



MIT Açık Ders Malzemeleri  
<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanın:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002*  
(Massachusetts Teknoloji Enstitüsü: MIT Açık Ders Malzemeleri).  
<http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative  
Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı olarak gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

## Transkript – Ders 13 B-alanlarında Hareketli Yükler

Evet, sınavda iyi yaptınız.

Sınıf ortalaması 62 idi.

Her zaman 65'i hedeflerim, bu yüzden çok mutlu oldum.

11 öğrenci 100 puan aldı.

Sınav hazırlığı dersimin son derece dürüst olduğuna inanıyorum.

Bazı asistanlara göre, belki de aşırı derecede yardım ediciymiş.

Paralel dirençler ve batarya ile ilgili bir soru çözdüm.

Gauss Yasasını silindirik simetriye uyguladım.

Yüklerin, iletkenlerin nerelerinde görüldüğü ve nerelerinde ise yerleşemediği tartışmasına zamanımın büyükçe bir kısmını harcadım; kapasitör ve dielektriklere de çok fazla vurgu yaptım.

Geçme ve kalma arasındaki ince çizgi hakkında düşünmemeyi yeğlerim; ama benim kitabımda, 47'den daha düşük puan alanların tehlikeli bölgeye girdiğini de söylemeliyim.

Bu, gene de, bu dersten başarısız olacaksınız anlamına gelmez; şimdi 70 almanız da, bu dersi geçeceksiniz anlamına gelmez.

Fakat bu öğrenciler tehlikeli bölgededirler.

Sanırım, asistanınızla konuşmalısınız ve bu öğrencilere ayrıca bizim özel eğitmenlerimizden yararlanmalarını tavsiye ederim.

Gireceğiniz iki sınav artı final var.

Bugün önünüze tamamen yeni bir dünya sereceğim; Elektromanyetizmanın buraya çok doğal bir biçimde nasıl girdiğini göreceksiniz.

Lorentz kuvveti  $F$ , yük çarpı bu yükün hızı ile yük üzerine etkiyen  $B$  alanının vektörel çarpımıdır.

Burada bir artı  $q$  yüküm olsun; onun bu yöndeki hızı  $v$ , manyetik alan düzgün ve tahtadan dışarı doğru olsun. Bu bağıntıya göre, bu yük üzerine bir kuvvet uygulanacak ve bu kuvvet, bunun gibi olacaktır.

$v$ 'ye ve  $B$ 'ye dik.

Bu durumda yüklü parçacık bir daire etrafında hareket edecektir.

Lorentz kuvveti hızı değiştirmez, kinetik enerjiyi değiştirmez; çünkü kuvvet her zaman hıza diktir, fakat hızın yönünü değiştirebilir.

Ve böylece göreceğiniz şey, manyetik alan sabitse, yüklü parçacığın mükemmel bir çember üzerinde dönmesidir.

Ve bu çemberin yarıçapı, Elektromanyetizma bilgilerimizi kullanarak kolayca hesaplanabilir.

Kuvvet  $qvB$ 'dir. Çünkü  $B$ 'yi  $v$ 'ye dik seçtim; böylece işaret yok, onlar arasındaki açının değeri  $1$ 'dir ve bu şimdi Mekanik'de karşılaştığımız merkezci kuvvet olmalıdır.  $O$ ,  $m v^2$  bölü  $R$ 'dir;  $m$ , parçacığın kütlesidir.

Ve böylece  $R$  eşittir  $m v$  bölü  $qB$  bulursunuz.

Ve bu arada hatırlatmak isterim;  $m v$ , parçacığın momentumudur.

Bu denkleme bakarsanız, hoş bir denklemdir.

Eğer yük büyükse, Lorentz kuvveti büyüktür ve bu yüzden yarıçap küçüktür.

Eğer manyetik alan büyükse, o zaman Lorentz kuvveti büyüktür ve bu yüzden yarıçap küçüktür.

Eğer parçacığın kütlesi büyükse, büyük bir eylemsizliği vardır ve bu yüzden, denebilir ki, onu döndürmek çok zordur; dolayısıyla kütle çok büyükse, çok büyük bir yarıçap beklersiniz.

Ve böylece sezgisel olarak doyurucu görünüyor.

Bir sayısal örnek yapalım.

Bir proton alalım, onu  $p$  ile gösteririz; 1 MeV'luk bir proton olsun.

Sınav hazırlığı dersinde aldığım la aynı.

1 MeV, 1 MeV'lik kinetik enerji demek olup, yük çarpı protonun ivmelendirildiği potansiyel farkıdır. Bu durumda  $\Delta V$ , 1 milyon voltur.

Ve bu, bir bölü iki çarpı protonun kütlesi çarpı hızının karesine eşittir.

Bu durumda 1 MeV'im varsa, yani bir milyon volt, bunun 1.6 çarpı 10 üzeri -13 joule olduğunu bulacaksınız.

Burada protonun yükünü verdim, siz onu bir milyonla çarpın, işte bu enerjidir.

Böylece protonun kütlesini bildiğiniz için, hızını hesaplayabilirsiniz.

Bunu da orada verdim.

Böylece, sınav hazırlığı esnasında bulduğunuzla tamamen aynı sonucu bulacaksınız: 1.4 çarpı 10 üzeri 7 metre bölü saniye. Bu ışık hızının % 5'idir. Oldukça düşük, bu yüzden rölativistik düzeltme yapmanıza gerek yoktur.

Eğer bu proton şimdi 1 Teslalık B manyetik alanına girerse, o zaman burada elde ettiğim denklemi kullanarak, protonun kütlesini bildiğimizden, hemen hızını hesaplarız.

