

## 1 Электромагнитный ливень

Высокоэнергичный электрон или  $\gamma$ -квант в толстом слое вещества рождает электромагнитный ливень. В основе явления - тормозное излучение и рождение  $e^+e^-$  пар.

*Приближение "В" Росси расчета одномерного развития ливня*

- Пренебрежение комптон- и фото- эффектами
- Ионизационные потери считают  $\text{const}(E)$
- Тормозное излучение и рождение пар в борновском приближении, с полным экранированием

Каскадные кривые *одинаковы* для всех веществ, если толщину выражать в радиационных длинах  $t = x/X_0$ , а энергию - в единицах критической энергии  $\epsilon = E/E_{cr}$ .

	первичный $e^-$	первичный $\gamma$	
$t_{max}$	$1.01(\ln \epsilon - 1)$	$1.01(\ln \epsilon - 0.5)$	
$t_{med}$	$1.01(\ln \epsilon + 0.4)$	$1.01(\ln \epsilon + 1.2)$	
$N_{max}^{e+}$	$0.31\epsilon/\sqrt{\ln \epsilon - 0.37}$	$0.31\epsilon/\sqrt{\ln \epsilon - 0.18}$	$\sim 150$ при 30 ГэВ в Fe
$\sigma_t^2$	$1.61 \ln \epsilon - 0.2$	$1.61 \ln \epsilon + 0.9$	

Аппроксимация всей кривой (с точностью  $5 \div 15\%$ )

$$\frac{dE_{sh}}{dt} = E_0 \frac{b^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+1)} t^\alpha e^{-bt} \quad \Gamma(\alpha+1) = \int_0^\infty x^\alpha e^{-x} dx$$

с  $t_{max} = \alpha/b$ , откуда (см. выше)  $\alpha \approx b(\ln \epsilon - 1)$ . Параметр  $b \sim 0.5 \approx \text{const}(\epsilon)$ .

*Поперечное распределение частиц в ливне*  
определяется

- многократным рассеянием
- распространением низкоэнергичных  $\gamma$

Мольеровский радиус

$$R_M = \frac{E_s}{E_{cr}} t_0 \quad (E_s = 21 \text{ MeV})$$

$$R_M \sim 7A/Z \text{ г/см}^2.$$

Радиус цилиндра, в котором содержится 95% энергии:

$$R(0.95E) \simeq 2R_M \simeq 28 \text{ г/см}^2.$$