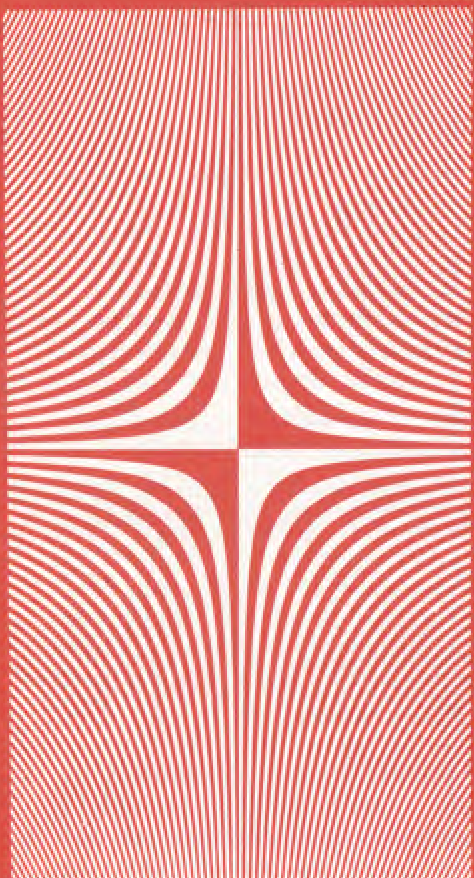
Fizik Dergisi



tfv 1985

TÜRK FİZİK VAKFI

ARALIK 1994 **SAYI : 6**

İÇİNDEKİLER

Fizik Dergisi, Cilt 1, Sayı 1,2 ve 3, Milli Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 21.1.1994 gün ve 611.7. YKD. Bşk. Sür. Yay. Şb. Md. 311 sayılı kararı ile ortaöğretim öğrencilerine tavsiyesi uygun bulunmuştur.

Fizik Dergisi, Türk Fizik Vakfı tarafından üç ayda bir yayınlanır. Bu dergideki yazılar yazarlarının sorumluluğunda olup, Türk Fizik Vakfı Yönetim Kurulunu ve üyelerini bağlamaz. Yayınlanan yazılar kaynak göstermek koşuluyla kullanılabilir.

Yazarlara
Dergimiz yazılarıyla katkıda bulunabilecek herkese açıktır. Şimdilik olanaklarımız yazarlara telif ücreti ödemeye elverişli değildir. Gönderilecek yazılar okunaklı elyazısı veya tercihen bir daktilo ile yazılmalıdır.

Abone Koşulları Yurt içi yıllık abone bedeli: 80.000 TL. Yurt dışı yıllık abone bedeli: US$ 15 Yurt içi abone bedelini Türk Fizik Vakfı'nın 525865 No'lu Posta Çeki Hesabına yatırarak dekontun bir kopyasını dergi abone adresine yollamak yeterlidir. Yurt dışı abone bedeli için Türk Fizik Vakfı adına yazılmış kişisel çek yollanabilir.

Adres: (Abone olmak için) Türk Fizik Vakfı P.K. 78 06662 Küçükesat/ANKARA
Tel: 428 19 69

(İçerikle İlgili Yazışmalar İçin)
Prof. Dr. Tekin DERELİ
Tel: 2101000/2971
ODTÜ Matematik Bölümü
06531 ANKARA

FİZİK DERGİSİ'NDEN

Çağdaş fizik teorilerinde simetriler büyük önem taşırlar. Dergimizin bu sayısında fizikte simetri yasalarını çeşitli yönleriyle tanıtan yazılar bulacaksınız.

Simetrik teorilerin inşasında varyasyon ilkeleri önemli rol oynamaktadırlar. Klasik mekanikten tanıdığımız minimum eylem ilkesinin bugüne gelene kadar geçirdiği gelişim evrelerini anlatan "Brakistokron problemi ve mekanik tarihi" başlıklı yazıyı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Abdullah Verçin hazırladı.

Önceki sayılarımızda ilk iki kısmı yayınlanan "Bir astronomi yasasının öyküsü" bu sayıda sonuçlanıyor. Bilim tarihinde geçmişi yüzyıllara yayılan ve bir kaç yıl önce ülkemizde de bir tartışmaya konu olan bu problemi ele alan yazı dizisini Prof.Dr.Osman Demircan hazırladı.

Geçtiğimiz Ekim ayı kuantum mekaniğini bulanlardan birisi olan ünlü teorik fizikçi Paul A. M. Dirac'ın onuncu ölüm yıldönümüydü. 1933 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmış olan Dirac aynı zamanda pek çok önemli buluşun da sahibiydi. Fiziğin başta gelen denklemlerinden Dirac denklemi doğada Anti-parçacıkların varolduğunu göstermişti. Bu ünlü fizikçinin yaşamı ve çalışmalarını anlatan yazı ODTÜ Matematik Bölümü öğretim üyesi Prof.Dr. Tekin Dereli'den.

Bir fiziksel sistemi incelerken, o sistemin zaman içindeki evrimi sırasında korunan, yani değişmeden kalan, niceliklerin bulunması çok önemlidir. Enerji ve momentum korunumu, elektrik yükünün korunumu en temel doğa yasaları arasındadır. Genel olarak doğada korunan ve korunmayan nicelikleri değişik yönleriyle tanıtan bir yazıyı Prof. Dr. Zekeriya Aydın'dan okuyacaksınız.

Tam olarak korunmayan yük eşlenikleme ve uzayda ayna simetrileri ve bunun fiziksel sonuçları üzerine bir yazıyı Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Y. Doç.Dr. Nazife Özdeş Koca hazırladı.

Magnetisma ile yaşam arasında çok ilginç bir ilişki, bazı bakteri türlerinin dünyanın manyetik alanındaki davranışlarında kendini göstermiştir. Y. Doç.Dr.Hanaslı Gür'ün aktardığı bu yazının ilgiyle okunacağına eminiz.

Orta öğretimde Fizik derslerinde ve müfredat programlarında önemli değişiklikler oldu. Bu Türkiye'deki tüm eğitim sistemini etkileyecek düzeyde önemli bir konu. Bilim ve teknolojide çağı yakalamak ve geçmek isteyen bir ülke olarak fen konularında gençlerimizi üstün niteliklerle donatabiliyor muyuz? İstanbul Avcılar Lisesi Fizik öğretmeni Rafet Kamer, Doğu Avrupa eğitim sistemini iyi tanıdığı için, orta öğretim Fizik müfredatına bizlere göre farklı açılardan bakabiliyor. Önerilerinin ilgiyle okunacağını umuyor, bir tartışma ortamı oluşmasını bekliyoruz.

Brakistokron Problemi ve Mekaniğin Gelişimi

Abdullah VERÇİN

XVII. yüzyıl, matematik ve fiziğin gelişimindeki en önemli devre kabul edilir [1]. Bugün integral hesap dediğimiz alanda *B. Cavalieri* (1598-1647) adında bir İtalyan matematikçisi bazı alan ve hacim hesaplarını doğru yapabildiği bir toplama işlemi geliştirdi. Bu işlem, bugün kullanılan integral hesaptaki toplama işlemine benzeyen haline, iki Fransız matematikçisi *G. P. de Roberval* (1602-1675) ve *B. Pascal* (1623-1662) ile İngiliz matematikçisi *J. Wallis* (1616-1703) tarafından getirildi.

Diferansiyel hesap alanında, Fransa'dan *René Descartes* (1596-1650), *Roberval* ve *Pierre de Fermat* (1601-1665) ve İngiltere'den *Isaac Barrow* (1630-1677) bir eğrinin herhangi bir noktasındaki teğeti ve teğetin eğimi gibi hesapları yapabiliyorlardı. Bu devrede iki müstesna sima, İngiltere'den *Sir Isaac Newton* (1642-1727) ve Almanya'dan *Gottfried Wilhelm von Leibnitz* (veya Leibniz) (1646-1716), bugün Calculus denilen hesap tekniğini sistematik bir şekilde geliştirdiler. Wallis'in çalışmalarından haberdar olan Newton aynı zamanda Cambridge'de matematik profesörü olan Barrow'un da öğrencisi idi. Leibnitz'de Paris ve Londra ziyaretleri ile çağının en ileri matematik gelişmelerinden haberdar idi. Bugünden bakıldığında o zamanki hesap tekniklerinin karmaşık gözükmesinin ardında "sonsuz küçük" ve "limit" kavramlarının açık bir şekilde ortaya konamamaları gerçeği yatar. Bu güçlükler; daha sonraları *A. L. B. Cauchy* (1789-1857), *K. Weierstrass* (1815-1897), *B. Riemann* (1826-1866) ve diğerlerinin çalışmaları ile giderildi.

Newton ilk defa 1671' de yazdığı bir yazıda bir değişkenin, değişimi oranınının (birinci türevinin) pozitif olması durumunda artmakta, negatif olması durumunda azalmakta olduğunu ve bu yüzden bir maksimum veya minimumda birinci türevinin sıfır olması gerektiğini ifade etmiştir. Leibnitz aynı sonuca 1684'de geometrik inceleme ile varmıştı. Buna göre; bir eğrinin maksimum veya minimum (kısaca ekstremum) noktasındaki teğetinin eğimi sıfır olmalıydı. Bugün iyi bilinmektedir ki bu iki ifade dönüm noktalarını da içerecek şekilde eşdeğerdir.

Maksimum ve minimumların ayırt edilmesinde fonksiyonun ikinci türevinin önemi yine Leibnitz'in aynı çalışmasında ifade edilmişti. Bir fonksiyonun, yüksek mertebeden türevlerini içeren, maksimum ve minimumlar için gerek ve yeter koşullar ise *Maclaurin* (1678-1746) tarafından geliştirildi. Newton'ın mekaniğinin temellerini oluşturan *Principia* adlı eseri 1686'da yayınlandı. Bu sıralar Newton ve Leibnitz'in geliştirdikleri hesap tekniklerinin bir kısmı da yayınlanmıştı. Bu gelişmeleri izleyen yıllarda İsviçre'den matematikçi ve fizikçi James (Jacop veya Jacques) (1654-1705) ve John (Johann veya Jean) Bernoulli kardeşler yeni bir hesap tekniğinin doğmasına yol açan ünlü *brakistokron* problemini ortaya attılar.

Brakistokron Problemi

Brachistochrone ($\beta\rho\chi\ell\sigma\tau o\sigma$ = en kısa, $\chi\rho o\nu o\sigma$ = zaman) problemi, aynı düşey doğrultuda bulunmayan iki noktayı birleştiren ve üzerinde sabit yerçekimi ivmesinin etkisi ile sürtünmesiz kayma hareketi yapan noktasal bir parçacığın aşağıdaki ikinci noktaya mümkün en kısa zamanda varmasını sağlayan eğriyi bulma problemidir. Buna kısaca, en kısa düşme zamanlı eğriyi bulma veya en çabuk düşme eğrisini bulma problemi de diyebiliriz. Söz konusu eğriyi bir tel ve cismi de bu tele geçirilmiş küçük bir boncuk olarak düşünebiliriz. x-ekseni yatay, y-ekseni de aşağı doğru olan bir koordinat sistemi kullanır ve boncuğun ilk hızsız bırakıldığı noktayı bu koordinat sisteminin orjininde seçersek, problem analitik olarak iki noktayı birleştiren bütün eğriler arasında

$$t_{12}(y) = \int_1^2 \frac{ds}{v} = \frac{1}{\sqrt{2g}} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{\frac{1+\dot{y}^2}{y}}\, dx \quad ; (\dot{y} \equiv dy/dx) \tag{1}$$

integralini (bu bir fonksiyoneldir) minimum yapan $y(x)$ eğrisini bulmaktır. Burada g sabit varsayılan yerçekimi ivmesi, $v = ds/dt = \sqrt{2gy}$ cismin sürati, $ds = \sqrt{1+\dot{y}^2}dx$ eğri üzerindeki sonsuz küçük yay elemanı ve t_{12} de bu hareket esnasında geçen toplam süredir.

Problem ilk defa Haziran 1696'da John Bernoulli tarfından zamanın büyük bilimsel dergilerinden olan *Acta Eraditorium*' da ortaya atıldı. John güzel bir çözüm bulduğunu ileri sürüp övünüyor fakat çözümünü yayınlamıyordu. John'un ilk derslerini aldığı ağabeyi Bern Üniversitesi matematik profesörlerinden James Bernoulli 1697'de çözümü bulacak olana önemli bir para ödülü vaat etti. Bu meydan okumayı üstlenen John ilginç bir yoldan bulduğu sikloid eğrisini çözüm olarak gösterdi. James bu çözümü reddederek kendi çözüm yolunu önerdiğinde aralarında sert ve uzun süren tartışmalar ve küskünlükler başladı. Bu tartışmalar değişimler hesabının doğum sancıları idi.

İkisi James ve John kardeşler, diğeri ilk matematiksel fizikçi kabul edilen John'ın ikinci oğlu *Daniel Bernoulli* (1700-1782) olmak üzere herbiri kendi alanında sıyrılmış pek çok ünlü sima yetiştiren Bernoulli (veya Bernouilli) ailesi İsviçre'nin Bois kentine Belçika'dan 1622'de göç ederek yerleşmişlerdi. Aile, esas olarak eczacılıkla uğraşıyordu. Matematikte ve fizikte bugün Bernoulli adı ile anılan pekçok sayıda, teorem ve yasa vardır. Bu aileden dersler almış ünlüler de vardır. Bugün L'Hopital kuralı diye bilinen 0/0 şeklindeki belirsizliklerin limitinde kullanılan kuralı bulan G. F. A. L'Hôpital 1691'de matematikteki buluşlarına karşılık ücret ödemeyi kabul ederek John Bernoulli'den dersler almıştır. Bu kuralı da ona John' un ilettiği söylenir. Ayrıca değişimler hesabının ünlü simalarından Leonhard Euler de hemşehirlisi John'un öğrencilerindendir. Dostlukları ateşli, kırgınlıkları acımasız aile fertleri çoğu kez aynı problem üzerinde çalışıyor ve sık sık kavgalara girişiyorlardı. Gezegenlerin yörüngelerinin hesabına ilişkin çalışmalarından ötürü 1735'de babası ile birlikte ödüllendirilen Daniel'i baba John'un; ödülün yalnız kendi hakkı olduğunu ileri sürerek, evden kovduğu söylenir.

