

## Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Bu probleme başlamadan önce ayrı bir zarfta verilen genel talimatları lütfen okuyunuz.

Bu görevde, CERN' de bulunan parçacık hızlandırıcısının LHC ( Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) fiziğini inceleyeceğiz. CERN dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarıdır. Temel amacı doğanın temel yasaları hakkında fikir edinmektir. İki parçacık ışını, kuvvetli manyetik alanlarla yönlendirildikleri hızlandırıcı içinde yüksek enerjilere çıkarılarak çarpıştırılırlar. Protonlar hızlandırıcının çevresi etrafında düzgün bir şekilde yayılmazlar, aksine demetler şeklinde kümeleşirler. Çarpışmaların ürettiği parçacıklar büyük dedektörler ile gözlemlenirler. LHC ile ilgili bazı büyüklükler tablo 1'de gösterilmiştir.

LHC halkası	
Halkanın çevresi	26659 m
Proton ışını başına demet sayısı	2808
Demet başına proton sayısı	$1.15 \times 10^{11}$
Proton ışınları	
Protonların enerjisi	7.00 TeV
Kütle merkezi enerjisi	14.0 TeV

Tablo 1: LHC ile ilgili bazı büyüklüklerin tipik değerleri

Parçacık fizikçileri enerji, momentum ve kütle için uygun birimler kullanırlar: Enerji [eV] cinsinden ölçülür. 1 eV , temel yüke sahip bir parçacığın bir voltluk potansiyel farktan geçtiğinde kazandığı enerji miktarı olarak tanımlanır ( $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ ).

Momentum  $\text{eV}/c$  birimi ile, kütle ise  $\text{eV}/c^2$  birimi ile ölçülür. Burada  $c$  ışığın boşluktaki hızıdır. 1 eV çok küçük bir değer olduğundan, parçacık fizikçileri genellikle MeV ( $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$ ), GeV ( $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ ) veya TeV ( $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$ ) birimlerini kullanırlar.

Kısım A, protonların veya elektronların ivmeleri ile ilgilidir. Kısım B, CERN'deki çarpışmalarda ortaya çıkan parçacıkların tanımlanması ile alakalıdır.

### Kısım A. LHC hızlandırıcısı ( 6 puan )

#### Hızlanma:

Parçacıkların  $V$  potansiyel farkında ışık hızına çok yakın bir hıza çıkarıldığını ve radyasyon yolu ile yada diğer parçacıklarla çarpışmadan dolayı enerji kaybı yaşanmadığını kabul ediniz.

**A.1** Protonların son hızı  $v$  'yi  $V$ 'nin ve diğer fiziksel sabitlerin bir fonksiyonu olarak yazınız. 0.7pt

Gelecekte CERN'de yapılması planlanan bir deneyde LHC'deki protonların, 60.0 GeV enerjili elektronlarla çarpıştırılmaları düşünülmektedir.

- A.2** Yüksek enerjili ve düşük kütleli parçacıklar için  $v$  son hızlarının ışık hızından bağıl sapması olarak tanımlanan  $\Delta = (c - v)/c$  değeri çok küçüktür.  $\Delta$  değeri için birinci dereceden bir yaklaşım bulunuz ve  $\Delta$  değerini hızlandırma voltajı  $V$  ve fiziksel sabitler cinsinden, 60.0 GeV enerjili elektronlar için hesaplayınız. 0.8pt

LHC 'deki protonlara tekrar dönelim. Işın şeritinin dairesel bir şekle sahip olduğu kabul ediniz.

- A.3** Proton ışını dairesel bir yörüngede tutmak için gerekli düzgün manyetik akı yoğunluğu  $B$  'yi veren ifadeyi bulunuz. İfade sadece protonların enerjisi  $E$ , çevre uzunluğu  $L$ , temel sabitler ve sayılar içermelidir. Eğer en küçük anlamlı rakam tarafından belirlenen kesinlikten küçük bir etkisi varsa uygun yaklaşımlar kullanabilirsiniz.  $E = 7.00$  TeV enerjili bir proton için manyetik akı yoğunluğu  $B$  'yi hesaplayınız. Protonlar arasındaki etkileşimi yok sayınız. 1.0pt

### Yayılan Radyasyon Gücü:

Hızlandırılan yüklü parçacıklar elektromanyetik dalga formunda enerji yayarlar. Sabit açısız hızla dönmekte olan yüklü bir parçacığın yaydığı güç  $P_{\text{rad}}$  sadece ivmesine  $a$ , yüküne  $q$ , ışık hızına  $c$  ve boş uzayın geçirgenliğine  $\epsilon_0$  bağlıdır.

