

## 새로운 입자의 질량 측정

LHC는 양성자-양성자 충돌에너지가 14 TeV가 되어 질량이 큰 (색전하를 띤) 초대칭 입자도 다량 생성할 수 있다. 이 입자들은 생성 후 바로 연쇄적인 여러 2체 붕괴과정을 통해 더 가벼운 입자들로 붕괴한다. 이 경우 여러 불변질량분포(invariant mass distributions)등을 측정해 새 입자의 질량에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그 질량정보를 얻는 방법과 다른 상황에 적용되는 방법을 다음 문제를 풀어 가면서 구체적으로 알아 보자.

(가) LHC에서 임의의 운동량을 가지고 생성된 (쿼크의 초대칭 짝인) 초쿼크( $\tilde{q}$ )는 다음 연쇄붕괴과정을

$$\tilde{q} \rightarrow q\chi_2 \rightarrow q(\ell^-\tilde{\ell}^+) \rightarrow q(\ell^-[\ell^+\chi_1]) \quad (1)$$

을 통해 최종적으로 쿼크( $q$ )와 경입자쌍( $\ell^+\ell^-$ ) 그리고 검출되지 않는 가장 가벼운 뉴트랄리노( $\chi_1$ )로 붕괴한다. 상대론적 운동학(relativistic kinematics)을 활용하여 경입자쌍 불변질량  $m_{\ell\ell}$ 의 최대값과 최소값을 구하라. (쿼크와 경입자의 질량은 영이라고 가정한다.)

(나) 위와 동일한 연쇄반응과정에서 첫 번째 붕괴에서 생성된 쿼크( $q$ )와 두 번째 붕괴과정에서 생성된 경입자( $\ell^-$ )의 불변질량  $m_{q\ell^-}$ 의 최대값과 최소값을 구하라.

(다) 전자-양전자 가속기에서 총 질량중심에너지  $E_{\text{cm}}$ 가 고정되어 있다. 따라서 전자-양전자 충돌로 생성된 스핀 영인 초뮤온 입자쌍( $\tilde{\mu}^\pm$ ) 각각의 에너지는  $E_{\text{cm}}/2$ 로 고정되어 있다. 이 초뮤온( $\tilde{\mu}^\pm$ )이 2체 붕괴를 통해 경입자 뮤온( $\mu^\pm$ )과 검출할 수 없는 가장 가벼운 뉴트랄리노( $\chi_1$ )로 붕괴한다고 하자. 초뮤온 쌍생성과 붕괴과정이 결합된 다음 반응과정

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\mu}^+\tilde{\mu}^- \rightarrow (\mu^+\chi_1)(\mu^-\chi_1) \quad (2)$$

에서 생성된 뮤온( $\mu^-$ )의 에너지 분포를 구하라. 그리고 그 에너지의 최대값과 최소값을 측정하면 초뮤온( $\tilde{\mu}^\pm$ )과 뉴트랄리노( $\chi_1$ ) 질량을 결정할 수 있음을 보여라.

(라) 양성자-반양성자 충돌실험에서는 초뮤온쌍 생성과정이 다양하며 각 과정의 총 질량중심에너지도 고정되어 있지 않다. 그 중 한 과정인 쿼크( $q$ )와 반쿼크( $\bar{q}$ )의 충돌을 통한 생성과정

$$q\bar{q} \rightarrow \tilde{\mu}^+\tilde{\mu}^- \rightarrow (\mu^+\chi_1)(\mu^-\chi_1) \quad (3)$$

에서 초뮤온( $\tilde{\mu}^\pm$ )과 뉴트랄리노( $\chi_1$ ) 질량을 결정하는 방법을 강구해 보라.