Protonun yükünü ve B manyetik alanını biliyorsunuz.

R'nin 0.15 metre yani 15 santimetre olduğunu bulursunuz; bu sadece sayısal bir örnek.

Orada hızı o denklemden yok etmek ve bu parçacıkları hızlandırdığımız V potansiyel farkıyla onu değiştirmek oldukça yaygındır ; en azından bu sık sık yapılır.

Böylece yapabileceğiniz şey, orada elde ettiğim bir bölü iki  $m v^2$  denklemini kullanarak bu  $v$ 'yi yer değiştirmektir. Böylece bir bölü iki  $m v^2$  eşit  $q$  çarpı delta V var; bunun için büyük V yazacağım ve böylece artık hızı görmüyorum, ama bu potansiyel farkını görüyorum.

Bu proton durumunda, bu V bir milyon olacaktı ve o zaman R'yi, karekök  $2m$  çarpı büyük V bölü  $q$  B'nin karesi olarak bulursunuz.

Böylece iki denklem fiziksel olarak aynıdır, ancak farklı gösterimlerdir.

Eğer V için şimdi 10 üzeri 6 yazarsanız, protonun kütlesi, protonun yükü ve 1 Tesla alan, elbette siz tam olarak aynı 0.15 metreyi bulursunuz.

Şimdi bu çok iyi; fakat bu, hızın, ışık hızından çok daha küçük olduğu sürece geçerlidir.

Eğer durum böyle değilse, o zaman özel rölativiteyi uygularız; gerçi bu dersin konusu değil ama ona bugün biraz değinmek istiyorum.

Bir şeylerin nasıl kötüye gittiğini size göstereyim şimdi. 500 kilo-elektron-voltluk bir elektrona sahip olduğumuzu varsayalım.

Bu demektir ki, buradaki denklemdaki  $V$ , 500.000 voltur.  $q$  elektronun yükü,  $m$  şimdi elektronun kütlesidir. Bu denklemi uygularsam,  $v$ 'nin 4.2 çarpı on üzeri 8 metre bölü saniye olduğunu bulurum ki, bu ışık hızından daha büyüktür; dolayısıyla bu açıkça mümkün değildir.

Rölativistik düzeltme yaparsanız, gerçek hız 2.6 çarpı 10 üzeri 8 metre bölü saniye çıkar.

Sizden rölativistik düzeltme yapmanızı beklemiyorum, ama bugün bunu yapacağım ve niçin yapmam gerektiğini göreceksiniz. Bu denklemlerden sizi sorumlu tutmayacak olmama karşın, gerçekte bunun çok zor olmadığını da göstermek istiyorum.

Böylece burada sahip olduğum şey kinetik enerji ve o gene  $qV$ 'dir; o değişmiyor, fakat artık bir bölü iki  $mv^2$  değil, fakat gama eksi 1 çarpı  $mc^2$ ; gama burada Lorentz çarpanı olarak tanımlanır. Böylece elektron için  $V$ 'nin 500000 olduğunu bilerseniz, ilk denklemden gammanın ne olduğunu hesaplayabilirsiniz. Sonra ikinci denkleme giderseniz ve hızı bulabilirsiniz; o zaman asla ışık hızından daha büyük bir hız bulamayacağınızı görürsünüz.

Yarıçap için de bu düzeltmeyi yapmak zorundayız ve bu düzeltmeler göreceli olarak daha kolay olur.

Bu şimdi bir gama çarpanı gerektirir --bunu tahtanın üst kısmında orada görüyorsunuz-- ve bu, 2 gama artı 1 ile değiştirilmelidir; o zaman her şey tamam olur.

Bunu bilmenizi beklemiyorum; fakat tüm bu rölativistik düzeltmelerin gökyüzünden geldiğini düşünmenizi istemem, ne de onun çok zor olduğunu düşünmenizi. ..

Gerçekten de öyle değildir. Bu denklemler son derece açıktır.

Bu yüzden, şimdi henüz tartıştığımız sonuçlardan bazılarını size göstermek istiyorum.

1 MeV proton ve 500 keV elektron, bu Web'de var.

Siz Ders Eklentilerine tıklarsanız, kendinize bir kopyasını alabilirsiniz.

Böylece, burada kinetik enerjiyi görüyorsunuz; 1 MeV'lik proton.

Bir düzeltme yapmak zorunda değilsiniz.

1 Teslalık bir alanda 15 santimetrelık bir yarıçap elde edilir. Onu biraz önce hesapladık.

50 MeV'luk bir protona giderseniz, o, rölativistik ile rölativistik-olmayan arasındaki sınır çizgisidir.

Hâlâ yeterince rölativistik değilse, yarıçapın büyük  $V$ 'nin karekökü ile değiştiğini açıkça görebilirsiniz.

50 MeV için, büyük  $V$  50 milyondur; 1 MeV için büyük  $V$  1 milyondur.

$V$ 'nin karekökü ile değiştiği için, kabaca yarıçapın 50'nin karekökü, yani 7 kez daha büyük olmasını beklersiniz ve gerçekten bunu görüyorsunuz.

Böylece yarıçapın 15 santimetreden yaklaşık 1 metreye gittiğini görürsünüz.

İşte 500 KeV'lik elektronumuz ve hesaplamayı doğru bir şekilde yaptığımıza dikkat edin.

Bu şimdi rölativistik olarak düzeltilmiştir.

Burada gördüğünüz formalizmi uygulayarak, 2.6 çarpı 10 üzeri 8 metre bölü saniye elde edersiniz.

