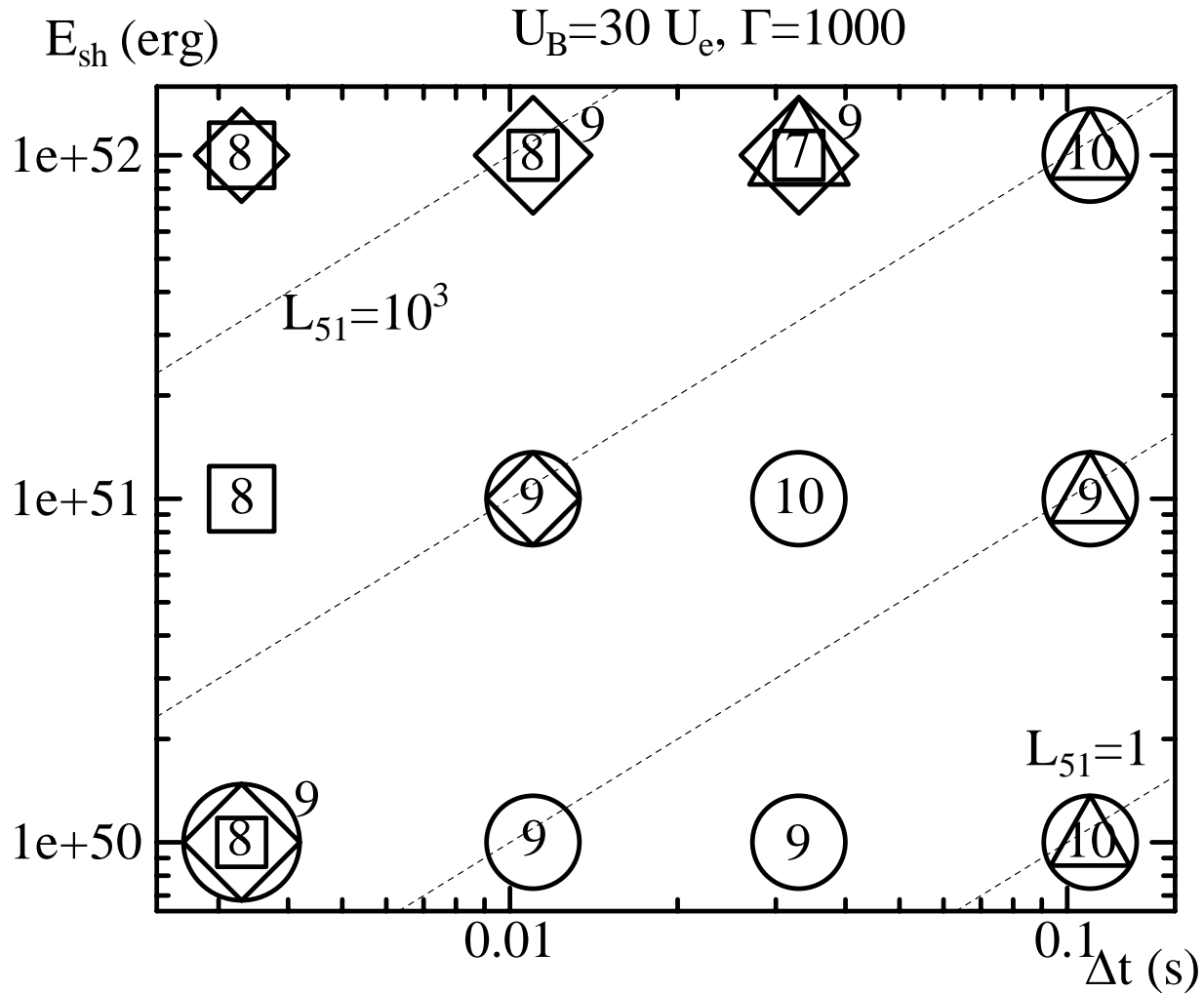
- 様々な原因でスペクトルが歪み、複雑。
- 二山にはならない。
- 2度に渡って折れ曲がる場合もあり。

