

Прецизионное измерение энергии в системе центра масс и её разброса на коллайдере $\mu\mu$ -трон

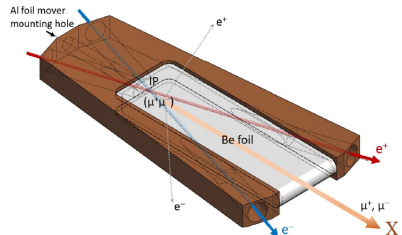
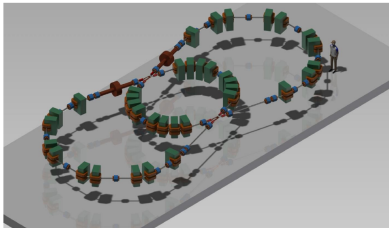
Автор: Байков А.А., гр. 15301
Научный руководитель: Дружинин В.П.

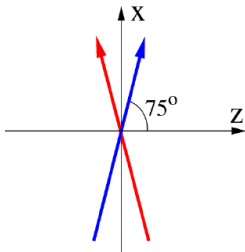
13 июня 2019 г.

План

- 1.) Коллайдер $\mu\mu$ -трон и эксперимент по наблюдению димюония.
- 2.) Постановка эксперимента.
- 3.) Расчёт сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ на пороге.
- 4.) Сканирование по энергии.
- 5.) Контроль энергии в системе центра масс.
- 5.) Измерение разброса по энергии.
- 6.) Заключение.

Коллайдер $\mu\mu$ -трон и эксперимент по наблюдению димюния





Параметры коллайдера:

$$E_{\text{beam}} \approx 408 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{cm}} \approx 211 \text{ MeV}$$

Периметр 23 м

$$\sigma_{E_{\text{beam}}} / E_{\text{beam}} \approx 7.8 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_{E_{\text{cm}}} \approx 0.4 \text{ MeV}$$

$$\alpha \approx 75^\circ$$

$$\sigma_\alpha \approx 6.8 \cdot 10^{-4}$$

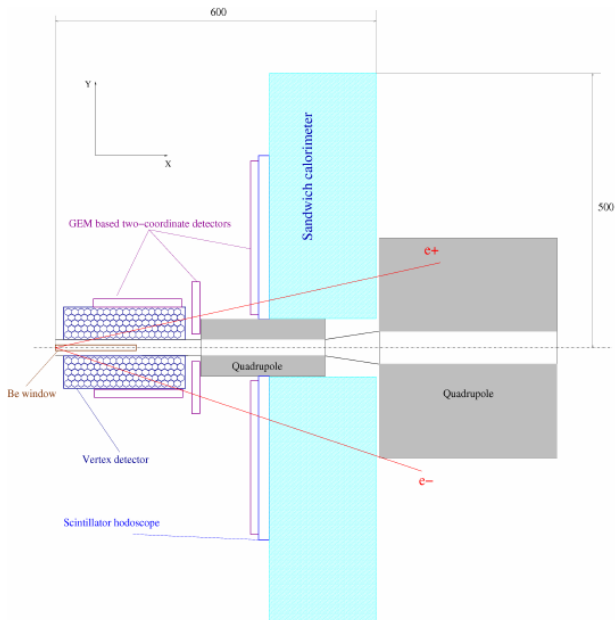
$$\text{Светимость } 8 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

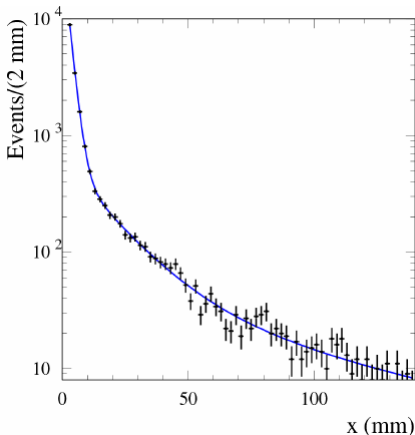
$$\gamma = 3.86$$

$$\beta = 0.966$$

Длина пролёта димьюния

$$\ell = \gamma\beta c\tau = 2 \text{ мм}$$





Измеряется N_{1S} и ℓ_{1S} .