Bunu bu ders boyunca burada tutacağım; çünkü buna birkaç kez döneceğim.

Hoş bir gösteri deneyi yapmak istiyorum.

Burada bir elektron tabancam var ve elektronlar böyle geliyor. Bu, elektronların hızı..

Onların elektron olduğunu hatırlamanız için buraya bir eksi işareti koyacağım.

Elektronlar bu yönde giderse, akım bu yöndedir.

Bir manyetik alanımız var olduğunu kabul edelim; bu manyetik alan tahtadan içeri olsun. Bu,  $B$ 'dir.

Bu durumda kuvvetin yönü,  $I$  vektörel çarpım  $B$  'dir.

$I$  bu yöndedir,  $B$  tahtadan içeri yöndedir.

Böylece eğer yanılmıyorsam, sanırım kuvvet bu yöndedir ve böylece onun bu yönde eğilmeye başlayacağını görebilirsiniz.

Eğer manyetik alanın yönünü değiştirirseniz, yani manyetik alan tahtadan dışarı doğru yönelmişse, elektron bu yönde gidecektir. Burada size onu göstereceğim.

Bu, orada yaptığım televizyon programında gerçekleştirdiğim görüntüyü bozma yani distorsiyon deneyinden çok farklı değildir; güçlü bir mıknatısım vardı ve görüntüyü bozmuştuk, ama elbette ki bu biraz daha kontrollü.

Böylece orada bir görüntü göreceğiz ve onu biraz karanlık bir odada yapmak istiyorum.

Hahhhhh. Ve elektron tabancasını açıyorum.

Böylece elektron tabancası elektronları bir floresan ekrana çarptırır; elektronları ancak böyle görürsünüz; burada bir çubuk mıknatısım var; bu çubuk mıknatısı onun arkasına tutuyorum, o zaman az çok buna benzer bir durum oluşturabiliyorum.

Mıknatısı ters çevirebilirim ve o zaman sapma yönü değişecektir. Böylece buraya bir mıknatısla geliyorum ve görüyorsunuz ki elektronlar yukarıya doğru sapıyor.

Mıknatısı döndürüyorum ve tekrar yakına geliyorum ve onlar aşağı doğru sapıyor.

Çok açık, çok basit.

Tamam.

Fizikte olağanüstü bir yöntem vardır. Onunla bir elementi izotoplarına ayırabiliriz.

Örneğin, Uranyumu ele alırsak, Uranyumun % 99.3'ünün Uranyum-238 olduğunu bulursunuz.

Bu, onun 92 protona, -yoksa uranyum olmaz-, ve 146 nötrona sahip olduğu anlamına gelir; % 99.3.

Binde 7 'si Uranyum-235 'tir.

Gene 92 proton, -yoksa uranyum olmazdı-, fakat sadece 143 nötron... Ve onu doğada binde 7 bollukta bulacaksınız.

Böylece bir kimyacıya gider, ona biraz uranyum verirsiniz ve “lütfen bu iki izotopu benim için ayırır mısınız?” dersiniz. O elbette size güler ve “haydi, çek arabanı” der. Çünkü kimyasal özellikler iki izotop için de tamamen aynıdır. Çünkü Uranyum Uranyumdur.

Bunda nötr uranyum 92 elektrona sahiptir ve bunda da nötr uranyum 92 elektrona sahiptir; bu yüzden onları birbirinden ayrılacak bir yöntem yoktur.

Ve şimdi ben sizlere “kütle spektrometresi” dediğimiz bir düzenele onların nasıl ayrılacağını göstereceğim.

Uranyumu iyonlaşması için ısıtırsınız.

Onun bir kez iyonize olduğunu varsayalım; böylece o bir elektron kaybeder ve bir birim pozitif olarak yüklenir. Bu yüklerden birini burada görüyorsunuz.

Ve biz şimdi onları bir potansiyel farkı altında hızlandırırız; böylece uranyum atomları, yani 235 ve 238 belli bir hız kazanır ve onlar buraya bu v hızı ile gelirler. Onlar pozitif yüklüdürler. Ve varsayalım düzgün bir manyetik alana sahibiz: bu yönde, tahtadan dışarı doğru.

Böylece, bir birimlik pozitif yüklü bu parçacıklar bir çember çizecekler ve buraya çarpacaklardır.

Bu yarıçaptır.

Fakat şuradaki bu denklemlere bakarsanız; yarıçapın, parçacığın kütlesinin kareköküyle orantılı olduğunu görürsünüz: 238'in kütlesi, 235'in kütlesinden %1.2 kadar büyüktür.

Demek ki, bir kütle diğerinden %1.2 daha büyük; burada kütlelerin kare-köküne sahibiz, görüyorsunuz; onları aynı potansiyel fark altında hızlandırıyoruz, böylece bu değişmiyor.

Değişen tek şey bu -- kütle.

Böylece yarıçapta %0.6'lık bir değişim beklenir ve böylece 238 burada son bulur.

Ben onu oldukça fazla abarttım.

Ve 235 burada son bulacak.

238 daha büyük yarıçapa sahiptir, çünkü daha büyük kütlelidir ve onu burada görürsünüz.

B'de bir değişme yok, q'da bir değişme yok ve büyük V'de de bir değişme yok.

Onları aynı potansiyel farkı altında hızlandırıyoruz.

Ve böylece bu kütle spektrometresinin yarıçapı, örneğin 1 metre olsaydı, o zaman fark burada -- hatırlayın bu  $2R$ 'dir—fark yaklaşık 1.2 santimetre çıkacaktı ve burada bir toplayıcınız var; siz 238 çekirdekli atomlarınız burada birikir ve 235 çekirdekleriniz ise burada birikir. İşte, kütle spektrometresinin arkasındaki fikir budur.