磁場が強いとき

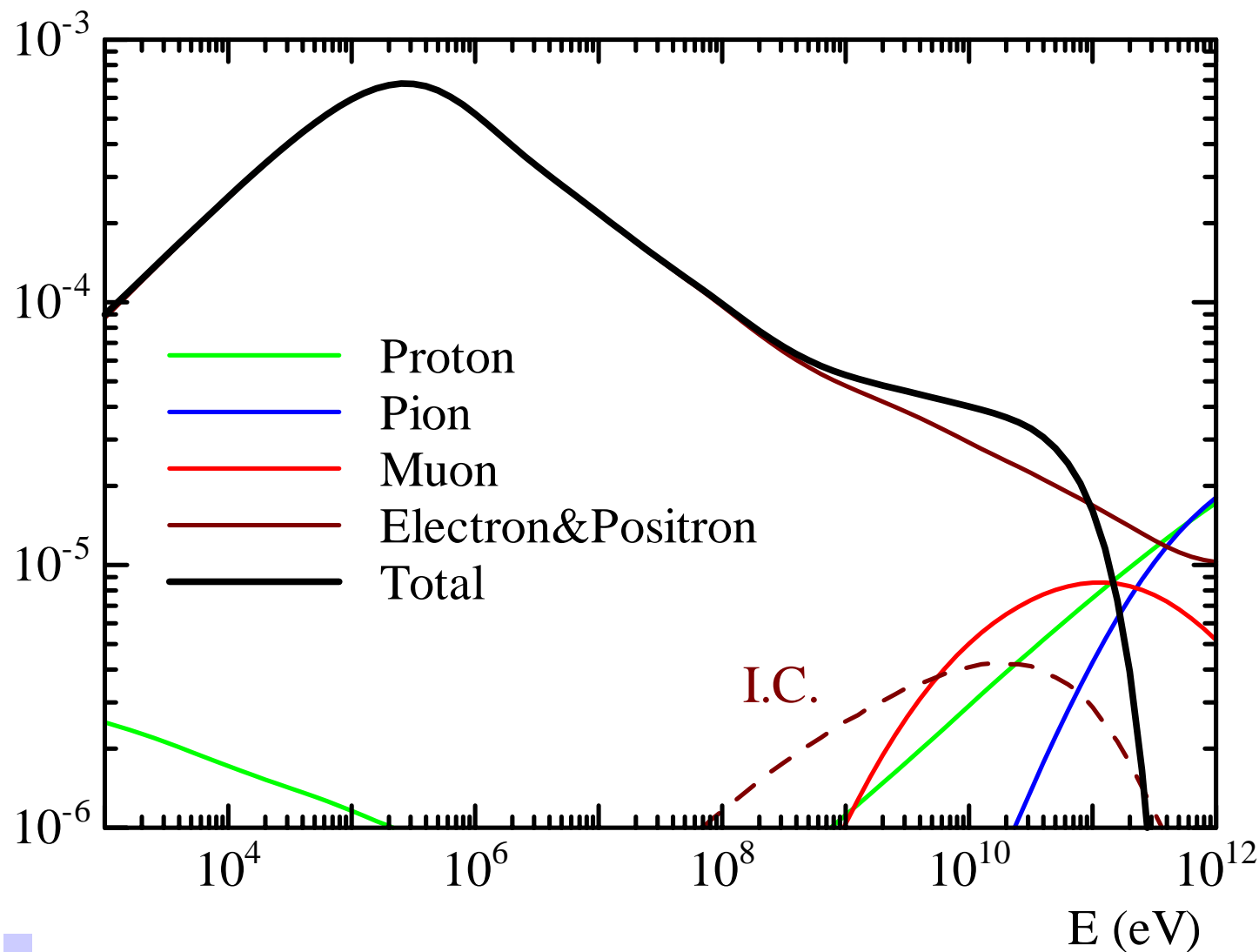


● : 陽子シンクロトロン
△ : ミューオンシンクロトロン

= 1000



ICとμ粒子のシンクロトロン

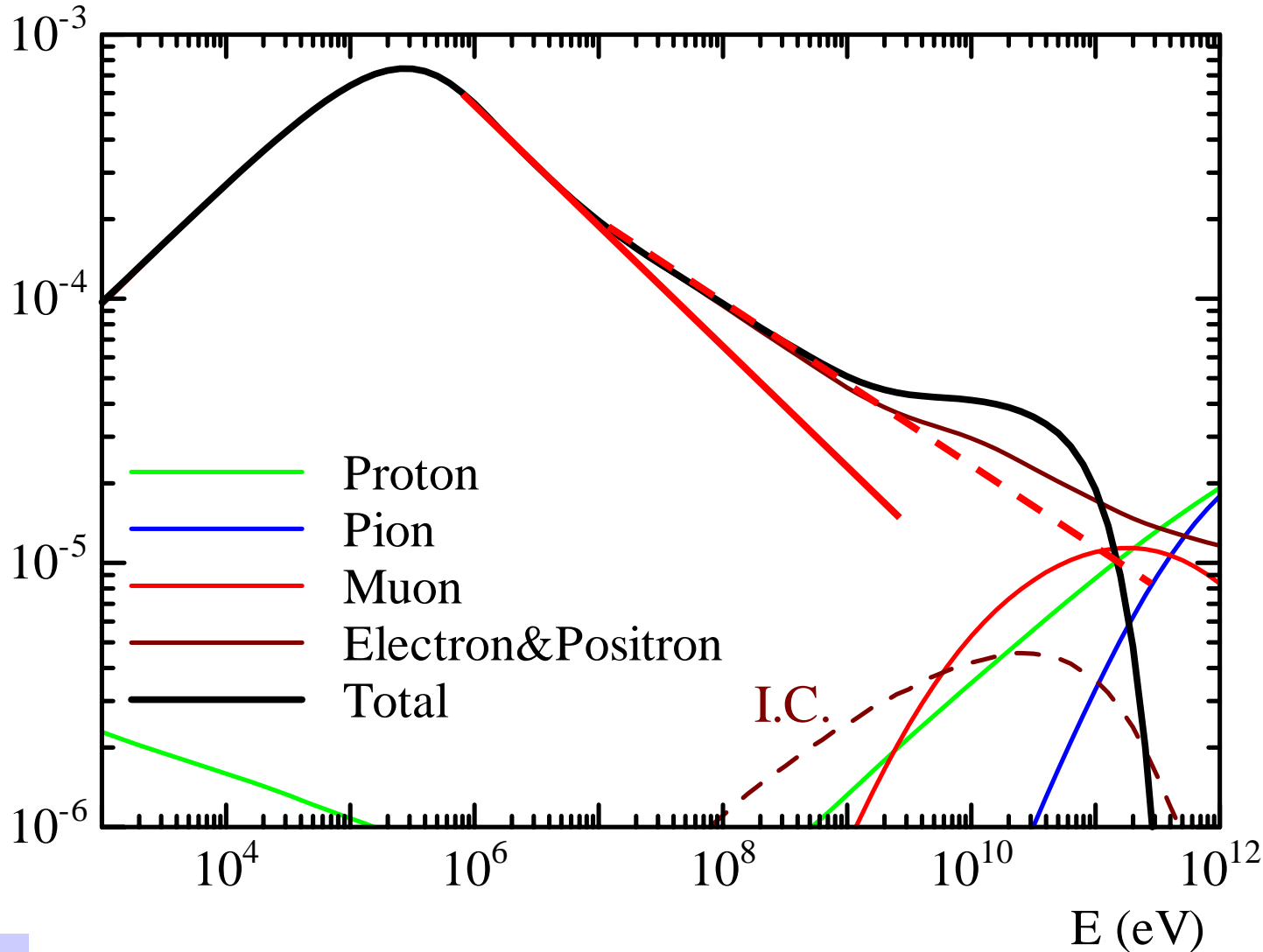


$$E_{\text{sh}} = 10^{51} \text{ erg}$$

$$\Gamma = 1000$$

$$\Delta t = 0.011 \text{ s}$$

ダブルブレイク



$$E_{\text{sh}} = 10^{52} \text{ erg}$$

$$\Gamma = 1000$$

$$\Delta t = 0.033 \text{ s}$$

宇宙線を作る条件

$$R \geq 10^{14.5} \left(E_{\text{sh}} / 10^{50} \text{ erg} \right)^{0.5} \text{ cm for } \Gamma = 100$$

$$R \geq 10^{14} \left(E_{\text{sh}} / 10^{50} \text{ erg} \right)^{0.5} \text{ cm for } \Gamma = 300 - 1000$$

これより内側では宇宙線は中間子生成で冷えてしまい、 10^{19} eV を超える宇宙線はできない。

ニュートリノの典型的エネルギー