- A.4** Boyut analizi kullanarak, yayınlanan güç  $P_{\text{rad}}$  'yi veren ifadeyi bulunuz. 1.0pt

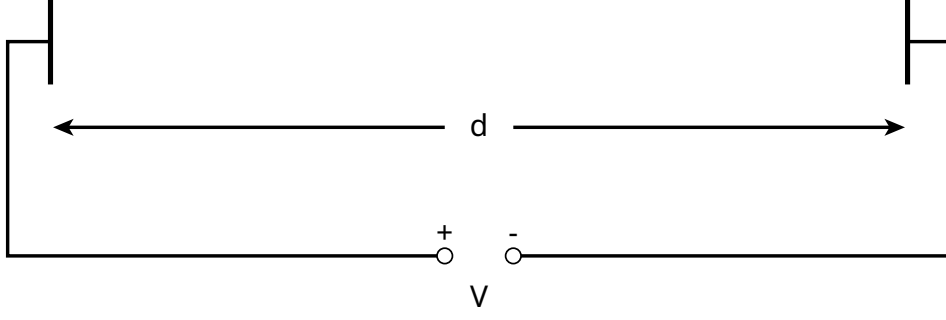
Yayınlanan enerjiyi veren gerçek ifadede  $1/(6\pi)$  faktörü vardır; dahası, tamamen rölativistik çıkarımda fazladan  $\gamma^4$  çarpım faktörü de gelir. Burada  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$ .

- A.5**  $E = 7.00$  TeV enerjili bir proton için LHC 'nin yayınladığı toplam güç  $P_{\text{tot}}$  'ı bulunuz. (Tablo 1'e başvurunuz.) Uygun yaklaşımları kullanabilirsiniz. 1.0pt

### Doğrusal Hızlandırıcı:

CERN'de, durgun protonlar  $d = 30.0$  m uzunluğundaki doğrusal hızlandırıcılar kullanılarak  $V = 500$  MV 'luk potansiyel fark altında hızlandırılırlar. Elektrik alanın homojen olduğunu kabul ediniz. Doğrusal bir hızlandırıcı Şekil 1'de gösterildiği gibi iki plakadan oluşur.

- A.6** Protonların bu alanı geçmesi için gerekli olan  $T$  süresini hesaplayınız. 1.5pt



Şekil 1: Hızlandırıcı modülünün gösterimi

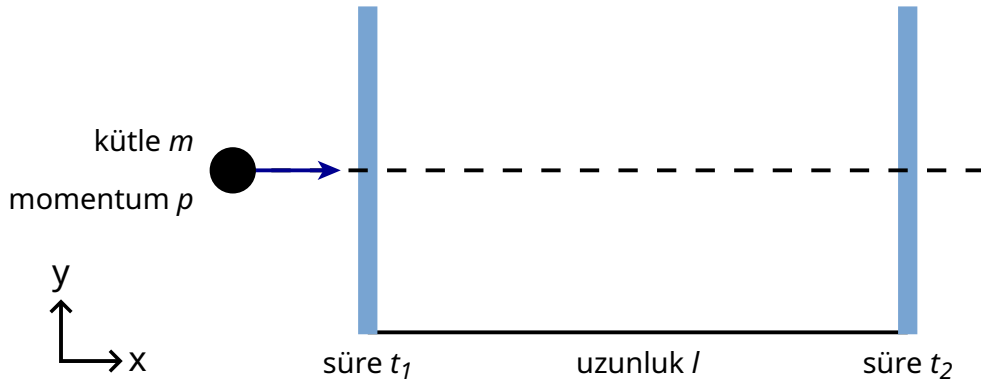
## Kısım B. Parçacık tanımlama ( 4 puan )

### Uçuş süresi

Etkileşim sürecini yorumlayabilmek için çarpışmada oluşan yüksek enerjili parçacıkların tanımlanabilmeleri önemlidir. Bunu yapmanın kolay bir yolu, momentumu bilinen bir parçacığın uçuş süresi dedektörü (ToF) içindeki  $l$  mesafesini geçmesi için gerekli süreyi  $t$ 'yi ölçmektir. Dedektörde tanımlanan bazı parçacıklar kütle değerleri ile birlikte tablo 2' de verilmiştir.

Parçacık	Kütle [MeV/c <sup>2</sup> ]
Dötron	1876
Proton	938
Yüklü Kaon	494
Yüklü Pion	140
Elektron	0.511

Tablo 2: Parçacıklar ve kütleleri.

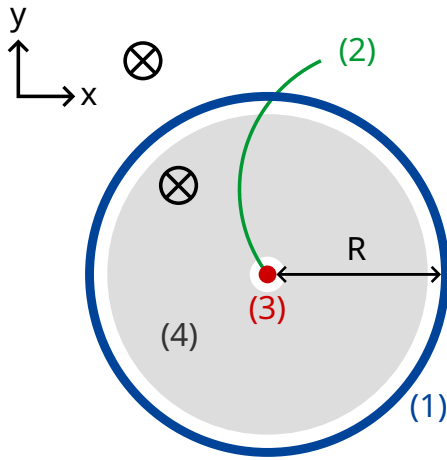


Şekil 2: Uçuş süresi dedektörünün şematik gösterimi.