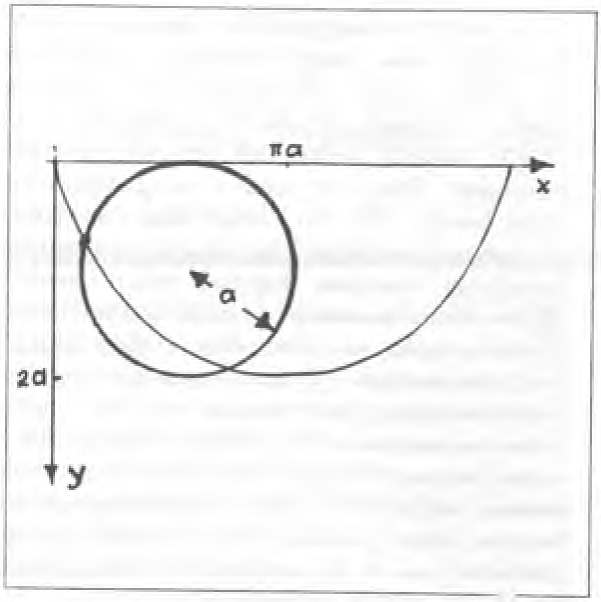
Sikloid Eğrisi

Brakistokron probleminin çözümünün ilk bakışta bir doğru olması gerektiği düşünülebilir. Çünkü, iki noktayı birleştiren uzunluğu en kısa eğri bir doğru parçasıdır ve bu yüzden en çabuk düşmeyi sağlayabilir. Biraz daha dikkatli düşününce bunun doğru olmadığı görülür. John'un bu problemi ifade etme gereği duyması; öğrencilerini bu şekilde yanlış düşünmeğe karşı uyarmak içindi. Aslında *G. Galileo* (1564-1642) da 1630'lu yıllarda benzer bir problem üzerinde çalışmıştır. Düşey bir çember yayı boyunca kayarak hareket eden bir cismin düşme zamanını aynı yayın içine oturan fakat, bir çokgenin ardışık kenarlarını oluşturan doğrusal yollar boyunca ölçülen düşme zamanları ile karşılaştıran Galileo çember yayının en çabuk düşme eğrisi olduğu sonucuna varmıştı. Doğrusal yola göre çember yayı daha iyi bir çözüm olarak görülebilir. Çünkü yolun başlangıçta sahip olacağı diklikten ötürü cismin başlangıçta kazanacağı yüksek sürat çabuk düşmeyi sağlayabilir. Fakat, brakistokron probleminin doğru çözümü ne bir doğru ne bir çembersel yay ne de herhangi bir eğri olmayıp, bir sikloid (cycloid) eğrisidir. [2].

İlk hızsız bırakılma noktası orijinde seçilen brakistokron probleminin doğru çözümü, açısal bir θ parametresi cinsinden:

$$x(\theta) = a(\theta - \sin\theta), \quad y(\theta) = a(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilen sikloid eğrisidir. Çözümü olduğu problemler kadar kendisi de ünlü ve ünvanlara sahip bu eğri; düz yolda sabit bir açısal hızla dönerek kaymadan yuvarlanan a yarıçaplı bir çemberin üzerindeki işaretli bir noktanın hareket esnasında çizdiği eğridir.(bkz. Şekil: 1) Gece karanlığında sabit hızla giden bir bisikletin jantı üzerinde yanan bir lamba böyle bir eğri çizer. Kaymadan yuvarlanma hareketi, sikloidin adaşı diğer eğrilerin de tanımında esastır. Bu hareketi anlamak için klasik baskı tekniklerinde üzerine bir yazı veya desen basılacak bir kağıdın veya kumaşın, bu yazı veya desenin üzerine yerleştirildiği sabit hızla dönen bir silindir üzerinde kaydırılmadan geçirildiğini hatırlamak yeterlidir. Karlı yolda giden bir arabanın tekeri, üzerindeki desen bozulmadan yola çıkıyorsa teker kaymadan yuvarlanmaktadır. Desenlerin bozulduğu yerlerde araba kaymış demektir.



Şekil: 1. (2) bağıntıları ile ifade edilen sikloid eğrisi

Doğru, çember ve diğer sikloid eğrileri (kısa ve uzun sikloid, episikloid ve hiposikloid) gibi çizimleri mekanik kurgular ile yapılabilen mekanik eğrilerden olan sikloidin tarihi, özellikle episikloid eğrisini gökyüzündeki gezegen hareketlerinin anlatımında zekice kullanan *Ptolemy* (yaklaşık M. S. 200) zamanına kadar dayanır.

Huygens'in Tautokron Problemi

Sikloid eğrisi ve onun müstesna özellikleri, XVII. yüzyılın ikinci yarısında yoğun çalışmaların konusu olmaya başladı. Hayatının son döneminde bilimsel çalışmaları bırakmış olan Pascal, bu dönemde sadece sikloid eğrisi ile ilgilendi. Kendisi de ünlü bir saat yapımcısı olan *C. Huygens* (1619-1695) salınım peryodları genlikten bağımsız eşzamanlı (izokron) olan ideal bir sarkaç arıyorken sikloidi yeniden keşfetti. Huygens, şekil (1) deki gibi bir sikloid eğrisi üzerinde kalacak şekilde salınan bir cisimin salınım peryotlarını, cismin ilk bırakıldığı noktadan bağımsız olarak hep aynı $T = 2\pi(4a/g)^{1/2}$ değerinde buluyordu. Öte yanda, ucundaki kütle bir çember yayı üzerinde hareket eden bir basit sarkaçın, sönümünden dolayı salınım genliği azaldıkça peryotları da değişir. Sadece küçük genlikli salınımlarda peryotlar hemen hemen aynı kalır. Basit sarkacın eşzamanlı olmayan salınımları, onu hassas saatlerin yapımında kullanmaya çalışan saat yapımcıları için bir güçlüktü.

Huygens bir sikloid eğrisinin evolut eğrisinin de sivri ucu tabandan 4a kadar yukarıda bulunan aynı büyüklükteki bir başka sikloid eğrisi olduğunu da gösterdi. (Bir eğrinin her noktasındaki normalleri bir başka eğrinin teğetleri oluyorsa bu ikinci eğriye birincinin evolut eğrisi, ilkine de ikincinin enevolut eğrisi denir.) Bir eğrinin her noktasındaki eğrilik çemberlerinin merkezleri de evolut eğrisi üzerinde bulunur. Sikloid eğrisinin eğrilik yarıçapları

$$\rho(\theta) = 4a \sin\frac{\theta}{2} \tag{3}$$

şeklindedir. Bu eğri üzerinde hareket eden bir cismin herhangi bir $r(\theta)$ konumunda iken $\rho(\theta)$ yarıçaplı bir çember üzerinde $v(\theta)$ sürati ile düzgün çembersel hareket yapıyor gibidir. Cismin ilk bırakıldığı noktadaki hızı sıfır ise $(x(\theta), y(\theta))$ noktasına geldiğinde sürati

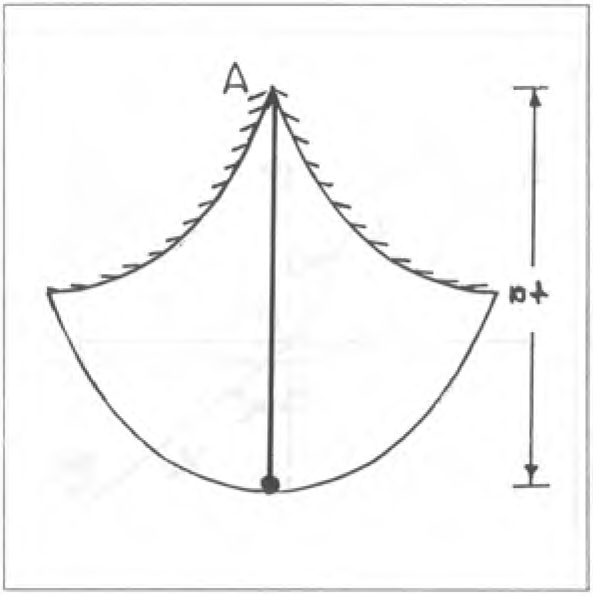
$$v(\theta) = \sqrt{2gy(\theta)} = 2\sqrt{ga}\sin\frac{\theta}{2} \tag{4}$$

şeklinde olacağından salınım periyodu

$$T = 2\pi(\nu/\rho) = 2\pi\sqrt{\frac{4a}{g}} \tag{5}$$

şeklinde θ'dan bağımsız bir sabittir. Bu peryod ifadesi 4a uzunluğundaki bir basit sarkacın küçük genlikli salınımlarının peryodu ile aynıdır. Buna dayanarak Huygens, Şekil 2'deki gibi A noktasından asılan 4 a uzunluğundaki bir sarkacın hareketi sırasında evulot duvarlarına yaslanmasını sağlayarak ideal sarkacını kurdu. Bu sarkaca sikloidal sarkaç da denir.

Üzerindeki salınımlar eşzamanlı olan eğriyi bulma problemine o sıralar tautokron problemi denildiğinden, Huygens'in çalışmalarından sonra sikloid eğrisi tautokron ünvanı ile onurladırılmıştır. Bu eğrinin bütün önemli özelliklerinin artık bulunmuş olduğu sanılıyorken, Huygens'in çalışmalarından haberdar olan Bernoulli kardeşlerin çalışmaları sonucu onun brakistokron probleminin de çözümü olarak ortaya çıkması bu iki kardeşi de çok sevindirmişti. Sikloid eğrisi de yeni bir ünvan daha kazanıyordu, o, aynı zamanda artık bir brakistokron eğrisi idi.



Şekil: 2 Huygensin sikloidal sarkacı ve sikloidin evolute eğrisi

Bernoulli kardeşlerin dışında, brakistokron probleminin doğru çözümünü Newton, Leibnitz ve L'Hôpital de yapmıştır. Fakat, John Bernoulli'nin çözümü, gerek kullandığı yöntem gerekse bu yöntemin değişimler hesabının gelişiminde oynadığı rol açısından büyük öneme sahiptir.

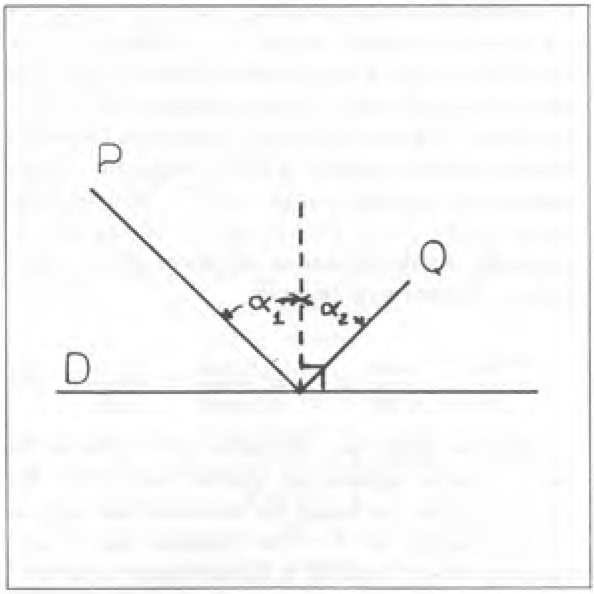
Heron Problemi, Fermat İlkesi ve John Bernoulli'nin Brakistokron Çözümü

Bugün bilinen hali ile, ışığın bir düzlem aynadan yansıma yasası milattan sonra birinci yüzyılda yaşamış ünlü Yunanlı geometrici, mekanikçi ve mucid olan Heron'un adı ile anılan bir minimum ilkeye dayanır. Bu minimum ilkeyi en iyi Heron problemi ile ifade edebiliriz. Bir D doğrusu ve bu doğrunun aynı tarafında kalan iki P ve Q noktaları verilmiş olsun. D doğrusu üzerinde hangi R noktası için $\overline{PR}$ ve $\overline{RQ}$ doğru parçalarının $\overline{PR}+\overline{RQ}$ toplamı en küçüktür? (Bkz.Şekil (3)). Başka bir ifade ile; D doğrusunu bir derenin kenarı olarak ele alalım ve elindeki kovayı bu dereden doldurarak P noktasından Q'ya gidecek birisini düşünelim. Hep aynı süratla yürüyen bu kişinin P'den Q'ya mümkün olan en kısa zamanda gidilebilmesi için kovasını dere kenarındaki hangi noktada doldurmalıdır? Çözüm Şekil (3)'deki α_1 ve α_2 açılarının eşit olduğu noktadır. Bu da ışığın düzlem aynadan yansıma yasasından başka birşey değildir. Heron problemindeki D doğrusu, P ve Q noktaları dışarda kalacak şekilde bir çember ile yer değiştirirse ortaya çıkan problem, ünlü Arap optikçi İbnü'l Heysem'in (965-1039) ortaya çıkardığı, (batıda tanındığı adı ile) Alhazen problemi olarak bilinir. İbnü'l Heysem'in Kitabü'l Menazir adlı önemli optik kitabı 1270'de Latinceye çevrilmiştir.