Bu özel örneği niçin seçtim?

Çünkü, bu örnek bizim dünyamızı değiştirdi ve tarihe geçti.

İkinci Dünya Savaşını sona erdirmek amacıyla bir atom bombası yapmak için Amerikalılar tarafından Uranyum 235'e ihtiyaç duyuldu.

Bu, ünlü Manhattan Projesi altında yapıldı.

Ve Berkeley'den Ernest Lawrence, Uranyum-238'den 235'i ayırabilen bir kütle spektrometresi yaptı.

Başlangıçta o çok yavaş işlemişti, --yaklaşık günde 100 mikrogram.

Fakat bir atom bombası için birkaç kilogram gerekiyordu.

Onlar sonunda günde 1 grama kadar elde etmeyi başardılar ve gaz difüzyon teknikleri, --burada bunu tartışmayacağım--, gibi diğer ayırma teknikleri ile beraber



birkaç kilogram elde etmeyi becerebildiler ve 6 Ağustos 1945'te Hiroshima'ya bir bomba attılar ve üç gün sonra Nagasaki'ye bir bomba daha attılar.

Japonlar teslim oldular ve 2. Dünya Savaşı son buldu.

Kütle spektrometresinin günümüzde birçok barışçıl uygulamaya sahip olması, özellikle tıp alanında, iyi bir şey.

İnsanlar bazen radyasyona ihtiyaç duyarlar, özel bir radyoaktif izotoptan radyasyona ihtiyaç duyulur; fakat aynı elementin diğer izotopları istenmez. İşte o zaman onları kütle spektrometresi ile ayırırsınız.

Bu, tam anlamıyla bir endüstridir; çok önemli bir endüstri.

Protonları, neredeyse ışık hızına yaklaşan yüksek hızlara nasıl hızlandıracağınız konusunda konuşmak isterim.

Bu, aynı zamanda Ernest Lawrence'e saygınlık kazandıran bir konudur.

İlk günlerde bu hızlandırma bir siklotronla yapılmıştı. Onu şimdi size tanımlayacağım.

Siklotron D ile isimlendirilen iki odadan oluşur.

Bu bir D ve burası diğer D. Bunlar iletken odalardır.

Bu taraftan bakarsanız bunun gibi görünür.

Bu sol oda ve bu sağ oda ve bunların hepsi vakumdalar ve tahtadan bize doğru olan, bunun gibi, bir manyetik alanımız var.

Gene şu bizim 1 MeV'lik protonumuzu alalım.

1 MeV'lik bir protonu bu odaya bıraktığımızı varsayalım; onun hangi hızla çıktığını biliyorum, çünkü 1 MeV'lik proton – Ohh, onu hala orada görüyorsunuz, 1.4 çarpı 10 üzeri 7 metre bölü saniyelik bir hıza sahiptir.

Ayrıca, alanın 1 Tesla olduğunu biliyoruz; bunu 1 Tesla yapalım, bu yarıçap 15 santimetre olacak. Yukarıda onu görüyorsunuz.

Böylece bu proton ne yapacak? O, bunu yapacak.

Fakat o buraya geldiğinde, bu iki D arasında bir potansiyel farkıyla karşılaşır. Böylece bu yüksek potansiyelde ve bu düşük potansiyelindedir.

Dolayısıyla bu aralıkta bu yönde bir elektrik alan var ve bu proton hızlanmış olacak.

Bu potansiyel farkın 20 kilovolt olduğunu varsayalım.

O zaman bu proton kinetik enerji kazanacak, 20 kilo elektron voltluk kinetik enerji.

Bu, elektron voltu tanımlamanın yoluydu.

Ve böylece siz 1 MeV'le başlarsınız, o bu aralığı 1.02 MeV'le geçer.

20 KeV daha fazla.

Yarıçap şimdi daha büyüktür.

Eğer büyük-V % 2 kadar artarsa, bu denkleme baktığımda, yarıçapın % 1 kadar arttığını görürüm. Böylece proton buraya çıkar ve bir çember çizer. Yarıçap şimdi 15 santimetreden % 1 kadar daha büyüktür.

Fakat o bu D parçasına geldiğinde potansiyel fark ters döner ve böylece elektrik alan gene bu yönde, protonun yönünde olur ve böylece gene 20 kilo elektron volta kadar ivmelendirilir.

Şimdi elbette yarıçap daha büyüktür; böylece her defasında bu boşluğa vardığında potansiyel fark protonu hızlandıracak yönde değişir ve proton spiral çizerek dışarı doğru kayar ve sahip olabileceğiniz en büyük yarıçapa ulaşırsınız.

Böylece proton bir tam dönüşte, önce 20 kilo elektron volt ve ikincide gene 20 kilo elektron volt olmak üzere, toplam 40 kilo elektron volt kazanmış olur.

Bu şekilde elektrik alanlar iş yapar. Elektrik alanlar parçacıkları hızlandırır.

Manyetik alanlar hızlandırmaz. Manyetik alanlar yönünü değiştirir, ama parçacıklar üzerine iş yapmazlar. Manyetik alanlar parçacıkları hapsederler.

Böylece 1225 tam devir yaptığımızı varsayalım.

Her tur esnasında kinetik enerji 40 KeV kadar artmıştır.

Bu ikisini çarparsanız, protonun kinetik enerjisinin 49 milyon elektron volt kadar arttığını görürsünüz. 1225 kez döndüğü için 49 MeV artı 1 MeV da başlama enerjisi vardı; böylece şimdi 50 MeV'luk bir protonunuz var demektir.

