

2014년 고등과학원 겨울학교 프로젝트

고려대학교 물리학과 원은일 (eunil@hep.korea.ac.kr)

2014년 1월

1 필요한 선행 지식

<http://pdg.lbl.gov> 에 따르면

- $m_{\pi}^{\pm} = 139.57018 \pm 0.00035 \text{ MeV}/c^2$
- $m_{\mu}^{\pm} = 105.6583715 \pm 0.0000035 \text{ MeV}/c^2$
- $\tau_{\mu}^{\pm} = 2222.1969811 \pm 0000.0000022 \times 10^{-9} \text{ s}$

이다.

C++ 프로그래밍, 그림 그리기 및 fitting 을 쉽게 할 수 있는 공짜 프로그램 중 입자물리학 실험 분야에서 많이 쓰는 것은 <http://root.cern.ch> 에서 다운받을 수 있다. 아래 프로젝트의 일부를 수행하기 위하여 다운 받아 몇가지의 예제를 돌려서 익숙해 지기를 바란다.

2 제시문 1

[0,1] 구간에서 균일한 분포를 가지는 난수 $\{r_i\}$ 는 컴퓨터에서 쉽게 생성할 수 있다. 그러면 이를 활용하여 주어진 확률밀도함수(probability density function: pdf) $f(x)$ 로 분포하는 $\{x_i\}$ 를 생성하는 방법은 무엇일까? 이를 transformation method 을 써서 구해 보자. 변수 r 이 [0,1] 인 구간에서 $g(r) = 1$ 이고 다른 구간에서는 $g(r) = 0$ 이면

$$\int_{-\infty}^r g(r') dr' = r = \int_{-\infty}^{x(r)} f(x') dx' \quad (1)$$

이 된다. 따라서

$$\int_{-\infty}^{x(r)} f(x') dx' = F(x) - F(-\infty \text{ or } (x_{\min})) \quad (2)$$

가 되어

$$x(r) = F^{-1}(F(-\infty \text{ or } (x_{\min})) + r) \quad (3)$$

이고 위의 $x(r)$ 이 원하는 분포를 만들 것이다.

3 제시문 2

현재 대전 근처에서 건설 중인 중이온 가속기는 양성자를 운동에너지 600 MeV 까지 가속할 수 있다. 이 양성자를 타겟에 충돌시키면 π^+ 중간자가 생성될 수 있다. 이 파이온 중간자들은 타겟 내부에서 움직이면서 에너지를 잃어버린다. (작년에 참가 했던 학생들은 dE/dx , 즉 단위 길이당 잃어버리는 에너지를 계산해 보았을 것이다.) 에너지가 충분히 작은 경우 이 파이온은 타겟의 표면에서 정지하게 된다. 일반적으로 파이온은 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ 로 붕괴할 수 있는데 표면에서 정지한 파이온 붕괴에서 위와 같은 방식으로 방출되는 뮤온을 표면 뮤온 (surface muon) 이라고 한다.

뮤온은 거의 모두 $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ 로 붕괴한다.

4 프로젝트

1. 제시문 1 에서 $f(x) = 1/\xi \exp(-x/\xi)$ 일 경우 $x(r)$ 은 어떻게 표현되는가?
2. 표면뮤온의 운동량 값을 계산해 보시오.
3. 이 표면 뮤온(μ^+)은 그 스핀이 100% 분극되어 있다. 왜 그런지 생각해 보시오. 그렇다면 스핀의 방향은 μ^+ 의 운동량 방향에 대하여 어느 방향으로 분극되어 있는가?
4. 이 표면 뮤온이 정지하여 있다고 가정하자. 정지한 뮤온은 평균수명값에 따라 붕괴한다. 이에 대한 시뮬레이션 코드를 작성하고 시간에 대한 분포를 그린 다음, 이를 fit 하여 평균 수명값을 한번 계산해 보자. 평균 수명값을 1%의 오차로 계산하려면 몇개의 이벤트를 생성해야 하는가? 위의 pdg 값의 정확도를 가지려면 몇개의 이벤트가 필요한가?

5. (advanced) 정지한 분극되지 않은 뮤온의 붕괴에서 양전자의 에너지 분포는 어떻게 되는가? 이를 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 검증해 볼 수 있는가?