XVII. yüzyılın büyük matematik ve fizikçisi Fermat, ışığın yansımasındaki Heron'un minimum ilkesinin, ışığın homojen olmayan ortamlarda ilerlerken uğradığı kırınıma da uygulanabileceğini gösterdi. Geometrik optikte Fermat ilkesi olarak bilinen bu yasayı şu şekilde ifade edebiliriz: Homojen olmayan bir ortamda bir noktadan bir başka noktaya ilerleyen ışık bu iki noktayı birleştiren bütün eğrilere göre gidiş süresi minimum olan yolu izler. Bu ilke ışığın kırınımına uygulandığında:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\nu_1} = \frac{\sin\alpha_2}{\nu_2} \tag{6}$$

bağıntısının verir. Burada ν_1 ver ν_2 ışığın sırası ile birinci ve ikinci ortamdaki süratleri,



Şekil: 3 Heron problemi

α_1 and α_2 ise ışığın arakesit düzleminin normali ile yaptığı geliş ve kırılma açılarıdır. (bkz. Şekil (4)). Buradaki minimum ilkesinin de öneminin kavramak için şöyle bir problem düşünelim: bir derenin kıyısında bulunan bir kişi derenin öteki tarafında bir miktar uzakta bulunan köyüne gitmek istemektedir. Derede sabit v_1 sürati ile yüzerek, öteki kıyıda da sabit v_2 sürati ile yürüyerek köyüne mümkün olan en kısa zamanda varabilmesi için derenin öteki kıyısında hangi noktaya çıkıp yürümeye başlamalıdır? Yanıt (6) bağıntısının sağlandığı R noktasıdır.

Kırılma indisi n olan bir ortamda ışığın süratinin $v = c/n(c = 3.10^8$ m/s ışığın boşluktaki hızıdır.) olduğunu hatırlarsak (6) ifadesi bugün

$$n_1 \cdot \sin a_1 = n_2 \cdot \sin a_2 \qquad (7)$$

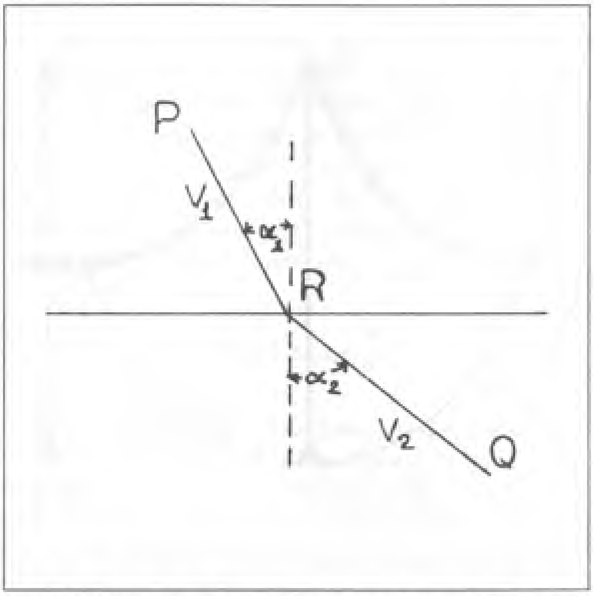
şeklinde bilinen Snell'in kırılma yasasıdır. Willebrord von Snell von Royen (veya kısaca Snelliles) (1508-1626) bu yasayı ampirik olarak bulmuştu. Fermat bu ilkeyi, geliştirdiği hesap teknikleri ile, bir minimum ilkeden türetebiliyordu.

John Bernoulli, Fermat'ın minimum ilkesini akıllıca Brakistokron problemine uyguladı. Bir P noktasından ilk hızsız bırakılan ve P'yi aşağıdaki bir Q noktasına birleştiren bir γ eğrisi boyunca sürtünmesiz kayma hareketi yapan noktasal bir cismin Q noktasındaki sürati $v = b.h^{1/2}$ şeklindedir. Buradaki h, P ile Q arasındaki düşey uzaklık, $b(= (2g)^{1/2})$ ise bir sabittir. (bkz. Şekil: 5)). J. Bernoulli, P ile Q arasındaki ortamı herbiri aynı d kalınlığında çok ince katmanlara ayırdı ve γ eğrisini de bir çokgenin ardışık kenarlarından oluşmuş bir kırık çizgi olarak ele aldı. Cismin süratini de sürekli bir şekilde değişmeyen fakat, tabakadan tabakaya kesikli değerler alacak şekilde düşündü. Yani birinci katmandaki sürati $b.d^{1/2}$, ikincisindeki sürati $b.(2d)^{1/2}$ v.b kesikli değerler alacak şekilde düşündü. Artık tabakadan tabakaya geçen cisime Fermat ilkesini uygulayarak

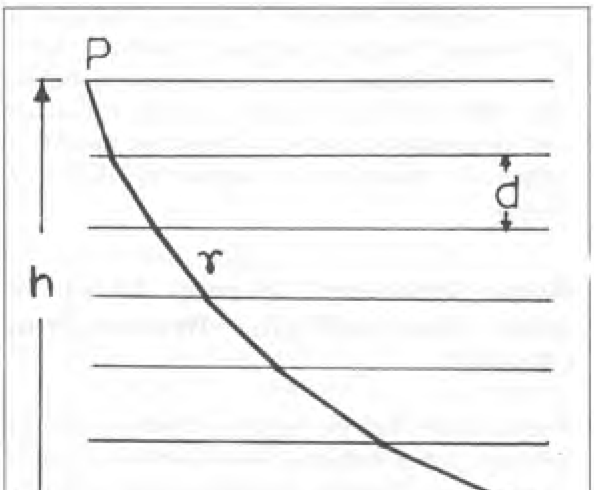
$$\frac{\sin a_1}{\sqrt{d}} = \frac{\sin a_2}{\sqrt{2d}} = \ldots = \frac{\sin a_n}{\sqrt{nd}} = \frac{\sin a_n}{\sqrt{h}} \qquad (8)$$

eşitliklerini elde etti. Buradan yola çıkarak en çabuk düşme eğrisini şu şekilde tarif etti: Bu öyle bir eğriki; herhangi bir noktasındaki teğetin düşeyle yaptığı açı a ve bu noktanın ilk P noktasından düşey uzaklığı h olmak üzere $\sin a/h^{1/2}$ oranı eğrinin bütün noktalarında aynı değeri alan bir sabittir.

Bernoulli'nin tarif ettiği bu eğrinin o sıralar yeni bulunmuş olan Huygens'in tautokron eğrisi, yani sikloid eğrisi olduğu hemen anlaşıldı. Bernoulli'nin yukarıda sözünü ettiği sabit, sikloidin mekanik tanımında kullanılan çemberin çapının karekökünün tersi, yani $(2a)^{-1/2}$ dir.

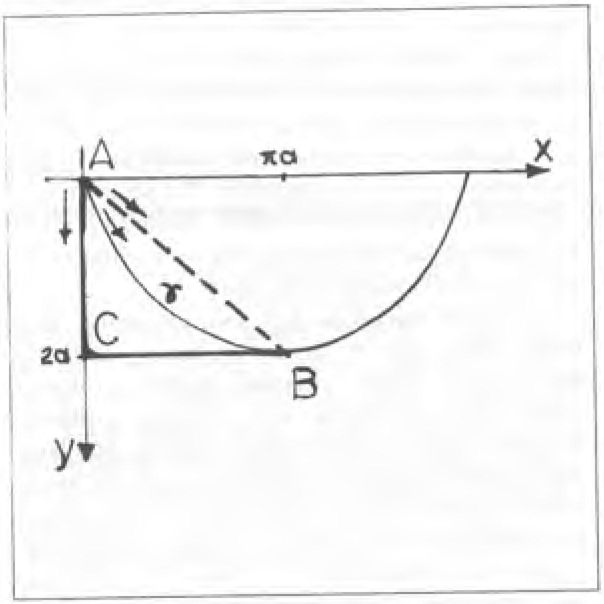


Şekil 4. Işığın kırımın yasası ve Fermat ilkesi



Şekil 5. Brakistokron probleminin John Bernoulli çözümü

Bu arada sikloid eğrisinin bir başka lakabından bahsetmek gerekir. Zarif özelliklerinin ilk sahipliği iddiasında bulunanlar arasında yarattığı çekişmelerden dolayı bu eğriye bazen "geometrinin Heléne'i de denir. (Héléne; Truva öykülerinin paylaşılamayan Yunanlı prensesi). Benzer bir lakap bir önceki yüzyılın gözde eğrisi çember için uydurulmuştu.



Şekil 6. AB eğik düzlemi ve ACB yolu boyunca geçen süre γ sikloid eğrisi bouynca geçen süreden daha büyüktür.

Sikloid eğrisi boyunca iki nokta arasındaki harekette geçen sürenin mümkün en kısa süre olduğunu görmek için, bu süreyi sözkonusu iki noktayı birleştiren herhangi bir eğri için geçen süre ile karşılaştırabiliriz. Örnek olarak Şekil 6'da gösterilen A tepe noktası ile B taban noktasını gözönüne alalım. Cisim bu iki nokta arasındaki sikloid eğrisi üzerinde hareket ederse geçen süre, (5) ifadesinden görülebileceği gibi $T_b = T/4 = \pi\sqrt{a/g}$ dir. Cisim, A ve B noktalarını birleştiren sürtünmesiz eğik düzlem üzerinde hareket ederse bu süre $[1+(4/\pi^2)]^{1/2}T_b$ şeklindedir. Öte yandan cisim, şekilde gösterildiği gibi, A'dan C'ye serbest düşme ve C'de sahip olduğu sürat ile B'ye düzgün doğrusal hareket ile varırsa geçen süre $(\frac{2}{\pi}+\frac{1}{2})T_b$ olarak bulunur. Bu son iki hesap, lise fizik bilgisi ile rahatlıkla yapılabilir [3]. Açıkça görüldüğü gibi, her iki süre de T_b brakistokron süresinden daha büyüktür.

Cismin, eğri boyunca v_0 ilk hızına sahip olduğu brakistokron probleminin çözümü, yine sivri ucu ilk bırakılma noktasından $v_0^2/2g$ kadar yukarıda bulunan bir sikloid eğrisidir.

Değişimler Hesabının Gelişiminde Brakistokron Probleminin Yeri

John Bernoulli 1696' da brakistokron problemini ilk ortaya attığında, zamanın matematik ve fizikçileri bunun o ana kadar ilgilendikleri problemlerden farklı karakterini hemen fark ettiler. O zamanların en gözde problemleri y(x) şeklinde bir sayısal x değişkenine veya $y(x_1, x_2, \ldots)$ gibi birden fazla sayısal değişkene bağlı bir fonksiyonun ekstremum olduğu özel x noktalarını bulma problemleri idi. Halbuki, brakistokron problemi (1) ifadesinde de görüldüğü gibi, bir başka fonksiyona bağlı bir fonksiyon fonksiyonunu (bunlara fonksiyonel denir) ekstremum yapan fonksiyonu bulma problemidir. Brakistokron eğrisinin, o sıralar yeni bulunmuş olan Huygens'in tautokron eğrisi çıkması da etkileyici idi. Fakat, asıl etkileyici olan Bernoulli'nin çözümü ile açıkça ortaya çıkan; Heron problemi, Fermat problemi ve brakistokron problemi gibi farklı problemlerin temelindeki ortak minimal ilke idi. Her üç problem de, benzer türdeki diğer problemler gibi

$$J(y) = \int_{x_2}^{x_1} f(x,y)\sqrt{1+\dot{y}(x)}\cdot dx \qquad (9)$$

şeklindeki bir fonksiyonelin ekstremumlarını bulma problemi şeklinde idiler. $f(x,y)=1$ için Heron problemini genelleyen iki boyutlu uzaylardaki Jeodezik (iki noktayı birleştiren uzunluğu en kısa eğri) problemleri, $f(x,y) = n(x,y)/c$ için değişken $n(x,y)$ kırılma indisli ortamda ilerleyen ışığın hareket süresini minimum yapan yolları bulma problemleri ve $f(x,y) = (2gy)^{-1/2}$ alınca da brakistokron problemi karşımıza çıkar. $f(x,y) = 2\pi y$ alındığında ise, x-ekseni etrafında döndürüldüğünde alanı ekstremum olan dönel yüzeyi veren eğriyi bulma problemi ortaya çıkar.

Daha sonraları bu minimal ilkenin fiziğin değişik alanlarında da asıl belirleyici ilke olduğu görüldü. Mekanik sistemlerin kararlı denge şekillenimleri, bugün sistemin potansiyel enerji fonksiyonu dediğimiz bir niceliğin minimumları ile belirlenir. Örneğin iki ucunda düşey olarak asılan bir ipin aldığı şekil, (bu parabole çok benzeyen zincir eğrisidir) böyle belirlenir.

Özellikle *L. Euler* ve *J. L. Lagrange* (1736-1813)'in çalışmaları ile durgun veya hareketli pekçok sistemin davranışının aynı ekstremal ilke ile anlatılabileceği görüldü. Bu tür problemlerin hemen hemen hepsi, (9) bağıntısını genelleyen

$$J(y,\dot{y},x) = \int_{x_1}^{x_1} L(y,\dot{y},x)dx \qquad (10)$$

şeklindeki bir fonksiyonelin ekstremumlarını bulma problemleridirler. Bu ekstremumlar için bulunan

$$\frac{\delta J}{dy} = \frac{d}{dx}(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}}) - \frac{\partial L}{\partial y} = 0 \qquad (11)$$

şeklindeki gerek ve yeter koşul ilk defa John Bernoulli'nin öğrencisi Euler tarafından bulundu. Bu bir fonksiyonun $dy/dx = 0$ şeklinde ifade edilen ekstremumları için gereklilik koşulunun fonksiyonellere genelleyen bir denklem veya denklem takımıdır. Bu denklem bugün Euler-Lagrange denklemi veya kısaca sistemin hareket denklemi olarak bilinir ve Newton'un hareket denklemlerini parçacık sistemlerinin dışında, hareketleri çeşitli bağlarla kısıtlanmış mekanik sistemleri de içine alacak şekilde geneller. (10) fonksiyonelinin argümanındaki L fonksiyonu sistemin Lagrange fonksiyonu olarak adlandırılır. Bu basitçe mekanik sistemlerin kinetik enerji fonksiyonu ile potansiyel enerji fonksiyonunun farkı olan bir fonksiyondur.

Lagrange'nin 1788'de yayınlanan Analitik Mekanik kitabı ile mekanik sistemlerin *Lagrange formulasyonu* ile anlatımı tamamlanmış görünüyordu.