Şuradaki ikinci çizgiyi görüyor musunuz?

Sizinle daha önce tartıştığım 50 MeV'lik protonum işte orada.

1 Teslalık bir alanda şimdi yarıçap 1 metre; böylece bu ünitenin 1 metrelik bir yarıçapa sahip olması iyi olur.

O zamana kadar, bu ünitenin çevresine mümkün olduğunca yakın olur.

Dikkate değer ve sezgisel olmayan şey, rölativistik düzeltme yapmak zorunda olmadığımız sürece, bu protonun çevreyi dolanma zamanının onun hızından bağımsız olmasıdır.

Pek sezgisel değil; siz bunu kolayca görebilirsiniz. Çünkü çevreyi dönme zamanı,  $2\pi R$  bölü onun hızıdır.

Yarıçap da  $v$  ile orantılıdır.

Böylece zamanın kendisi  $v$ 'den bağımsızdır. Çünkü  $R$ 'nin kendisi hızla doğru orantılıdır; dolayısıyla  $v$  yok olur ve sonuçta dönme zamanını basitçe  $2\pi$  çarpı bu parçacığın kütlesi bölü  $qB$  olarak bulursunuz.

Eğer rölativistik düzeltme yaparsanız, o zaman gamma ile çarpılmak zorundasınız. Fakat rölativistik düzeltmesiz durmak isterseniz, dolanma zamanı protonun hızından bağımsızdır.

Bu 1 MeV'lik özel proton durumuna dönersek; o 1225 kez dönerek 50 MeV'lik bir proton olur; bir dolanma zamanı sadece 66 nanosaniyedir, yani 6.6 çarpı  $10^8$  üzeri -8 saniye.

Tüm bunlar, size bu gidişin ne kadar hızlı olduğu hakkında bir fikir verir.

Böylece 1225 kez dolanmanız, sadece 80 mikro-saniye alır, yani bunların tümü 80 mikro-saniyede olur. Tur başına bu alandan iki kez geçeceksiniz. Diyelim ki E alanı bu yöndeydi, buraya geldiğinizde E alanı ters yönde olmak zorunda.

Böylece değişim frekansı kolayca hesaplanabilir: yaklaşık saniyede 30 milyon kez, yaklaşık 30 mega Hertz olur.

Ve tüm bunlar 80 mikro-saniyede meydana gelir; 1 MeV'luk protonlar oluşturur, bu kısa sürede onları 50 MeV'luk protonlara dönüştürürsünüz.

Akıllara durgunluk veren bir kavram, ama çalır. Çok dikkat çekici.

Şimdi çok yüksek enerjilere gittiğiniz için, burada gamma ile gördüğünüz rölativistik düzeltmelerden dolayı, artık bir tam tur için geçen zaman sabit değildir. Bu yüzden bu aralıklarda potansiyeli ters-yüz etme frekansını ayarlamak zorundasınız.

Böylece eğer zaman artarsa, ters-yüz etme frekansı düşmek zorundadır; biz bu aygıtlara sinkrotron veya sinkrosiklotron adını veririz. Onların isimleri bu.

Böylece senkronize eder ve rölativistik etkileri düzeltirsiniz.

Modern hızlandırıcılar sabit yarıçaplıdır. Halka şeklindedirler.

Ve böylece sabit yarıçaplı bir halkanız varsa, parçacığı halkada tutmanın tek yolu, onların düşük enerjili olmaları ve onlar yüksek enerjili oldukları zaman manyetik alanı yavaş yavaş arttırmaktır.

Böylece zayıf bir manyetik alanla başlarsınız, çok büyük yarıçaplı kocaman bir çember etrafında dönersiniz ve onların hızlandırılmasını sürdürebilmek için manyetik alanı giderek arttırırsınız; manyetik alanı arttırarak, belki mümkün olduğunca 2 Tesla'ya çıkararak, onları bu halka içinde tutabilirsiniz.

Size göstermek istediğim ilk slayt, Berkeley'de Lawrence tarafından inşa edilen eski bir siklotronudur; gerçekte o bir sinkrosinklotronudur. Bu, elektronları 730 MeV'e kadar hızlandırabiliyordu.

Bu düzeneğin büyüklüğü hakkında fikir vermesi için, burada bir adam görüyorsunuz.

Lawrence 1939'da bu siklotronu keşfettiği için Nobel Fizik Ödülünü almıştı.

Bir sonraki slayt, Chicago yakınlarındaki Fermilab'dır.

Bu, bazen “çarpıştırıcı” olarak da adlandırılan modern hızlandırıcılardan biri olup, 2.2 km çapındadır. Bu düzenek, şuradaki, 1000 GeV'a kadar hızlandırmaya planlanmıştır; G giga demektir, giga milyarla aynıdır.

1000 giga elektron-volt, 10 üzeri 12 elektron-volttur.

Yüksek enerjili proton demetleri, nükleer fiziğin daha içteki işleyişini ortaya çıkarmak için diğer çekirdeklerle çarpıştırmak üzere hazırlanır.

Protonların enerjileri ne kadar yüksekse, çarpıştırıldıklarında o kadar büyük etki yaparlar ve daha fazla şeyin öğrenilmesi beklenir.

Daha da yüksek enerjili protonlar kullanılarak, -ki bunlar nükleer mermilerdir-, bilinmeyen bölgeler keşfedilir.

Haberlerde bu çarpıştırıcılar çoğu zaman atom parçalayıcıları olarak isimlendirilir.