$\tau = \ell/(\gamma\beta c)$, $\sigma_\ell \sim 2\%$,

$\sigma_{\gamma\beta} \sim 10^{-3} \rightarrow \sigma_\tau < 1\%$. E

необходимо выставлять с

точностью лучше $\frac{1}{10}\sigma_E$.

$N_{1S} \propto \Gamma_{ee}/\sigma_E$, поэтому для

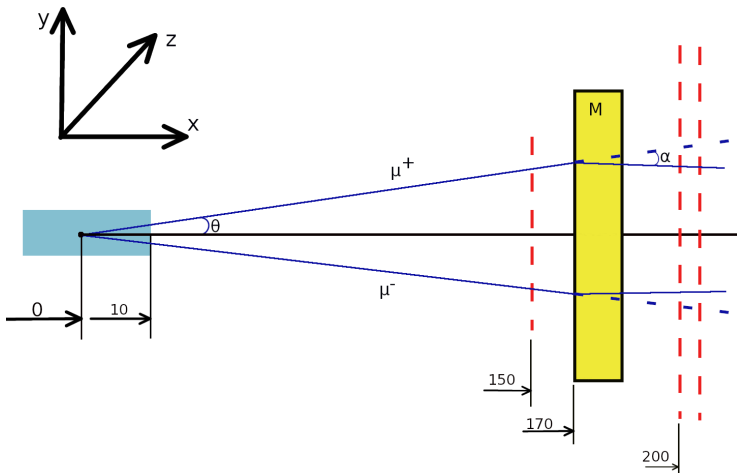
измерения Γ_{ee} с точностью

порядка 1% необходимо

измерить σ_E с точностью

лучше 1%.

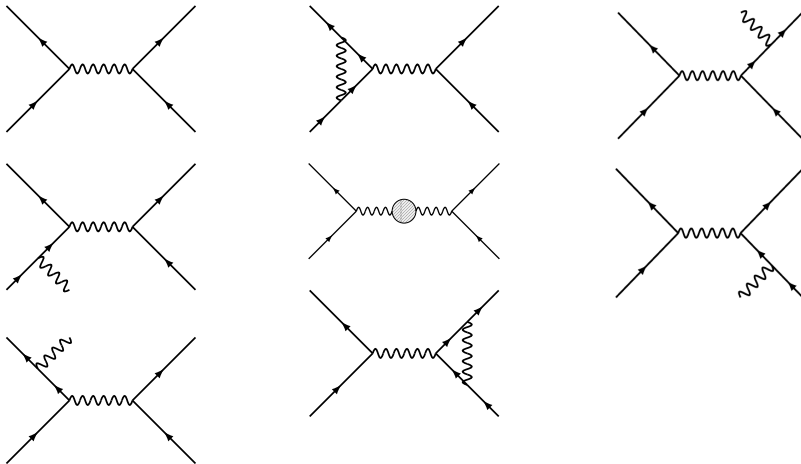
E и σ_E измеряются по процессу $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$.



Постановка эксперимента

- 1.) Сканирование порогового региона по энергии.
- 2.) Установка пороговой энергии.
- 3.) Набор статистики.

Расчёт сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ на пороге



$$\sigma_B(E) = \frac{2\pi\alpha\beta}{E^2} \left(1 - \frac{\beta^2}{3}\right) C(E).$$

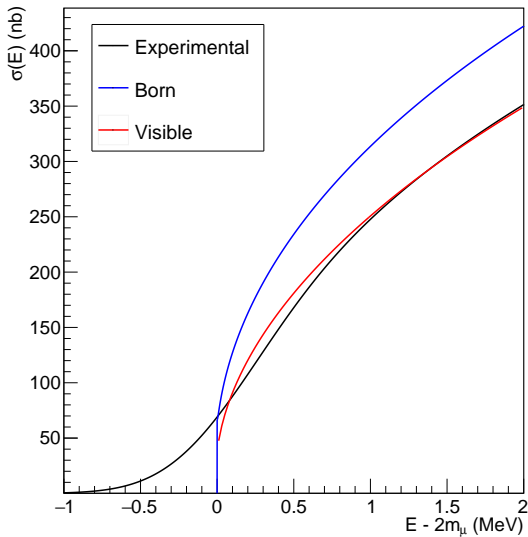
$C(E)$ - фактор Зоммерфельда-Гамова-Сахарова.