19. yüzyılında yaşamış olan ünlü İrlandalı matematikçi ve fizikçi W. R. Hamilton (1805-1865) ve öğrencileri bu ekstremum (veya ekstremal) ilkesinin mekanik, optik ve elektrodinamikteki en önemli hesap tekniği olduğunu pek çok mühendislik uygulamaları ile birlikte gösterdiler. Bu çalışmalarla mekanik, *Hamilton'un en küçük eylem ilkesi* olarak adlandırılan bir minimal ilkeye dayanan yeni bir formülasyona uygulandı. Mekaniğin bu iki formülasyonundan birinden diğerine bir dönüşüm ile geçmek çoğu durumda mümkündür.

Bütün bu çalışmalar sonucu, matematik yeni bir hesap yöntemi olan değişimler (varyasyonlar) hesabı ile donanırken, fiziğin de bir yandan kavramsal temelleri güçleniyor, bir yandan da mekanik sistemlerin karmaşık devinimlerinin basit, somut ve çekici olan geometrik anlatımları ve bu davranışın temelindeki cebirsel yapılar kurularak ufku genişletiliyordu. Bugün iyi bilinen veya henüz araştırma evresinde bulunan hemen hemen bütün etkileşmelerin, yeni fiziksel teorilerinin başlangıcında, ilk zamanlarındaki basit halinden pek farklı olmayan bir ekstremum ilke vardır.

Bugün brakistoron problemi artık Bernoulli'nin yaptığı gibi çözülmüyor. Bu çözümün sadece tarihsel önemi var. Bu tür varyasyonel problemlerde sistematik çözüm yöntemi, örneğin brakistokron problemi için (1) ifadesindeki integrandı "L fonksiyonu" olarak alıp (11)denklemlerinde yerine koyarak elde edilen 2. mertebeden diferensiyel denklemi uygun başlangıç koşulları ile çözmektir. Bu problem için çözüm (2) bağıntıları ile verilir. Sikloid eğrisinin ve brakistokron probleminin bütün özellikleri bu çözümler kullanılarak elde edilir.

Sıkıştırılamayan bir sıvı içerisinde ilerlerken karşılaşacağı direnç minimum olan bir katı cismin dönel yüzeyini bulma problemi olarak ifade edilebilen ünlü Newton problemi ile eski çağlardan beri bilinen eşçevre problemleri (çevrelediği alan en büyük olan belli uzunluktaki eğriyi bulma problemleri) brakistokron probleminden daha eski ve onunla aynı karakterde olan problemlerdir. Fakat bu problemler, o zamanki ortaya konuş tarzlarından dolayı, benzer karakterdeki farklı problemlere genellenemiyor ve bunların temellerindeki matematiksel yapı anlaşılamıyordu. Bu yüzden denilebilir ki; bugünkü değişimler hesabı ve mekanik kitaplarında XVII. yüzyıldaki sancılı ortamdan uzak mütevazi bir örnek problem olarak yer alan brakistokron problemi, yukarıda değinilen gelişmelerin başlangıcında yer alan problem ünvanına da sahiptir [2].

Kaynaklar

1. G. A. Bliss; **Calculus of Variations** (The Mathematical Association of America, Chicago, 1944),
R: Courant and H. Robbins; **What is Mathematics** (Oxford University Press, New York, 1953).
C. Truesdell; **Essays in the History of Mechanics** (springer-Verlag, New York, 1968).

2. A. Sommerfeld; **Mechanics** (Academic Press, New York, 1952)
H. Goldstein; **Classical Mechanics,** Second Edition (Addison-Wesley, Massachusetts, 1980).

3. D. Halliday ve R. Resnick; **Fiziğin Temelleri Cilt 1. ve 2** (Arkadaş Yayınları 1985,) **Mekanik, Berkeley Fizik Programı Cilt 1.** (Güney Kitapevi Yayınları)

Bir Astronomi Yasasının Öyküsü (III)

Osman DEMİRCAN

Önceki yazılarımızda söz konusu Titius-Bode yasasının, binlerce yıllardır var olduğuna inanılan evrensel düzen beklentisinden kaynaklandığını belirtmiş, ortaya çıkarılışında Kepler'in yoğun uğraşları öncesinde Babillilerin ve Eski Yunanlıların önemli katkıları bulunduğundan söz etmiş, yasanın 19. Yüzyıl ortalarına kadar geçirdiği gelişimin öyküsünü anlatmıştık. Bu arada güneş sistemi dinamiğinin anlaşılması açısından yasanın gücü ve önemi anlaşılmış ancak gözlemsel uygulamalar arttıkça 19. yüzyılda yasanın dış gezegenler için gösterdiği tutarsızlıklar ve olmayan bir gezegeni var göstermesi yasaya güvenilirliği sarsmış, bu yönde yeni arayışlara yol açmıştır. Aslında yasanın yetersizliği daha 1785'te von Zack'ın Bade'ye yazdığı mektupta belirtilmiştir. Önce n indisi Merkür için -1 yerine $-\infty$ alınarak yasada ilk düzeltme yapılmış, hemen sonra 1787 de yasa Wurm (1760-1833) tarafından $r_n = 0.387 + 0.293 \times 2^n$ şeklinde düzeltilmiştir. $r_n = a + b \times c^n$ şeklindeki yasada $a = 0.4$ yerine 0.387, $b = 0.3$ yerine 0.293 önerilmişti ve yasa bu haliyle gezegen uzaklıklarını daha doğru veriyordu. Wurm yasayı ilk kez dev gezegenlerin uyduları için uygulamış, Jüpiter' in uyduları için $r_n = 3.0 + 3.0 \times 2^n$ ve Satürn'ün uyduları için de $f_n = 4.5 + 1.6 \times 2^n$ formüllerini önermişti. Burada uzunluk birimi ilgili gezegenin yarıçapı alınmıştır. Daha sonra yasa, $c = 2$ yerine kesirli sayılar alınarak Gilbert (1769-1824), Challis (1803-1882), Blagg(1858-1944) gibi birçok bilim adamı tarafından düzeltilmiş, gezegen uzaklıkları için binlerce değişik denemeyle çok sayıda Titius-Bode benzeri formül bulunmuştur. Tüm bu Titius-Bode formüllerinden burada ayrı ayrı söz etmek mümkün değildir. Bu konuda binlerce makale yayınlanmış, kitaplar düzenlenmiştir. İlginç bulunan bazı formüller ekteki çizelgede uygulama sonuçlarıyla beraber verilmiştir. Bütün bu Titius-Bode benzeri formüller gözlemsel gezegen-güneş uzaklıklarını önceden kabul edilen (genellikle $a + b \times c^n$ şeklindeki) bir fonksiyonun diskrit değerleri olarak ifade etme çabalarıyla bulunmuştur. Burada gezegen yörüngelerinin tam sayı değerlerine karşı gelmesi atom modellerinde olduğu gibi yörüngelerin kuantumlanması anlamına gelmektedir. Asım Barut'un ifade ettigi gibi "gezegenlerin oluşumunda yörüngelerin neden kuantumlandığı hakkında henüz iyi bir gerekçemiz yok. Kuşkusuz, kütlelerdeki ve dolayısıyla enerjilerdeki düzenliliği de anlamalıyız. Fakat, hidrojen atomunda açısal momentumun kuantumlanması için de çok iyi bir gerekçemiz yok; sadece onu kabul ediyoruz!... Kuantum mekaniği, bu kuantumlanmayı tasvir eder; ama izah etmez".

Çizelgedeki uygulama sonuçlarına dikkat ederseniz gözlem sonuçlarına tam uyum hiçbir zaman sağlanamamaktadır. Bu konuda tüm formüller yaklaşık sonuç vermektedir ve uzak gezegenlere gidildikçe uyum bozulmaktadır. İşte henüz gözlemlerle tam uyum sağlanamadığı için bu alandaki çaba sürüp gitmekte, sürekli yeni ampirik formüller geliştirilmektedir. Arkasında fiziksel temel aramadan siz de benzer formüller geliştirebilirsiniz. Örnek olması açısından çizelgede üç amatör denemenin sonuçlarını da verdim. Bunlardan biri kalp hastalıkları uzmanı Prof. Dr. Gürel Ilıçin'e ikincisi Eczacı Hüseyin Yiğenoğlugil'e ve üçüncüsü de bana aittir. Dikkat edilirse bu amatör çalışma sonuçlarının diğerlerinden hiçde kötü olmadığı görülmektedir. Burada ilginç olan bir nokta Ilıçin, Barut II, Blagg-Richardson ve Prentice formüllerinde c katsayıları aşağı yukarı aynıdır ($1.677 \sim e^{0.537} \sim 1.7275 \sim 1.7$). Diğer benzer formüllerde de bu katsayı (1.5-1.9) arasında yeralmaktadır. Katsayılardaki farklılık kullanılan gözlemsel verilerin farklılığından ve kabul edilen n dağılımının farklılığından kaynaklanmaktadır. Blagg-Richardson formülünün daha doğru görünen sonuçlar vermesinin nedeni formülde y ile gösterilen peryodik bir fonksiyonun kullanılmasıdır. Bu fonksiyon r_n dağılımının üstel ifadeden sapmalarını göstermektedir. Daha fazla bilinmeyenli daha karmaşık formüllerle gezegen-güneş uzaklıkları çok daha iyi ifade edilebilir, ancak bu, sadece yapay bir zorlamadır, genellikle fiziksel anlam taşımaz. Çizelgedeki uygulama sonuçlarının kendi aralarında ve gözlemlerle uyum içinde olmaması, bu alanda henüz tek çözüme ulaşılmamış olduğunu, daha doğrusu bu konudaki formüllerin yasalaşmadığını göstermektedir. Formüllerin çıkarımında yörüngelerin kuantumlaşma varsayımı yapılmaktadır. Sonuca ulaşılmamış olması kuantumlaşmanın olmadığını göstermez. Gezegen yörüngelerinde kuantumlaşma varsa henüz yasası bulunmamış demektir. Belki de gezegen yörüngelerinde binlerce yıldır beklenen ve aranan düzen varolmayabilir!... Bu durumda bunca çaba boşa mı gitmiş olacaktır? Hayır beklenen düzenin varolmadığını göstermek bile bu yönde daha çok çaba harcamayı gerektirmektedir. Anlaşılan o ki güneş sisteminin dinamiğini henüz tam olarak anlayamamışız. Gezegen yörüngeleri kuantumlaşmış mıdır? kuantumlaşmamış mıdır? Kuantumlaşma varsa nasıl bir yasa ile ifade edilebilir? Bu soruların yanıtlarını henüz tam olarak bilmiyoruz. Ancak yörüngelerde kuantumlaşmanın varlığını gösteren gözlemsel kanıtlar oldukça güçlü görünmektedir. Şimdi biraz bu kanıtlardan söz edelim:

(i) Öncelikle biliyoruz ki Mars ile Jüpiter arasında yer alan yüzlerce küçük gezegen (asteroid) tutulma düzleminde bulunmakta, fakat güneşten uzaklığa göre düzgün dağılmamaktadır. 2.5, 2.8, 3.3 ve 3.7 ab uzaklıklarında yığılmalar bulunmaktadır. Bu küçük gezegen yörüngelerindeki kuantumlaşma nedeninin Jüpiter'in oluşturduğu rezonans etkisi olduğu bilinmektedir. Bu boşluk ve yığılma noktalarındaki yörünge açısal hızlarının Jüpiter'in yörünge açısal hızına oranı 3/1, 5/2, 4/3, 3/2 gibi basit kesirli sayılarla ifade edilebilmektedir.

(ii) Jüpiter'in Io, Europa ve Ganymede uyduları için ortalama açısal yörünge hızları W_1, W_2 ve W_3 olmak üzere

$$(W_2/W_1) = (1/2) - 0.001817$$
$$(W_3/W_2) = (1/2) - 0.003647$$
$$W_1 - 3W_2 + 2W_3 = 0$$

eşitliklikleri yazılabilmektedir. Son eşitlik Laplace bağıntısı olarak bilinir. Bu üç bağıntıdan, ayrıca

$$W_1 - 2W_2 = 0.739469091$$
$$W_2 - 2W_3 = 0.739469092$$

eşitlikleri yazılabilir. Satürn'ün uyduları Titan ve Hyperion için de

$$W_h/W_t = (3/4) - 0.000566$$

bağıntısının varlığı uzun süredir bilinmektedir. Uranüs'ün uyduları Miranda, Umbriel, Titania ve Oberon için de

$$W_A - W_U - 2W_T + W_0 \approx 0 \quad \text{ve} \quad W_M - 3W_A + 2W_U \approx 0$$

bağıntıları bulunmuştur. Dermott 1968 yılında tüm bilinen gezegen uydularına ilişkin ortalama açısal hızlarının ikili ikili oranlarını inceleyerek bunların rastgele dağılmadığını kanıtlamıştır. Hatırlanacağı gibi W'lar arasında bağıntı varsa yörünge dönemleri arasında da $P = \frac{2\pi}{W}$ olduğundan P vardır ve üçüncü Kepler yasasına göre yörünge yarıçapı a'nın küpü yörünge dönemi P'nin karesiyle orantılı olduğundan P'ler arasındaki bağıntı a'lar arasında da bir bağıntının varlığını gerektirir.