Bu, bütün bunların ödemesini vergi paralarıyla yapan halkın ilgisini çeken daha parlak bir isimdir. Bu araştırmalar, multi-milyon dolarlık bir endüstridir.

Atom parçalayıcısı deyimi, aslında yanlış bir isimlendirmedir.

Çarpıştırıcılar atomlardan 10.000 kat daha küçük olan çekirdekleri parçalarlar.

Ve sonraki slayt, Cenevre'de bir Avrupa işbirliği olan CERN'deki dünyanın en büyük tünelidir.

Yıllardır var olan bu tünel 17 mil uzunluğunda olup, 4.3 kilometrelik bir yarıçapa sahiptir ve protonlar burada hızlandırılır, elbette ki yüksek vakum altında.

Çok modern süper iletken mıknatıs teknikleriyle, artık orada neredeyse 5 Teslaya kadar çıkılabilmektedir.

Ve bu tünelde şimdi “Büyük Hadron Çarpıştırıcısı” denen yepyeni bir deney geliştirilme aşamasındadır. Parçacık fizikçileri tarafından Kutsal Kâse olarak

niteleniyor bu. Bunun 2007 veya o sıralarda hizmete girmesi umulmaktadır. Bu düzeneğe, protonları benzeri görülmemiş enerjilere hızlandıracak; onlara 7000 GeV'luk, 7 çarpı 10 üzeri 12 elektron voltluk, kinetik enerji verecektir.

Böylece oradaki tepegözümeye dönmek istiyorum; orada biraz önce tartıştığımız şeylerden bazılarını görebilirsiniz; teşekkürler Tom.

Böylece burada Fermilab'ımız var.

1.1 kilometrelik yarıçapı görüyorsunuz.

Üstten çekilmiş bir resim bu; onlar 1.5 Tesla'ya kadar çıkabildiler: bu maksimum manyetik alan şiddetidir.

Bu arada, ışık hızına iyice yaklaşın; 500 GeV'luk protonları görürsünüz.

Ve burada Kutsal Kase'yi, yani Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nı görüyorsunuz; bu, Cenevre'deki CERN Avrupa İşbirliği Laboratuvarı: çevresi 17 mil uzunluğunda ve modern süper iletken teknolojilerle 5.5 Tesla'ya kadar çıkması beklenen manyetik alanlar.

Bu arada, bu tünelleri boydan boya dolaşmak isterseniz, 17 mil gidebilmek için bir motosiklete ihtiyacınız olacaktır.

Tüm bu fiziğin, tüm bu deneylerin amacı; yeni alanlara girmek, şu gizemli nükleer kuvvetleri öğrenmek, protonların ve nötronların içlerinde neler olduğunu görmektir.

Ve bu deneylerle, daha önce varlığı hiç bilinmeyen birçok nükleer parçacık keşfedilmiştir.

Şimdi çok yüksek enerjili bu parçacıkların çarpışmalarının sonuçlarını nasıl görebileceğiniz konusuna gelelim.

Evet, bu parçacıkların izlerini görünür yapabilirsiniz.

Bugün onları gerçekten kendi gözlerinizle göreceksiniz.

Bu iş eski günlerde sis odalarıyla yapılırdı; bugün sizin için yapacağım gösteri işte bu.

Bu deneyler, bugünlerde kabarcık odaları ile yapılmakta.

İlk önce ilkeyi anlayalım.

Bir yüklü parçacığınız varsa; bunun bir elektron, bir proton veya bir alfa parçacığı olup olmaması önemli değil. Alfa parçacıkları helyum çekirdekleridir: iki proton ve iki nötron.

Hava içerisinde giderse, iyonlar oluşturur; hava boyunca gittiği sürece iyonlar oluşturur, zamanla kinetik enerjisini kaybeder ve sonunda durma noktasına gelir.

10 MeV'luk bir elektron alırsak, 1 atmosferlik havada ancak 40 metre gidebilir.

10 MeV'lik bir proton alırsanız, o sadece 1 metre gider. Çünkü, büyük kütleli olduğu için, iyonların yoğunluğu çok yüksektir. Hele hele bir alfa parçacığı alırsanız, o sadece 10 santimetre gidebilir; çünkü alfa parçacığı, protondan dört kat ağırdır ve iki katı yüke sahiptir.

Bir alfa parçacığıyla elde edeceğimiz iz, çok yoğundur.

Bu izleri görebilmeniz için bir yolu sis odasıdır ve sis odası şu ilkeye göre çalışır:

İçerisinde sadece hava olan bir odanız olsun; 1 atmosferde hava. İçine sıvı alkol koyun; onu yapmanın yolu budur ve tabanı soğutun.

Orada böyle bir şey görüyorsunuz; biraz sonra göreceksiniz ve tabanı katı CO<sub>2</sub> ile soğutursunuz. O zaman bu odanın içinde bir sıcaklık gradyenti elde edersiniz; orada bir tabaka var; soğuk olduğu için, alkol orada küçük damlalar halinde yoğunlaşacaktır; fakat karmaşık nedenlerden dolayı, daha henüz yoğunlaşma olmadı.

Biz buna çok-soğutulmuş alkol adını veririz.

Yağmur bile çok-soğutulmuş olabilir. Donma noktasının altında, hala sıvıdır.

Bu arada, zemine çarptığı an, derhal katılaşacaktır. Bu da çok-soğutulmuş sıvıdır.