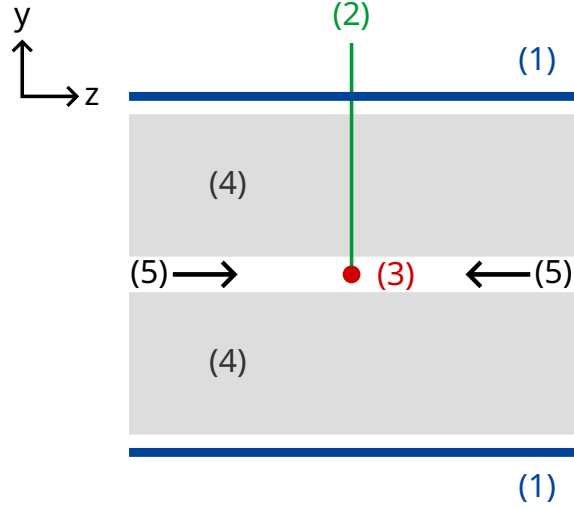
- B.1** Parçacığın kütlesi  $m$ 'yi , momentum  $p$ , uçuş uzunluğu  $l$ ve uçuş süresi  $t$  cinsinden ifade ediniz. Parçacıkların ToF ( uçuş süresi dedektörü ) içinde, düz bir yol boyunca yüksek hızlarda ( $c$ 'ye yakın ) hareket ettiklerini ve temel yük  $e$ 'ye sahip olduklarını kabul ediniz . Aynı zamanda parçacıkların detektörün iki plakasına dik hareket ettiklerini kabul ediniz.( Şekil 2'ye bakınız) 0.8pt

- B.2** Her biri  $1.00 \text{ GeV}/c$  momentuma sahip yüklü kaon ve yüklü pion'u güvenle ayır- 0.7pt  
dedebilecek ToF ( uçuş süresi dedektörü )'nün en küçük  $l$  uzunluğunu hesap-  
layınız. İyi bir ayırım yapabilmesi için uçuş süresindeki farkın dedektörün süre  
çözünürlüğünün üç katından fazla olmalıdır. ToF ( uçuş süresi dedektörü ) için  
tipik çözünürlük  $150 \text{ ps}$  ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ )'dir.

Aşağıda, tipik bir LHC dedektöründe üretilen parçacıklar, iz dedektöründen ve ToF ( uçuş süresi dedektörü )'den oluşan iki kademeli bir dedektörde tanımlanır. Şekil 3, kurulumun proton ışınlarına göre enine ve boyuna düzlemlerdeki görünümünü göstermektedir. İki dedektör de, merkezinden ışının geçtiği etkileşim alanını çevreleyen tüplerdir. İz dedektörü, yönü proton ışınlarına paralel olan manyetik alandan geçen yüklü parçacığın izlediği yolu ölçer. Bu yolun yarıçapı  $r$  kullanılarak parçacığın enine momentumu  $p_T$  belirlenebilir. Çarpışma zamanı bilindiğinden, uçuş süresini ( çarpışma ile ToF 'un saptadığı an arasındaki süre ) ölçmek için ToF ( uçuş süresi dedektörü )'un sadece tek bir tüpe ihtiyacı vardır. Bu ToF tüpü iz dedektöründen hemen dışına yerleştirilmiştir. Bu görevde, çarpışma tarafından oluşturulan tüm parçacıkların proton ışınına dik hareket ettiğini, yani oluşan parçacıkların proton ışınları yönünde momentumlarının olmadığını, kabul edebilirsiniz.



enine düzlem



Işın çizgisi boyunca  
tüpün merkezinde  
boyuna görünüm

- (1) - ToF tüpü
- (2) - İzlediği yol
- (3) - çarpışma noktası
- (4) - iz tüpü
- (5) - proton ışınları
- ⊗ - manyetik alan

Şekil 3 : İzleme odası ( İz dedektörü ) ve ToF dedektörü ile oluşturulan parçacık tanımlama deney kurulumu. Her iki dedektör de, ortadaki çarpışma noktasını çevreleyen tüplerdir. Solda: Işına dik olarak enine gösterim. Sağda: ışına paralel olarak boyuna gösterimdir. Parçacık ışına dik olarak hareket etmektedir.

**B.3** Parçacığın kütesini, manyetik akı yoğunluğu  $B$ , ToF tüpünün yarıçapı  $R$ , temel sabitler ve ölçülmüş büyüklükler : izlediği yolun yarıçapı  $r$  ve uçuş süresi  $t$ , cinsinden yazınız. 1.7pt

Dört parçacık belirledik ve bunları tanımlamak istiyoruz. İz dedektöründeki manyetik akı yoğunluğu  $B = 0.500 \text{ T}$  'dir. ToF tüpünün yarıçapı  $R$ 'nin değeri  $3.70 \text{ m}$  'dir. Yapılan ölçümler şunlardır (  $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$  )

Parçacık	İzlediği yolun yarıçapı $r$ [m]	Uçuş süresi $t$ [ns]
A	5.10	20
B	2.94	14
C	6.06	18
D	2.31	25

**B.4** Kütlelerini hesaplayarak dört parçacığı tanımlayınız. 0.8pt