$$C(E) = \frac{\eta}{1 - e^{-\eta}}, \quad \eta = \frac{\pi\alpha}{\beta}.$$

$$\sigma_{\text{vis}} = \int_0^{x_{\text{max}}} dx \sigma_B(E\sqrt{1-x}) W(E, x).$$

$$x = 2E_\gamma/E, \quad x_{\text{max}} = 1 - 4m_e^2/E^2.$$

$$\sigma_{\text{exp}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_E} \int_{-\infty}^{\infty} dE \sigma_{\text{vis}}(E) \exp \left[-\frac{(E - E_0)^2}{2\sigma_E^2} \right]$$



$$\sigma_B(2m_\mu) = 65 \text{ нб.}$$

$$\sigma_{vis}(2m_\mu) = 44 \text{ нб.}$$

$$\sigma_{exp}(2m_\mu) = 66 \text{ нб.}$$

Сканирование по энергии

Сканирование проводится по трём точкам. Теоретическое сечение параметризуется сдвигом энергии от порога ΔE , энергетическим разбросом σ_E и эффективностью регистрации ϵ .

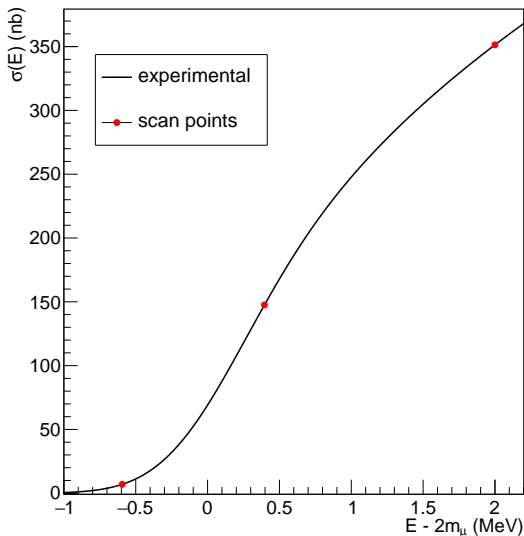
$$\sigma = \sigma_{exp}(E + \Delta E, \sigma_E) \epsilon. \quad (1)$$

После этого генерируется три значения N для проектных значений параметров:

$$N_i = L \sigma_{exp}(E_i; \sigma_E = 400 \text{ кэВ}) t, \quad i = 1, 3. \quad (2)$$

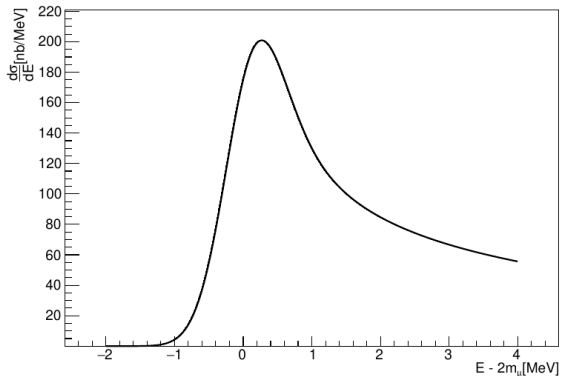
$t = 3600$ с. После этого проводится подгонка полученных значений теоретическим сечением. Точки по энергии затем варьируются так, чтобы ошибка подгонки была минимальной.

E	$2m_\mu - 1.5\sigma_E$	$2m_\mu + \sigma_E$	$2m_\mu + 2 \text{ МэВ}$
$\sigma(\text{нб})$	6.97	147.6	351.4
N	2007	42496	101195



Точность измерения $E = 5$ кэВ.
Точность измерения $\sigma_E = 4$ кэВ.