Şimdi burada çok-soğutulmuş buharla ilgileneceğiz; böylece, bu yüklü parçacıklar tarafından iyonlar oluşturulduğunda, bu iyonlar damlalar için, -- bu durumda alkol damlaları --, tohum gibi davranırlar ve siz kendi gözlerinizle, görsel olarak şekillenmiş damlacıkları görürsünüz.

Bir sayısal örnekle anlatmak istiyorum; orada gördüğümüz 500 keV'lik elektrona gideceğim.

Hızı rölativistik olarak düzeltiltim; yoksa daha önce hesapladığımız gibi, ışık hızından daha büyük çıkan saçma bir sayı elde ederdimiz.

Varsayalım ki 1/10 Tesla'lık bir alanımız var.

O zaman yarıçap 2.9 santimetre olacaktır.

Fakat bir süre sonra, bu elektron enerjisini kaybeder ve öyle bir an gelir ki sadece 100 kilo-elektron-volt kalır.

O kadar zamanda, 1/10 Tesla'lık alandaki yarıçap 1.1 santimetreye inecek ve böylece sis odasına baktığınızda, burada mıknatıslarınız var, izleri kıvrılmış olarak göreceksiniz. Elbette bu, yarıçapın zamanla küçülmesinin bir sonucudur. Manyetik alan sabit olduğundan, burada önce büyükçe bir yarıçap görürsünüz ve kinetik enerji yavaş yavaş azaldıkça yarıçap giderek küçülür, küçülür ve küçülür.

Şimdi birkaç slayta daha bakalım.

1932’de Anderson, bir sis odasında, bir elektronun görünüşüne sahip bir izi fark etmişti.

Kütlesi tam doğrudu, yükü tam doğrudu, ama yörüngesinin bükülme yönü yanlıştı.

Ve böylece o, bunun pozitif yüklü bir elektron olduğu sonucuna varmıştı; ki buna şimdi pozitron diyoruz.

Bu pozitronlar Dirac tarafından tamamen teorik temele dayalı olarak zaten tahmin edilmişti; Anderson 1936’da, pozitronu keşfinden sadece dört yıl sonra, bu keşfi nedeniyle Nobel Ödülü aldı. Dirac ise zaten bu teorik çalışması için 1933’te Nobel Ödülünü almıştı.

Kabarcık odası, sis odasının geliştirilmiş halidir.

Kabarcık odasında sıvı hidrojen kullanılır; şimdi oda boyunca giden iyonlar küçük gaz kabarcıkları için tohumlar olurlar.

Böylece, gerçekte gaz haline gelmiş olması gereken, ama tam öyle olamayıp ancak gaz kabarcıkları haline gelen sıvılara sahipsiniz.

Bir kabarcık odasında gaz kabarcıklarını görürsünüz; fakat düşünce aynıdır. Bu odaları keşfeden Glaser, -- bu arada belirteyim, o da Berkeley’den --, 1960’ta bu keşfi nedeniyle Nobel Ödülünü almıştı.

Böylece Anderson’un keşfine bakalım.

Burada yukarıdan gelen bir pozitron görüyorsunuz; bu pozitron 63 MeV kinetik enerjiye sahip ve Anderson içeriye, şuraya, yarım santimetre kadar kalınlığında bir kurşun levha koymuştu; bu çok zekice idi, bunu düşünün.

Levhayı terk ettiğinde, enerjisi azalmış, çünkü kurşun içerisinde birçok iyon üretilmiş ve böylece kinetik enerji kaybetmiştir. Kabaca 23 MeV’le dışarı çıkmıştı.

Anderson bunu niçin yapmıştı?

Çünkü bu parçacığın yukarıdan geldiğini şimdi kesin olarak biliyor; çünkü enerji kaybettiği zaman, yarıçapı küçülür.

Yanlış yönde büküldüğünden emin olmasının nedeni buydu.

Eğer kurşunu koymamış olsaydı, elektronun bu şekilde gelip gelmediğini asla bilemezsiniz; o durumda eğriliği mükemmel olacaktı.

Fakat şimdi o, onun yukarıdan geldiğini biliyor ve eğer bu bir elektron olmuş olsaydı bu şekilde bir eğriye sahip olurdu.

Bu, Anderson tarafından fotoğrafı çekilmiş ilk sis odası keşiflerinden biridir.

Ve sonraki slayt bir kabarcık odasıdır; burada sabit bir manyetik alan içerisinde hem pozitronu hem de elektronu görüyoruz, o kendini anlatıyor. Eğriliklerin tamamen zıt yönlerde olduklarına dikkat edin; sizinle tartıştığım şeyi, elektronlar enerjilerini kaybederken oluşan bu spiral yapıyı görüyorsunuz. Bu anormal yoğunluğa sahip, diyelim ki, havadan 1000 kez daha yoğun, bir kabarcık odası olduğundan, bu elektronlar bu odalarda 40 metre bile gidemezler.

Havada gidebilirlerdi, ancak şu durumda az bir uzaklığa gidebilirler ve böylece onları kolaylıkla yuvarlayabilirsiniz.

Onları inceleyebilirsiniz, momentumlarını ve yüklerini.

Hızlandırıcılar, sis odaları ve kabarcık odaları kullanılarak, yepyeni bir nükleer fizik dünyası ortaya çıkarılmıştır.

Vaaayyy.

1958 ile 68 arasında 30 kadar yeni nükleer parçacık keşfedilmiştir.

Ve MIT her zaman bu araştırmalarda ön planda olmuştur.

Profesör Sam Ting, o hala MIT’de, 1976’da Nobel ödülü aldı.

Steven Weinberg, MIT’de çalışmış olan bir teorik fizikçi, 1979’da Nobel Ödülü aldı.