(iii) 1968 yılında Moskova Üniversitesi Uygulamalı Matematik Bölümü'nden Molchanov sistematik çalışmayla hem gezegenler hem de uyduları için açısal yörünge hızları arasında çok sayıda yaklaşık bağıntı üretmiştir (Yaklaşık diyoruz çünkü bu tür bağıntılarda tam eşitlik sağlanamamaktadır. Bu tür eşitliklerin ortalama göreli hatası 4.5×10^{-4} bulunmuştur). Molchanov'un gezegenler için bulduğu bağıntılar aşağıda listelenmiştir.

$$W_{Me} - W_v - 2W_y + W_{Ma} \approx 0$$
$$3W_{Ma} + W_S \approx 0$$
$$W_Y - 2W_{Ma} + W_J - W_S + W_U \approx 0$$
$$2W_{Ma} - 6W_J - 2W_U \approx 0$$
$$2W_J - 5W_S \approx 0$$
$$W_J - 7W_U \approx 0$$
$$W_U - 2W_N \approx 0$$
$$W_U - 3W_P \approx 0$$
$$W_S - 5W_N - W_P \approx 0$$
$$W_V - W_Y - W_{Ma} - W_J - W_U \approx 0$$
$$W_J - 2W_S - W_U - W_P \approx 0$$
$$W_S - 2W_U - W_N - W_P \approx 0$$
$$W_N - W_P \approx 0$$

Bu eşitliklerin tam olmaması nedeniyle bu bağıntılardan en azından bazıları gerçek olmayabilir. Bu zayıf noktadan giderek ABD'li gezegen bilimciler Backus ve Heanon, Malcahanov'u sert bir şekilde eleştirmişler, söz konusu bağıntıların öngörülen hata sınırları içinde kolayca üretilebileceğini ve bu nedenle hiçbir şey ifade etmediklerini vurgulamışlardır. Hatta Heanon daha da ileri giderek yapay bir gezegen sistemi için sayılarla bir saat kadar oynayıp W'ların arasında çok sayıda benzer bağıntı üretip bu tür çalışma sonuçlarının anlamsız olduğunu göstermiştir. Malchanov 1969 da ard arda yayınladığı iki yanıt makalesinde Backus ve Heanon'un istatistik açıdan yanıldıklarını, W'ların rastgele dağılımıyla söz konusu çok bağıntıların kurulamayacağını, W'lar dolayısıyla P'lerin ve a'ların kuantumlaşmış olması gerektiğini göstermiştir.

(iv) Tamamen farklı bir yaklaşımla, İliçin Jüpiter'in iki yanında gezegenleri ikili ikili dikkate alarak aşağıdaki bağıntıları bulmuştur:

$$P_n P_{n+6}/n^3 = 6.74 \pm 0.48$$
$$a_n a_{n+6}/n^2 = 3.57 \pm 0.17$$
$$(a_{n+6} - a_n)/n = 9.39 \pm 0.22$$
$$m_n m_{n+6}/n = 5.67 \pm 0.29$$
$$R_n R_{n+6} = 3.74 \pm 0.11$$

Burada sırasıyle Merkür, Venüs, Yer, Mars, Asteroidler, ... için n indisi $1, 2, 3, 4, 5, \ldots$ değerlerini almaktadır. Yörünge dönemi P gün biriminde, yörünge yarıçapı a astronomik birim olarak, kütle m yer kütlesi biriminde ve yarıçapı R yer yarıçapı biriminde alınmıştır. Formüller sadece n=1,2 ve 3 için geçerlidir; yani formüller Mars, Asteroidler, Jüpiter ve Pluto için geçerli değildir. Bu kısıtlamalara karşın bu simetrik bağıntıların şansla açıklanamayacağına inanıyoruz. İliçin aynı yaklaşımla gezegen parametreleri arasında anlamlı olup olmadıkları henüz belli olmayan daha karmaşık birçok bağıntı bulmuştur. Tüm bu bağıntılar daha öncekiler gibi yaklaşık bağıntılardır ve bu nedenle daha önce de sözü edildiği gibi birçoğu şans eseri oluşmuş anlamsız ifadeler olabilir, fakat bağıntıların tamamını şansla açıklamak mümkün değildir. Kurulan yaklaşık bağıntılarda hata payı ne olursa bağıntının anlamlı olduğu henüz bilinmediği için anlamlı anlamsız bağıntılar henüz birbirinden ayrılmamaktadır. Anlaşıldığına göre bir gezegenler (veya uydular) sisteminin parametreleri başlangıçta rastgele dağılım gösterse bile sistem küçük yan etkilerle (karşılıklı çekim gibi) kararlı durumlara evrimleşip kuantize olurlar. Bu kararlı durum belli zaman ve boyutlarda oluşmayabilir ve hatta başka etkilerle (örneğin çarpışmalar veya yakın geçişlerin alan etkisiyle) kararlı durumlar bozulabilir. Doğru olduğu bilinen bağıntılar ilgili sistemin dinamiğini ortaya koyacaktır. Bu tür bağıntıların varlığı ve doğruluğu, doğru fiziksel temellere oturtulmuş güneş sistemi modellerinin dinamik evrimi ile denetlenebilir. Bu alanda astronomlar henüz yolun başında sayılırlar. Binlerce yıllık düzen beklentisi Kepler'in çabalarıyla formülleşmeye başlamış, Titius-Bode yasasıyla anlam bulmuş, binlerce arayıştan sonra özellikle Molchanov'un sistematik bulgularıyla kanıtlar çoğalmış ama hala var olduğuna inanılan düzenin doğru yasası bulunamamıştır. Başlangıçta yasa dediğimiz Titius-Bode formülü de bu bağlamda düzenin yasası olmaktan çok uzaktır. Bu gidişle galiba yasanın kalan öyküsü gelecek nesillere kalacaktır.

Tablo 1. Bazı Titius-Bode benzeri yasalar ve gezegenler sistemine uygulama sonuçları. Gezegen-güneş uzaklıkları astronomik birimi (ab) cinsindendir (1 ab=149,6 x 10^6 km).

		Wurm		Prentice		Chase		Ter Haar-Cameron		Dermott	
	Gerçek Uzaklık	$0.387+0.293 \times 2^n$	n	$0.4+1.7^n$	n	$(\pi/32)(1+m\pi)$	n	0.20×1.89^n	n	$0.263e^{n/3}$	n
MERKÜR	0.39	0.39	$-\infty$	0.4	0	0.41	1	0.36	1	0.26	0
VENÜS	0.72	0.68	0	0.7	1	0.72	2	0.71	2	0.48	1
YER	1.00	0.97	1	1.1	2	1.02	3		-	0.87	2
MARS	1.52	1.56	2	1.9	3	1.64	5	1.35	3	1.58	3
ASTEROİDLER	2.90	2.73	3	3.3	4	2.87	9	2.55	4	2.87	4
JÜPİTER	5.20	5.08	4	5.5	5	5.34	17	4.82	5	5.21	5
SATÜRN	9.54	9.76	5	9.4	6	10.28	33	9.12	6	9.48	6
URANÜS	19.16	19.14	6	16.0	7	20. 15	65	17.23	7	17.2	7
NEPTÜN	30.10	3789	7	27.2	8	30.02	97	32.56	8	31.26	8
PLÜTO	39.50	75.40	8	46.2	9	39.58	128		-	58.81	9

	Gerçek Uzaklık	Basano-Hughes		Blagg-Richardson		Barut I		Barut II	
		0.285×1.523^n	n	$0.4162 \times 1.7275^n y$	n	$0.043 \times n^2$	n	0214×1.711^n	n
MERKÜR	0.39	0.43	1	0.39	-2	0.39	3	0.37	1
VENÜS	0.72	0.66	2	0.72	-1	0.69	4	0.63	2
YER	1.00	1.01	3	1.0	0	1.08	5	1.07	3
MARS	1.52	1.53	4	1.52	1	1.55	6	1.83	4
ASTEROİDLER	2.90	2.34	5	2.67	2	2.75	8	3.14	5
JÜPİTER	5.20	5.42	7	5.2	3	5.24	11	5.37	6
SATÜRN	9.54	8.25	8	9.55	4	9.75	15	9.18	7
URANÜS	19.18	19.14	10	19.23	5	19.11	21	15.71	8
NEPTÜN	30.10	29.14	11	30.13	6	29.29	26	26.87	9
PLÜTO	39.50	44.39	12	41.8	7	41.64	31	45.96	10

		İlçin		Yiğenoğlugil		Demircan	
	Gerçek Uzaklık	$0.390 \times 1.677^{(n-1)}$	n	$0.39 + 0.3 \times 2^{n-(1/(9-n))}$	n	0.37 n ilk 4 için 9.76 n son 4 için	n
MERKÜR	0.39	0.39	1	0.39	$-\infty$	0.37	1
VENÜS	0.72	0.65	2	0.69	0	0.74	2
YER	1.00	1.10	3	0.98	1	1.11	3
MARS	1.52	1.84	4	1.57	2	1.48	4
ASTEROİDLER	2.90	3.08	5	2.74	3	-	
JÜPİTER	5.20	5.17	6	5.06	4	-	
SATÜRN	9.54	8.67	7	9.59	5	9.76	1
URANÜS	19.18	14.55	8	18.19	6	19.52	2
NEPTÜN	30.10	24.4	9	32.68	7	29.28	3
PLÜTO	39.50	40.91	10	38.79	8	39.04	4

Bir Yaşam Öyküsü: Paul A. M. Dirac (1902-1984)

Tekin DERELİ

"Matematikçe güzel bir teorinin doğru çıkması olasılığı, çirkin fakat bazı deneysel verilerle iyi uyuşan teorilerinkinden daha fazladır". Bu sözler kuantum mekaniğini keşfedenlerden İngiliz teorik fizikçisi Dirac'a ait. Bir matematik formülü niçin güzeldir? Bunu uzun ve yoğun bir matematik eğitiminden geçmedikçe anlamak ve anlatmak güç. Matematiğin estetiğini açıklayabilmek, sanatta estetik kaygıları açıklamaktan bile daha zor. Ama şu bir gerçek ki Dirac ilgilendiği matematik fizik konularında estetik ve mantıksal tutarlılık kavramlarını ön planda tutarak daha otuz yaşına varmadan dönem başlatan pek çok keşif yapabilmiştir. Yarattığı kuantum mekaniği; yine matematik güzellik kavramlarını en az Dirac kadar önde tutan Albert Einstein'in özel ve genel relativite teorileriyle beraber, 20. yüzyıldan geleceğe kalan en büyük keşiflerden olacaktır.

Dirac 1902'de Bristol'de doğdu. Babası İngiltere'ye yerleşmiş bir İsviçre' liydi. Otoriter bir Fransızca öğretmeniydi. Dirac evde Fransızca konuşmağa zorlanınca tamamen içine kapandı. Tüm yaşamı boyunca suskunluğu, az ve öz konuşması ile anıldı. İç dünyasının zenginliği genç yaşta beliren üstün matematik yeteneği ile dışa yansımıştı. 1921 de Bristol Üniversitesi'nden elektrik mühendisi olarak mezun oldu. Mühendislik okurken bile Einstein'ın relativite teorilerinin büyüsüne kapılmış, kısa zamanda bunları kendi başına öğrenmişti. 1923'e kadar iki yıl daha Bristol'de matematik okudu. Sonra teorik fizik öğrenmek için Cambridge Üniversitesi'ne kaydoldu. O sıralarda Cambridge'de J.J. Thomson, Ernest Rutherford, James Jeans, Arthur Eddington gibi ünlü fizikçiler, hem de aralarında James Chadwick, Patrick Blackett, Ralph Fowler, Pyotr Kapitza gibi sonradan çok ünlenecek olan yetenekli genç bilim adamları çalışmaktaydılar. Cambridge geleneklerine uyularak Dirac, Fowler'in danışmanlığına verildi, istatistik mekanik ve atom fiziği öğrenmeğe koyuldu. İlk makalesi altı ay sonra çıktı. Sonraki iki yıl içinde on makale daha yayınladı. 1926 Mayıs'ında doktorasını alırken artık kuantum mekaniğini keşfetmiş; dünyada ilk kez kuantum mekaniği derslerini vermiş ünlü bir fizikçiydi. Dirac'ın bugün bile kullanılan "Kuantum Mekaniğinin İlkeleri" adlı ders kitabı ilk kez 1930'da basıldı. 1932 de, 17. yüzyılda Isaac Newton'un, günümüzde Stephen Hawking'in işgal ettikleri Lucas Matematik Kürsüsü'ne profesör oldu. 1933' de atom teorisinin yeni bir şeklini bulmaları nedeniyle Nobel fizik ödülünü Erwin Schrödinger'le paylaştı.