Контроль энергии в системе центра масс



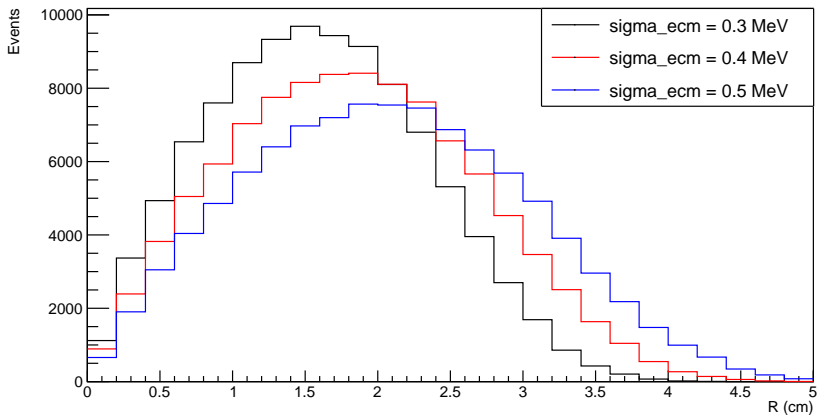
$$\Delta E = \Delta \sigma_{\text{exp}}(E) \left(\frac{d\sigma}{dE} \right)^{-1}$$

$$\Delta \sigma = \frac{\sqrt{N}}{Lt} = \sqrt{\frac{\sigma}{Lt}}$$

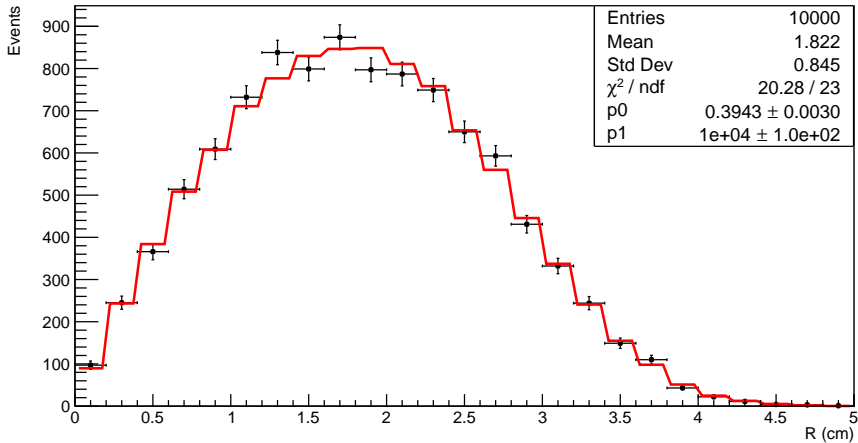
$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sigma}{Lt}} \left(\frac{d\sigma}{dE} \right)^{-1}$$

Контроль E с точностью
60 кэВ/сутки.

Измерение разброса по энергии



σ_E контролируется с точностью ~ 3 кэВ/час.



Заключение

Цель работы: разработать методику измерения энергии в системе центра масс и её разброса на коллайдере мюмюотрон. Для этого необходимо сделать:

- Расчёт сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ на пороге
- Расчёт зависимости производной сечения процесса по энергии от энергии
- Написание программы моделирования процесса с учётом многократного рассеяния и точности детектора

Результаты:

- Проведён расчёт сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ и его производной в припороговой области энергии
- Определены точки для сканирования: $2m_\mu - 1.5\sigma_E$, $2m_\mu + \sigma_E$, $2m_\mu + 2$ МэВ.
- Определена точность измерения энергии и энергетического разброса при сканировании, которая составила 5 кэВ и 4 кэВ соответственно.
- Оценена точность контроля энергии при часовом наборе данных, составляющая ≈ 3 кэВ
- Проведено Монте-Карло моделирование процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ вблизи порога
- Определена точность контроля энергетического разброса, которая составляет ~ 3 кэВ/час