Hala MIT’de olan Jerry Friedman, ve Henry Kendall 1990’da çalışmalarlarıyla Nobel ödülünü aldılar.

Ve Clifford Shull 1994’te Nobel Ödülünü aldı.

Bunun ardındaki temel düşüncüyü özetlersem; o, Elektrik ve Manyetizma dersiyle yakından ilgilidir. Bu parçacıkları, elektrik alanlarını kullanarak hızlandırabilirsiniz.

Onları hızlandırmanın tek yolu budur.

Manyetik alanlar sadece onları hapsetmek için kullanılabilir.

Manyetik alanlar, onların kinetik enerjisini değiştiremez; ama gene de çok önemlidir, çünkü onların hızını yavaş yavaş değiştirirken, onları ya bir halkaya sınırlamanızı, ki bugünlerde bu yapılıyor, ya da eskiden olduğu gibi, şu Siklotron ve Sinkrotron odalarına hapsetmenizi sağlar.

Ve sonra kabarcık odalarımız var, eskiden olduğu gibi sis odalarımız var; buralarda bu parçacıkları saptarken, onların yarıçapları hakkında bilgi elde etmek için manyetik alanları kullanabilirsiniz.

Ve tüm bunlardan, dünyamıza bakışımız için yepyeni bir yol ve dünyanın işleyişi hakkında tamamen yeni fikirler ortaya çıktı.



Bu bir tür devrim değil de nedir !

Ve şimdi bu dersimizin son 5 dakikasında, bir sis odasına ve oradaki bazı izlere bakarak, sizinle hoşça vakit geçirmek istiyorum.

Orada pek çok elektron göreceksiniz.

Siz nasıl radyoaktıfseniz, sis odasının duvarları da öyle radyoaktiftir.

Sizin kemikleriniz radyoaktiftir, pencereleriniz radyoaktiftir. Onlar elektron yayarlar.

Proton yaymazlar, ama kesinlikle elektron yayarlar.

Orada bir radyoaktif izotopumuz var, bir çubuk; onun içinde alfa parçacıkları yayan toryum var.

Ve böylece güzel örümcek ağ yapıları oluşturan elektronları göreceksiniz.

Lütfen henüz toparlanmayın; bolca zamanımız var.

Dakik olmak gerekirse, 5 dakika 15 saniyemiz kaldı.

Bu elektronların oda boyunca örümcekler gibi gittiklerini görürsünüz ve bazen, çarpıştıkları için, aniden yön değiştirirler, özellikle düşük enerjiye sahip oldukları zaman.

Ve arada sırada radyoaktif toryumdan gelen bir alfa parçacığı görebilirsiniz; alfa, çok kalın izler bırakır.

Haydi bunu deneyelim.

Burada bir uzmanımız var: Markos. O, sadece bu aleti ödünç almadı. Onu beğendiyseniz, gerçekten onu satın alabiliriz; ucuz değil, biz onu satın alabiliriz; ama Markos onu özellikle sizin için ödünç aldı. Bunun için sana müteşekkirim Markos; ayrıca uygun ışığı elde etmek için de epey çalıştı.

Bu izleri görmek çok kolay değildir.

Markos, istersen; ışıkları ayarlayabilirsin.

Işıkları iyice kısıyoruz; haydi nükleer fiziğin harika dünyasına, görünmez dünyasına buyurun, onun zevkini çıkarın.

Burada bunu, toryumlu çubuğu görüyorsunuz.

Markos, ihtiyaç duyuyorsan, ışığı ayarlamakta özgürsün.

Ben de seyirci olacağım ve elektronları belirleyip belirleyemeyeceğimize bakacağım.

Oh, bir alfa parçacığı çıktı.

İşte bu, o çubuk ve odanın tabanı CO<sub>2</sub> ile soğutuluyor.

Ah, burada bir elektron var, çok hoş.

Dediğim gibi, onlar sanki örümcek ağlarına benziyorlar.

Burada bir elektron var.

Ayrıca bir gözünüz çubukta olsun, arada sırada çok yoğun bir iz göreceksiniz; o.... orada bir tane vardı, o bir alfa parçacığıydı.

Güzel bir alfa parçacığı.

Ne kadar zevkli !...

Biliyorsunuz, tamamen yeni olan bir dünyaya bakıyorsunuz.

Düşünün bir kere !...

Nükleer fiziğin dünyasına bakıyorsunuz.

Elektronları tek tek görüyorsunuz, ara sıra alfa parçacıklarını görüyorsunuz.

Burada, dışarı çıkan bir tane var !.

Ve burada olanların fiziğini düşünün; damlalar haline gelmeyi reddeden bu alkol ve sonra bu iyonlar..., aha, işte bir alfa parçacığı, burada ne yaptığını bilmiyorum.

İşte bunlar, bunlar, bu iyonlar, bunları, bu alkol buharını damlalar haline gelmeye zorluyorlar.

Bu baktığınız, inanılmaz derecede karmaşık bir resimdir.

Bunu gördüğüm her an, o hep şaşırtıcıdır.

Kesinlikle inanılmazdır.

Ve tüm bu çok basit kurallar boyunca, düşünün ki, bu parçacıkları dolandıran Lawrence kuvvetine; onları hızlandırmak için kullanabildiğimiz elektrik alanlarına ve ayrıca onları görünür, gerçekten tek tek görünür kılabilen şu zekice yöntemle sahibiz.

Bu, yeni bir dünyadır.

Ve dersimin amacı, tüm düşünce tarzımızı tamamıyla değiştirmiş olan bu dünyayı görmeyi sağlamaktır.

Teşekkür ederim.