Dirac'ın yaşamındaki bu harika sekiz yıl 1925 Ağustos'unda bir gün danışmanı Fowler'in eline bir makale taslağı (preprint) tutuşturmasıyla başladı. Makaleyi yazan, Dirac'ın yaşıtı bir Alman fizikçisi Werner Heisenberg'di. Heisenberg matrisler kullanarak yepyeni bir atom teorisinin temellerini oluşturmaktaydı. Dirac, bu makaleyi gördüğü anda atom-altı dünyasının sırları önünde açılıverdi. Bir kaç ay içerisinde Heisenberg'in öne sürdüğü fikirleri tutarlı bir matematik formalizme oturtup kuantum mekaniği adını verdiği çalışmasını yayınladı. Ancak Almanya'da Göttingen'de bulunan Heisenberg de hocası Max Born ve onun asistanı Pascual Jordan ile beraber aynı sonuçlara ulaşmış bulunuyorlardı. Bu yaklaşım matris mekaniği diye bilindi. Yine 1926 yılının ilk aylarında Zürih'te çalışan Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger dalga mekaniğini buldu. Dirac 1927 ilkbaharında ziyaretine gittiği Niels Bohr'un Kopenhag'daki Teorik Fizik Enstitüsü'nde hem matris mekaniğinin, hem de dalga mekaniğinin aslında kuantum mekaniğinin değişik formülasyonlarından ibaret olduklarını ispatladı. Böylece Dirac bir yıl içinde dünyanın en ünlü fizikçileri arasında anılır olmuştu. Ancak Dirac'ın en önemli keşfi 1928'de özel relativite teorisiyle kuantum mekaniğini bağdaştırmak isterken bulduğu Dirac denklemi oldu. Fiziğin temel denklemlerinden olan ve dalga mekaniğinin esasını oluşturan Schrödinger denklemi, elektron dalga fonksiyonunun sağladığı bir kısmi diferansiyel denklemdir. Zaman türevi birinci dereceden, uzay türevleri ikinci dereceden gözükürler. Halbuki özel relativite teorisine göre zaman ve uzay koordinatlarının tanımı gözlem çerçevesine bağlı olarak görelidir. Bu nedenle Dirac, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden bir elektrona ait dalga denkleminde hem zaman, hem uzay türevlerinin birinci dereceden gözükmeleri gerektiğini düşündü. Bu varsayımdan hareket edince, relativistik bir elektronu tarif etmek için tek bir dalga fonksiyonunun yetmediğini anladı. Böylece birbirinden bağımsız dört dalga fonksiyonunun sağladığı birinci dereceden bir kısmı diferansiyel denklemler takımına ulaştı. Dirac matrisleri adı verilen 4x4 matrisler yardımıyla tek bir matris denklemi halinde yazılabilen bu denklem, fizikte en az Schrödinger denklemi veya Einstein denklemleri kadar önemli ve iyi bilinen Dirac denklemidir. Bu denklemin öngörülerini bulurken Dirac sezgisinin gücünü de sergilemiş oldu. Relativistik dalga denkleminden bulunan enerji düzeylerine bakıldığında bunların arasında fiziksel elektronları tarif eden artı enerji düzeylerinin yanısıra ters işaretli enerji düzeylerinin de varlığı kaçınılmazdır. Bunlara fiziksel bir anlam verebilmek için Dirac tüm eksi enerji düzeylerinin dolu olması gerektiğini böylece fiziksel bir elektronun sadece artı enerji düzeylerinde bulunabileceğini varsaydı. Eğer dışarıdan herhangi bir şekilde enerji alarak, örneğin elektromanyetik dalgalarla etkileşerek, bir elektron eksi enerji düzeyinden artı enerji düzeyine çıkarsa, bu elektronun geride bıraktığı deşik tıpkı artı elektrik yüklü bir tanecik gibi hareket eder. Dirac önceleri bu taneciği bir proton gibi düşündü. Ancak kütlesinin elektron kütlesine, elektrik yükünün elektronunkinin ters işaretlisine eşit olduğunu anlayınca, 1932'de doğada o güne kadar gözlenmemiş böyle bir temel parçacığın bulunacağını öne sürdü. Bu niteliklere sahip bir temel parçacık yine aynı yıl içerisinde Amerikalı fizikçi Carl Anderson tarafından kozmik ışınlarda gözlendi. Pozitron adı verilen ve yaşam süresi sınırlı olan bu temel parçacıkların daha önceden sis odası resimlerinde görüntülenmekte oldukları, ancak pek az sayıda bulunmaları ve nitelikleri o zamana dek bilinmediği için önemsenmedikleri sonradan fark edildi. Bu olay, sağlam bir teorik temel var olmadan gözlemsel veri toplamanın her zaman yeni bir keşife yeterli olmadığını gösteren en iyi örnektir. Salt elektronlar değil, proton, nötron gibi diğer temel relativistik parçaçıkların kuantum dinamiği de Dirac denklemi ile tarif edildiği için, Dirac'ın öngörüsü aslında çok kapsamlı ve geneldir. Pozitronu antielektron diye yorumlarsak, Dirac denklemi her temel parçacığın bir anti-parcacığının varlığını gerektirir. Nitekim anti-proton, anti-nötron v.b anti-parçacıkların hepsi yıllar sonra gözlenmiş, varlıkları kesinleşmiştir.

Dirac bu büyük keşfinden sonra kuantum yaratımı ve yokolumunu tanımlayan bir kuantumlu elektromanyetik alan teorisi inşa etmek için ilk adımları attı. 1932'de Cambridge'den arkadaşı Kapitza'yı ziyaret için gittiği Moskova'da Rus fizikçisi V. Fock ile beraber bu konuda çalışmağa başlamışlardı. Ancak araya giren politik olaylar ve ardından başlayan 2. Dünya Savaşı nedeniyle temel araştırmalar tüm dünyada kesintiye uğradı. 1945'de savaş bittikten sonra fizikçiler tekrar üniversitelerine dönmeğe başladılar. 1947 yılında iki genç Amerikalı bilim adamı Julian Schwinger ve Richard Feynman tutarlı bir kuantumlu elektrodinamik teorisini inşa etmeği başardılar. Tam bu sıralarda henüz savaşın yıkıntısını yaşayan Japonya'dan bir koli içinde, savaş sırasında basılmış dergiler Amerika'ya ulaştı. Hayretle görüldü ki 1920'lerde Avrupada yetişmiş ünlü Japon fizikçisi Nishina'nın öğrencisi Tomonaga problemi kendi yöntemleriyle çözmüş ve 1943'de Japonya'da yayınlamıştır. Kuantumlu elektrodinamik teorisinin en büyük sorunu, varlığına daha 1930'larda işaret edilmiş ıraksak integrallerdir. Fiziksel olaylar için geçiş genliklerini veren bu integrallerin sonsuz değer alması kabul edilemez. Tomonaga, Schwinger, ve Feyman'ın yaptığı esas olarak ıraksak integrallerin sonsuzluklarını, elektronun kütle ve elektrik yükü tanımları içine almağa yarayan, renormalizasyon adını verdikleri bir algoritma geliştirmek olmuştur. Bu algoritmanın matematik tanımı hala daha tartışmalıdır, ama hesaplanabilen fiziksel nicelikler, örneğin elektronun anormal manyetik momenti, gözlemsel verilerle tam çakışmaktadır. Dirac, renormalizasyon algoritmasını en başından beri mantıksız ve çirkin buldu. 1930 lardan itibaren kendi görüşlerine uygun, tutarlı ve güzel bir teori bulmak için uğraştı. Kuantum elektrodinamiğine alternatif olacak bir model bulamadı. Ama gayretlerinin yan ürünü olarak bazı ilginç buluşlar daha yaptı.

Dirac önce klasik elektrodinamik teorisinde eksik gördüğü bazı konular üzerinde çalışarak işe koyulmuştu. Biliyoruz ki doğada artı veya eksi elektrik yüklü nokta tanecikler vardır. (Gauss yasası) Ancak manyetik yüklü nokta tanecikler bulunmaz. Elektromanyetik teorinin esasını oluşturan Maxwell alan denklemleri bu temel gözlemsel olgulara uygun olarak biçimlendirilmişlerdir. Aynı oranda temel bir diğer gözlemsel olgu, doğadaki tüm elementer parçacıkların elektrik yüklerinin, elektronun elektrik yükünün tamsayı katlarına eşit olduğudur. Millikan'ın deneyleriyle saptanan bu olgunun klasik teoride herhangi bir mantıksal açıklaması bulunamaz. Dirac 1931 de Maxwell denklemlerini manyetik nokta yükleri içerecek biçimde genelleştirdi. Sezgisinin gücünü tekrar kanıtlayarak; doğada tek bir manyetik nokta yükün bile bulunması halinde, temel parçacıkların elektrik yüklerinin birim elektrik yükünün (yani elektronun elektrik yükünün) tamsayı katları şeklinde verileceğini ispatladı. O gün, bugündür doğada manyetik nokta yüklerin varlığını ya da yokluğunu kesin kanıtlamak için türlü deneyler yapılmakta. Son yıllarda artık manyetik nokta yükler yoktur da diyemiyoruz. Çünkü 1973 de doğruluklarının ilk kanıtları hızlandırıcı deneylerinden gelen elektrozayıf birleşik kuantumlu alan teorilerine göre topolojik nitelikli manyetik tek kutupların varlığı zorunludur. Ancak bunların kütlelerinin en az proton kütlesinin 10000 katı olacağı tahmin edilmektedir. Yani hızlandırı ve çarpıştırıcı deneylerinde gözlenmeleri şu an olanaksızdır.

Klasik elektromanyetik teoride açık kalmış bir başka problem de şudur: Biliyoruz ki ivmelenen yükler ışır. Yani elektromanyetik dalga yayarak enerjilerinin bir kısmını dışa verirler. Elektrik yüklü bir nokta parcaçığı, değişken bir elektrik alan içine koyalım. Üzerine etki eden elektrik kuvveti nedeniyle parçacık ivmelenir. İvmelenince ışır. Bu ışıma parçacığın içinde hareket ettiği elektromanyetik alanı değiştirir. Döngü böylece sürecektir, dolayısıyla parçacığın hareketi gerçekte çok karmaşık olmalıdır. Ancak derslerde okutulduğu kadarıyla klasik elektromanyetik teoride, bir yüklü parçacığın içinde hareket ettiği elektromanyetik alan üzerine geri tepkisi hiç göz önüne alınmaz. Çünkü bu döngünün kendi içinde tutarlı olarak nasıl ele alınacağını bilmiyoruz. 20. yüzyılın başında ünlü Hollandalı fizikçi Hendrik A. Lorentz bu konuyu klasik fizik kapsamında ele almış, daha sonra 1938'de Dirac konuya en önemli katkıyı getirmiştir. Yüklü parçacıkların elektromanyetik geri tepkisini göz önüne alan hareket denklemleri, Lorentz-Dirac hareket denklemleri adıyla bilinmektedir; henüz üzerinde yeterince durulmamış klasik fizik problemlerinden birisidir.

Dirac, Cambrigde'de Eddington'un etkisiyle olacak, kozmolojiye de ilgi duydu. Doğanın en temel parametreleri olan Planck Sabiti h ve ışık hızı c'nin her ikisinin de değerlerinin bire eşit oluğu doğal birim sisteminde çalışırsak, bazı büyük sayılar kozmolojik ölçekte sık sık karşımıza çıkarlar. Evrenin yaşı tahminen 10^{40} saniyedir. Evrende yaklaşık 10^{80} adet proton vardır. Yüklü bir tanecik üzerine etki eden elektrik kuvveti kütle çekim kuvvetinden 10^{40} kez büyüktür. Dirac tüm bunların bir rastlantı olamıyacağını öne sürdü. Büyük sayılar yasası adını verdiği bu ilkeden hareket ederek evrensel çekim sabiti G, elektrik yükü e, elektron kütlesi m_e gibi temel sabitlerin aslında kozmik zaman ölçeğinde değişken oldukları bir kozmoloji modeline ulaştı. Kozmoloji modellerinin genelde gözlemlerle kanıtlanmaları son derece güç, hatta imkansızdır. Bu nedenle, Dirac'ın modeli de diğer kozmoloji modellerinden öteye büyük bir ilgi uyandırmadı.

Dirac 1969 da Cambridge Üniversitesi'nden emekliye ayrıldı. 1972'de Trieste'deki Uluslararası Teorik Fizik Merkezi'nde (ICTP) onuruna büyük bir konferans düzenlendi. Dirac emeklilik yaşamını Amerika'nın Florida eyaletinde geçirdi. Türk fizikçisi Behram Kurşunoğlu'nun Miami'de kurup yönettiği Teorik Fizik Merkezi'nde dersler verdi, kitaplar yazdı. 20 Ekim 1984' de pek çok keşfi ardında bırakarak hayata veda etti.

İlginç keşifler yapan Fizikçilere ICTP tarafından 1985'den beri Dirac Madalyası verilmektedir.

Doğada Korunan ve Korunmayan Nicelikler

Z. Zekeriya AYDIN

Tam Korunan Nicelikler

Bir fiziksel sistemi incelerken, önce o sistemin hareket boyunca değişmeyen niceliklerini bulmak çok önemlidir. Kapalı bir sistemde, yani çevresiyle etkileşmeyen ancak kendisini oluşturan parçalar arasında etkileşmelerin sözkonusu olduğu bir sistemde, hareket boyunca aynı kalan bu nicelikler korunan nicelikler adını alır. Doğada bu anlamda tam korunan niceliklerin enerji, çizgisel momentum ve açısal momentum olduğunu lise düzeyinde eğitim almış herkes bilir. Her korunan nicelik aslında bir simetriyle ilgilidir. Açısal momentumun korunumu, sistemin 3-boyutlu uzaydaki dönmeler altında değişmez kalmasının bir sonucudur. Çizgisel momentum ve enerjinin korunumları da, sırasıyla sistemin 3-boyutlu uzaydaki ötelenmeler ve zaman ötelenmeleri altında değişmez kalmasından çıkmaktadır. Bu dönüşümler (uzaysal dönme, uzaysal ötelenme ve zamansal ötelenme) sürekli dönüşümlerdir; yani dönüşümü karakterize eden parametreler (örneğin dönme açıları) sürekli değerler alır.

Benzer olarak, doğada tam korunan üç nicelik daha vardır: elektrik yükü, baryon yükü ve lepton yükü. Bunlar üstteki üç nicelikten farklı olarak, uzay-zaman simetrileriyle ilgili olmayıp "iç simetriler" ile ilgilidir. Elektrik yükünün iki cinsi olduğunu, elektronun taşıdığı yükün-$|e|$ ve protonun taşıdığı yükün $+|e|$ olduğunu bilirsiniz. Bir cisimde daima $-|e|$ ya da $+|e|$'nin tam katı kadar yük bulunur. Evrende, ya da kapalı bir sistemde

$(-|e|$ yüklerinin sayısı$)-(+|e|$ yüklerinin sayısı$)$

hiçbir zaman değişmez; yani bu nicelik korunur. Öyleyse kapalı bir sistemde - ve + yükler ancak çiftler halinde yaratılabilir ya da yokedilebilir. Her süreçte, süreç öncesindeki toplam elektrik yükü, süreç sonundaki toplam elektrik yüküne eşittir.

Atom çekirdeklerini oluşturan nötron ve proton baryon sınıfından olup, bunlara +1 değerinde (karşıtnötron ve karşıt protona ise -1 değerinde) bir "baryon yükü" atfedilir. Ya da buna eşdeğer olarak, kuarklara $+\frac{1}{3}$ değerinde ve karşıt kuarklara $-\frac{1}{3}$ değerinde bir baryon yükü verilir. (Yeri gelmişken karşıt parçacığın ne anlama geldiğini kısaca belirteyin. Kuantumlu Alanlar Kuramı'nda, aynı anda, birbirlerine karşı hiçbir üstünlüğü olmayan iki tür parçacık kavramına varılır. Her parçacık için, aynı kütleli fakat her türlü "yükü" karşıt işaretli bir başka parçacık vardır; işte buna ilgili parçacığın karşıt parçacığı denir. Elektronun karşıtparçacığı pozitron, protonun karşıtparçacığı eksi yüklü karşıtproton, π^+ mezonun karşıtparçacığı π^- mezon vb. dir) Baryonlar üç kuarktan oluştukları için baryon yükleri +1 ve mezonlar kuark karşıtkuark çiftlerinden oluştukları için baryon yükleri 0'dır. Kapalı bir sistemde

(toplam baryon sayısı)−(toplam karşıtbaryon sayısı)

ya da

(toplam kuark sayısı)−(toplam karşıtkuark sayısı)

hiçbir zaman değişmez; yani sistemin toplam baryon yükü diyebileceğimiz bu nicelik korunur. Öyleyse kapalı bir sistemde kuarklar ancak kuark-karşıtkuark çiftleri halinde yaratılabilir ya da yokedilebilirler. Her fiziksel süreçte, süreç öncesindeki toplam baryon yükü, süreç sonundaki toplam baryon yüküne eşittir.

Nihayet elektron ve nötrinosuna +1 değerinde, karşıtelektron (pozitron) ve karşıtnötrinosuna -1 değerinde bir "lepton yükü" yakıştırırsak, kapalı bir sistemde

$$\begin{pmatrix} \text{toplam} \\ \text{lepton sayısı} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{toplam karşıtlepton} \\ \text{sayısı} \end{pmatrix}$$

niceliğinin değişmez kaldığını görürüz. Başka bir deyişle, her süreçte, süreç öncesindeki toplam lepton yükü, süreç sonrasındaki toplam lepton yüküne eşit olur.

Temel parçacıklar fiziğinde, üstte saydığımız altı nicelik, gerek kuvvetli etkileşmelerde gerek elektromanyetik etkileşmelerde ve gerekse zayıf etkileşmelerde korunur. Bu korunum yasalarını kullanarak, hangi parçacık süreçlerinin izinli olduğunu, yani doğada görüleceklerini, hangi süreçlerin ise izinli olmadıklarını derhal söyleyebiliriz.

Tam Korunmayan Nicelikler

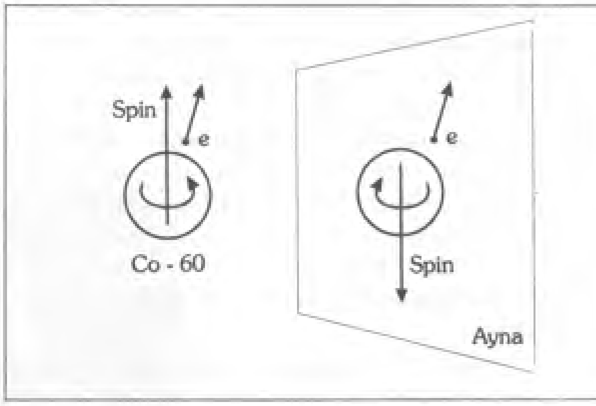
Bazı etkileşmelerde korunup bazılarında korunmayan nicelikler de vardır. Örneğin bir "iç simetri" ile ilgili izotopik spin dediğimiz nicelik kuvvetli etkileşmelerde korunur; fakat elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerde korunmaz. Gene bir "iç simetri" olan acayiplik sayısı kuvvetli ve elektromanyetik etkileşmelerde korunmakla birlikte, zayıf etkileşmelerde korunmaz. Biz burada tam olarak korunmayan başka iki niceliği, parite ve yük eşlenikliğini ayrıntılarıyla inceliyeceğiz.

Parite

Kesikli bir uzay simetrisi olan parite simetrisine, sağ-sol simetrisi ya da ayna simetrisi de diyebiliriz. Bir aynaya baktığımızda, sağımızla solumuzun yerdeğiştirdiği görülür. Aynadaki görüntümüz bizim "ayna simetrimiz" dir. Sağ-sol simetrisine trafikten bir örnek verelim. Avrupa'da sağdan işleyen trafik ne kadar mükemmel ise, Britanya adasında soldan işleyen trafik de orada aynı derecede mükemmeldir. Benzer şekilde, 1956 yılına kadar fizik yasalarının sağ-sol simetrisine sahip olduklarına inanıldı. Bu şu demektir: *Herhangi bir fiziksel sürecin ayna görüntüsü de mükemmel şekilde olası bir fiziksel süreçtir.* Doğa yasalarının bu şekilde ifade edilen ayna simetrisi (ya da parite değişmezliği) çoğu fizikçiye kanıt aramağa gerek duyurmayacak kadar açık görünüyordu. Fakat 1956'da Lee ve Yang bu varsayımın deneysel olarak sınanmasını istediler. Literatürü tarayınca hayretle gördüler ki, kuvvetli ve elektromanyetik etkileşmelerde parite değişmezliği için bol kanıt varolmasına karşın, zayıf etkileşmelerde bu değişmezlik için hiç bir kanıt yoktu. Kobalt-60'ın radyoaktif betabozunmasında bunun test edilmesini önerdiler ve o yıl içinde Wu isimli bir bayan fizikçi önerilen bu deneyi gerçekleştirdi.

Bu ünlü deney şudur: Radyoaktif Co-60 çekirdeklerinin spinleri dikkatlice belirli bir yöne, diyelim ki z-yönüne yöneltilir ve beta-bozunumunda çıkan elektronların yayınlanma yönleri kaydedilir.

Bu bozunmada çıkan beta-parçacıkları (yani elektronlar) çekirdek spini yönünde yayınlanırlar. Şekilde görüldüğü gibi, bu sürecin "ayna görüntüsü" olan süreçte elektronlar spine zıt yönde yayınlanmaktadır. (Çünkü dikkat ederseniz, spin vektörü



Şekil 1. $Co^{60} \rightarrow Ni^{60} + e^{-} + \bar{\nu}_e$ **bozunumu ve bu bozunumun aynadaki görüntüsü**

yukarı olacak şekilde kendi etrafında "dönen" bir çekirdek, aynada ters yönde "dönüyor" gibi görünür ve dolayısıyla aynadaki çekirdeğin spini aşağı doğrudur.) Ayna simetrisi (ya da parite değişmezliği) varsa, her iki süreç ayni olasılıkla görünmeli, dolayısıyla Co-60'ların ortalama olarak yarısı spin yönünde ve yarısı da spinine zıt yönde elektronlar yayınlamalıdır. Deneyde elektronların hep z-yönünde, yani çekirdek spini yönünde fırlatıldıkları gözlendi. Ayna *simetrisi olan süreç doğada yoktu!*.

Deney paritenin bozulduğunu gösteriyordu. Hem de bu bozulum küçük bir etki de değildi: maksimal bir bozulmaydı. Parite bozulumunun sadece kobalt-60' a özgü olmadığı, tüm zayıf etkileşmelerde görüldüğü artık biliniyor.

Parite bozulumuyla ilgili her yazıda değinildiği gibi, gelecekte uzayın bir yerlerinde akıllı yaratıklarla iletişim kurulacak olursa, onlara sağ-sol kavramlarını ancak ve ancak kobalt-60'ın beta bozunumuyla anlatabiliriz. Bu kavramı anlatmanın başka yolunu hiçbir şekilde bulamazsınız.

Parite bozulumu, pratik açıdan zayıf kuvvetin işaretidir. Bu, nötrinonun davranışında kendini daha da dramatik biçimde gösterir.

Bir parçacığın helisite'si, spininin hareket doğrultusundaki izdüşümü olarak tanımlanır ve basitçe m_s/s dir; burada s spin kuantum sayısını m_s ise spinin kuantumlu yönelimini gösterir. Daha doğrusu spinin z-ekseni üzerindeki izdüşümüdür ve $m_s = -s, -s+1, \ldots, s-1, s$ gibi $2s+1$ değer alır. $\frac{1}{2}$ spinli bir parçacığın helisitesi, ya $+1(m_s = 1/2)$ ya da $-1(m_s = -1/2)$ olabilir. İlkine "sağ-elli", ikinci hale ise "sol-elli" deriz. Aralarında korkunç bir ayrım yoktur; çünkü kütleli bir parçacık için, helisite Lorentz dönüşümleri altında değişmez kalamaz: $\vec{v}$ hızıyla giden sol-elli parçacığa, aynı yönde daha hızlı giden bir Lorentz gözlem çerçevesinden bakarsak, bu kez onu sağ-elli olarak görürüz! Fakat bu argümanı bir elektron yerine bir nötrinoya uygularsanız iş değişir. Nötrino kütlesiz olduğu için, ışık hızıyla hareket eder; her gözlem çerçevesinden hızı hep c'dir. Dolayısıyla nötrino için helisite Lorentz değişmez bir niceliktir, yani çok temel bir özelliktir.

1950'lerin ortalarına kadar nötrinoların yarısının "sol-elli" ve yarısının da "sağ-elli" oldukları kabul edilmekteydi. Fakat sonra keşfedildi ki, tüm nötrinolar sol-elli ve tüm karşıtnötrinolar sağ-elli'dir. Bir nötrinoyu gözlemek çok zor olduğuna göre, helisitesini doğrudan ölçmek iyice zordur. Fakat bu ölçümü yapmanın oldukça kolay dolaylı bir yolu vardır: $\pi^- \to \mu^- + \overline{\nu}_\mu$ bozunumu. Piyon durgunsa, müon ve karşıtnötrino zıt yönlerde gider. Piyonun spini sıfır olduğuna göre, müon ile karşıtnötrinonun spinleri de zıt yönelmelidir. Dolayısıyla karşıtnötrino sağ-elli ise müon da sağ-elli olmalıdır. Deney tam bunu verir!

$$
\begin{array}{ccccc}
 & \mu^- & \pi^- & \overline{\nu}_\mu & \\
\text{momentum} \longleftarrow & \bullet & \bullet & \bullet & \longrightarrow \text{momentum} \\
 & \text{spin} \Leftarrow & & \Rightarrow \text{spin} &
\end{array}
$$

Benzer şekilde, $\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$ bozunumunda μ^+ sol-elli çıktığı için, nötrinonun da sol-elli olduğuna hükmedilir.

Yük Eşlenikliği

Klasik Elektrodinamik, tüm elektrik yüklerinin işaretlerinin değiştirilmesi altında değişmez kalmaktadır. Temel Parçacıklar Fiziğinde "yükün işaretinin değiştirilmesi" kavramını genelleştiren bir işlem tanımlanır; buna yük eşlenikliği adı verilir, C ile gösterilir; her parçacığı karşıt parçacığına dönüştürür: $C|p\rangle = |\bar{p}\rangle$. Adlandırma çok uygun değildir; çünkü yüksüz olan nötrona uygulanınca, onu karşıtnötrona götürür. Aslında bu işlem tüm "iç" kuantum sayılarının işaretini değiştirir; yani yük, baryon yükü, lepton yükü, acayiplik, tılsım v.b. sayılarının tümünün işaretini değiştirir; sadece kütle, enerji, momentum ve spine dokunmaz. C'nin olası özdeğerleri $+1$ ve -1 dir.

Doğadaki her parçacığın $+1$ ya da -1 değerli bir paritesi olduğu halde, bu parçacıkların çoğu C'nin özdurumu değildir. Ancak karşıtparçacığı kendisine özdeş olan parçacıklar yük eşlenikliğinin özdurumlarıdır. Yani sadece bu tür parçacıkların yük eşlenikliği belirli olup, ya $+1$ ya da -1 dir. Örneğin elektromanyetik alanın kuantumu olan fotonun C'si -1 dir. Yük eşlenikliği sayısı, parite gibi, kuvvetli ve elektromanyetik etkileşmelerde korunur. Bu nedenle $\pi^0 \to \gamma + \gamma$ bozunumu vardır; fakat $\pi^0 \to \gamma + \gamma + \gamma$ bozunumu, yük eşlenikliği sayısını korumadığı için yasaktır. Benzer şekilde $\omega \to \pi^0 + \gamma$ izinlidir; fakat $\omega \to \eta^0 + \gamma + \gamma$ yasaktır. Yük eşlenikliği de, parite gibi, zayıf etkileşmelerde bozulur.

CP Simetrisi

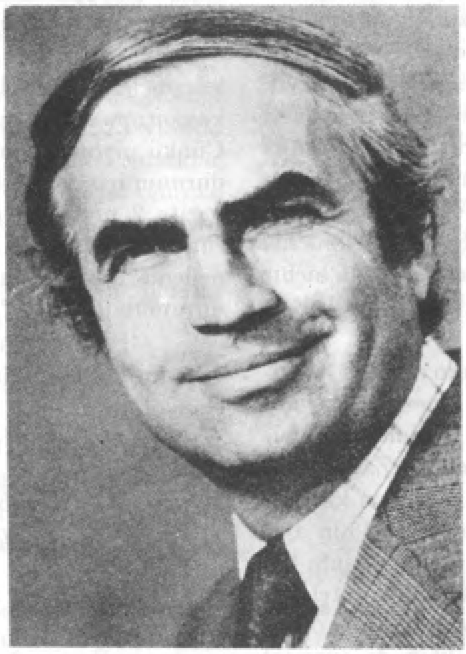
Gördük ki zayıf etkileşmeler parite (P) işlemi altında değişmez kalmıyor. Bunun en açık kanıtı şu: $\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$ bozunumunda yayınlanan μ^+ daima sol-ellidir. Zayıf etkileşmeler C altında da değişmez kalmıyor. Çünkü $\pi^+ \to \mu_L^+ + \nu_\mu$ sürecinin yük eşleniği $\pi^- \to \mu_L^- + \overline{\nu}_\mu$ dir, burada L sol-elli anlamındadır, sağ-elli için ise R indisi kullanılır. Oysaki π^- bozunumunda çıkan μ_R^- dir.

Şimdi iki işlemi birleştirelim: $\pi^+ \to \mu_L^+ + \nu_\mu$ nün yük eşleniğini alıp, ardından parite işlemini de uygulayalım:

$$
\begin{aligned}
(\pi^+ \to \mu_L^+ + \nu_\mu) &\xrightarrow{\quad C \quad} (\pi^- \to \mu_L^- + \overline{\nu}_\mu) \\
&\xrightarrow{\quad P \quad} (\pi^- \to \mu_R^- + \overline{\nu}_\mu).
\end{aligned}
$$

Deneye bakılırsa, doğada gerçekten de hem ilk süreç, hem de onun CP eşleniği olan son süreç gözlenmektedir. Buna göre, zayıf etkileşmelerde C ve P ayrı ayrı korunmadığı halde, CP korunuyor gibi görünmektedir.

1964 yılında Christenson, Cronin ve Fitch, zayıf etkileşmelerde CP nin de tam anlamıyla korunmadığını deneysel olarak gösterdiler. Fakat bu bozulma çok küçüktür: binde bir basamağında!. Ama bu küçücük bozulma etkisinin, evrendeki madde-karşıtmadde dengesizliğini açıklayabileceğini umuyoruz.



Dünyaca tanınmış fizikçilerimizden. Prof. Dr. Asım BARUT'un 6 Aralık 1994 tarihli beklenmedik kaybından derin üzüntü duyuyoruz. Kendisine rahmet; ailesine, meslekdaşlarına ve seçkin kişiliği ile yetişmelerine özenle katkıda bulunarak bilim dünyasına kazandırdığı öğrencilerine başsağlığı diliyoruz. İnancımız, öğrencilerinin, onun fizik dünyasınca benimsenen düşüncelerini geliştirerek anısını yaşatacağıdır.

Asım BARUT matematiksel fizik ve teorik parçacık fiziği konularında yayınladığı 550 kadar makale ve İngilizce yazılım, Almanca, Rusça ve Lehçeye de çevrilmiş 5 kitaptan ibaret eserleriyle düşüncelerimizi aydınlatmayı şürdürecektir.

CP Bozulması

Nâzife Özdeş KOCA

Fiziksel olarak bilinen bütün simetriler korunum yasalarıyla doğrudan ilişkilidir. Simetri, özel bir şeyin belirli bir operasyon altında değişmez kalması demektir. Kesikli simetriler şimdiye kadar parçacık fiziğinde önemli rol oynamışlardır. Simetri operasyonlarından parite P (ayna simetrisi), yük eşlenikliği C (parçacık-antiparçacık değiş tokuşu) ve zamanda tersinirlik T ayrı bir öneme sahiptir. Uzun yıllar bu simetrilerin bütün etkileşmelerde (Zayıf, Kuvvetli, Elektromagnetik ve Gravitasyonel) korunduğu düşünülmesine karşın 1957 yılında zayıf etkileşmelerde paritenin bozulduğunun gözlenmesiyle (Co^{60}'ın beta bozunumunda) bu simetrilerin geçerli olup olmadığı sorusu gündeme geldi. Ancak zayıf etkileşmeler dışındaki hiçbir etkileşmede C, P ve T nin bozulduğuna dair herhangi bir olay görülmedi.

Rölativistik lokal kuantum alanlar teorisine göre CPT (C, P ve T operasyonlarının sıra önemli olmaksızın birbiri ardından uygulanması) korunan bir simetridir. Zayıf etkileşmelerde parite bozulmasının keşfinden kısa bir süre sonra piyon bozunmasında P ve C nin ayrı ayrı bozulduğu ancak CP ve T simetrilerinin korunduğu gözlendi. 1964 de Cronin, Fitch ve arkadaşları zayıf etkileşmelerde CP nin korunmayacağını iddia ettiler. Gerçekten de aynı yıl CP nin nötral Kaon (K°) sisteminde 2×10^{-3} oranında bozulduğu deneysel olarak gösterildi. Cronin ve Fitch bu çalışmalarından dolayı 1980 yılında Nobel ödülü kazandılar.

Yüksüz Kaon sisteminde CP Bozulması

Yüksüz K mezonları $K^\circ(K^\circ \equiv d\bar{s})$ ve $\overline{K}^\circ(\bar{K}^\circ \equiv \bar{d}s)$ fiziğin diğer alanlarında pek rastlanmayan birçok olağandışı kuantum mekaniksel etkiler gösterir. Yani $t = 0$ anında üretilen bir K° belirli bir zaman sonra kendiliğinden antiparçacığına ($\bar{K}^\circ$) dönüşür. Benzer durum D° mezonları için de geçerlidir. Yüksüz K mezonlarının özelliklerini anlayabilmek için K° ve $\bar{K}^\circ$ yi bağımsız parçacıklar olarak düşünmemek gerekir. Kuvvetli etkileşmelerde acayiplik (S) denen bir kuantum sayısı vardır ve korunan bir niceliktir. Dolayısıyla acayip parçacıklar kuvvetli etkileşmelerde S kuvantum sayısı korunacak şekilde oluşurlar.

K° için $S = 1$ iken, $\bar{K}^\circ$ için $S = -1$ dir. Bunlar 2 piyona ($\pi^+\pi^-$ veya $\pi^\circ\pi^\circ$), ya da 3 piyona ($\pi^+\pi^-\pi^\circ$ veya $\pi^\circ\pi^\circ\pi^\circ$) yalnız zayıf etkileşmeler yoluyla bozunurlar. Burada acayiplik kuvantum sayısının korunmadığı görülmektedir. Çünkü piyonlar için $S = 0$ dır. İki ve üç piyon durumu için yük eşlenikliği $C = 1$ olduğu halde, parite 2 piyon durumunda $P = 1^3$, piyon durumunda ise $P = -1$ değerini almaktadır. Bu nedenle 2 piyon durumunda $CP = +1$, 3 piyon durumunda ise $CP = -1$ olmaktadır.

CP enveryansının sağlanması için K° ve $\bar{K}^\circ$ nin karışımı olan K_1 ve K_2 özdurumlarını ele alalım:

$$K_1 = 1/\sqrt{2}(K^\circ + \bar{K}^\circ) \quad C = -1, P = -1, CP = +1$$
$$K_2 = 1/\sqrt{2}(K^\circ - \bar{K}^\circ) \quad C = +1, P = -1, CP = -1$$

Burada K_1 2 piyona bozunan bileşendir, K_S olarak da tanımlanabilir ve ömrü 0.89×10^{-10} saniye kadardır. K_2 ise 3 piyona bozunan bileşendir ve ömrü (5.2×10^{-8} saniye) diğerine nazaran uzun olduğu için K_L olarak da bilinmektedir.

1964 yılında ilginç bir durum gözlendi: K_L'nin aynı zamanda 2 piyona da bozunmakta olduğu gösterildi. $CP = +1$ kuvantum sayısına sahip K_S durumu CP kuvantum sayısı +1 olan iki piyona bozunmakla birlikte, 2×10^{-3} olasılıkla CP kuvantum sayısı -1 olan üç piyona da bozunmakta ve dolayısıyla CP kuvantum sayısı korunmamaktadır.

Lokal kuvantum alanlar teorisinde CPT korunduğu için CP'nin bozulduğu reaksiyonlarda T nin de bozulması gerekir. Kaonlar dışında CP veya T'nin bozulduğunu gösterebilmek amacıyla daha birçok deney yapılmasına rağmen bir sonuç alınamadı. En hassas deneylerden biri de nötron ve elektronun elektrik dipol momentlerinin araştırılmasıydı. Şu anda üst limitler nötron için 10^{-25} ecm elektron için ise 10^{-26} ecm kadardır.

CP bozulmasının keşfiyle, bu sonucu açıklamak için birçok teoriler geliştirildi. Ayar teorilerinin geliştirilmesiyle de CP bozulmasını bir ayar teorisi çerçevesinde formule etmek mümkün oldu. Son yıllarda CP bozulması Standart Model içinde ele alınmaktadır.

Standart Model (SM)

Standart SU(3)XSU(2)XU(1) ayar modelinde CP bozulma olasılığı sadece Yukawa etkileşmelerindeki kompleks katsayılarda vardır. Kuarkların iki ailesini içeren orijinal teoride çeşni simetrilerinden dolayı kompleks faz ortadan kalkar ve CP bozulması oluşmaz. 1973 yılında Kobayashi ve Maskawa (KM), 3 aileli kuarklar için 1 kompleks fazın ortadan kalkmayacağını ve standart modelin CP bozulmasına izin vereceğini gösterdiler.

SM, maddeyi meydana getiren bloklar (6 kuark ve 6 lepton) arasındaki etkileşmeyi açıklamaktadır. Spin 1/2 olanlardan kuarklar zayıf, kuvvetli ve elektromagnetik (em) etkileşmeye girerken; leptonlar ise zayıf ve elektromagnetik etkileşme yaparlar. Bunlara spini 1 olan kuvvet taşıyıcıları (foton (em), $W^{\pm}, Z^{0}$ (zayıf) ve gluon (kuvvetli)) aracılık eder. 3 tane kuark-lepton ailesi vardır ve her ailenin SM deki rolü aynıdır.

En küçük aile u ve d kuarkları ile elektron ve elektron nötrinosundan meydana gelir. Bilinen madde bu ilk aileden oluştuğundan evrende özel bir rol oynar. Nötrinolar ise şimdilik kütlesiz olarak düşünülmektedir. SM ile deneyler arasında görünen hiçbir uyumsuzluk yoktur. Ne var ki, SM bazı değerler konusunda bir öngörüde bulunamamaktadır. Örneğin CP bozulması modelde serbest bir parametre olarak bulunmaktadır ve bunun ötesinde bu parametreyi belirleyici bir öngörüsü yoktur.

B-mezon Sisteminde CP Bozulması

Yüksüz Kaon sisteminde CP'nin bozulmasının keşfinin üzerinden 30 yıl geçmiş olmasına rağmen halen başka bir sistemde CP bozulmasının olduğu gösterilememiştir. Bu nedenle bu sonucun doğanın temel özelliği mi yoksa nötral kaonlar için bir tesadüf mü olduğu bilinmemektedir. Son yıllarda bu sorulara cevap verebilmek için büyük bir gayret sarfedilmektedir.

CP bozulması $D^{\circ}(D^{\circ} \equiv c\bar{u})$ ve $B^{\circ}(B^{\circ} \equiv \bar{b}d)$ mezon sistemlerinde de gözlenebilir. Ancak $D^{\circ} - \bar{D}^{\circ}$ karışımı çok düşük düzeyde olduğundan ve başka sebeplerden dolayı CP bozulmasını incelemek için uygun değildir. Deneysel olarak $B^{\circ} - B^{\circ}$ sisteminin $K^{\circ} - K^{\circ}$ ile karşılaştırılabilir durumda olduğu iyi bilinmektedir. Kobayashi-Maskawa modeline göre yüksüz B sisteminde CP'yi bozan etkinin yüksüz kaon sistemine göre çok daha fazla olacağı beklenmektedir. Bu nedenle şu anda Yüksek Enerji Fiziğinin en önemli amaçlarından biri de B-mezon sisteminde CP bozulmasına bakmak ve Standart Modelin geçerliliğini test etmektir. Bu amaçla İsviçrenin Cenevre kentindeki CERN Nükleer Araştırma Merkezinde 2000 yılında bitirilmesi planlanan Büyük Hadron Çarpıştırıcısında (LHC), proton-proton çarpışmalarında ortaya çıkabilecek B mezonlarını kullanarak CP bozulması araştırılacaktır.

B° mezonlarındaki CP asimetrisi şu reaksiyonlarda ölçülebilir:

$$B_d^{\circ} \to \pi^{+}\pi^{-}$$
$$B_d^{\circ} \to J/\Psi K_S^{\circ}$$
$$B_s^{\circ} \to \rho K_S^{\circ}$$

Ancak B° mezonunun bu parçacıklara gitme olasılığı oldukça küçük olduğundan (dallanma oranı 10^{-5} mertebesinde) CP bozulmasını inceleyebilmek için çok sayıda B mezonu üretilmesi gerekmektedir.

CP Bozulmasıyla Ne Öğreneceğiz?

Büyük Patlama esnasında evrenin oluşumuna bakalım. Büyük Patlama sırasında parçacıkların oluşmasını açıklayan herhangi bir teoride eşit sayıda parçacık ve antiparçacık bulunmaktadır. Örneğin Coulomb alanı içindeki bir foton elektron-pozitron ya da proton-antiproton çiftine dönüşebilir. Madde ve antimaddeden oluşan bir karışım büyük çapta bir madde topluluğunun, örneğin, galaksilerin oluşmasına izin vermez. Çünkü madde ve anti-madde birbirlerini yok ederek radyasyona dönüşür. Biliyoruz ki galaksiler maddeden meydana gelmiştir. Başlangıçta madde ve antimadde arasında simetrik olan durum nasıl oluyor da madde lehine değişiyor? Belki de CP bozulması bu konuda bir anahtardır ve bu yönde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Magnetizma ve Yaşam

Hanaslı GÜR

Magnetik kuvvetlerin görünürdeki gizemliliği yüzünden, insanoğlu, geçmişten günümüze, magnetik alanın insan ve hayvan yaşamı üzerindeki etkilerini araştırıp durmaktadır. Çoğu durumda, böyle etkiler bulunduğu sanılsa da, hiçbir zaman bu etkiler tekrarlı olarak gözlenememiştir. Bununla birlikte, yakın geçmişte, genç bir bilim adamı, Yer'in magnetik alanının, yaşayan bir organizmalar sınıfı (magnetotaktik bakteriler) üzerindeki tümüyle tekrarlanabilir etkilerini bulmuştur. Bu yazıda, bu buluş ve onun bazı sonuçları anlatılmak istenmektedir. Buluşun öyküsünü anlatmadan önce, biraz tarihsel ve bilimsel görüş açısı vermek gerekmektedir.

Magnetizmanın gizemli olduğunu söylemiştik. İki mıknatıs alalım ve birbirlerine yaklaştıralım. Boş uzayda, bir yönelimde birbirlerini çeker, bir başkasında birbirlerini iterler. Bu olayda bir gizemlilik bulunduğunu seziyoruz. Bir mıknatıs iğnesinin sapması gözlemi, Einstein'ın, kuvvet alanları ve onların neler olabileceği üzerinde düşünmesine neden olmuştur. Büyük ölçüde Einstein'ın düşüncelerine dayanan şimdiki anlayışımıza göre, elektromagnetik alan denen yalnızca bir alan vardır ve algılamamız bu alana göre hareketimize bağlıdır. Örneğin, magnetik alan dediğimiz, elektrik yüklerinin bize göre hareketinden doğmaktadır. Bunun bir sonucu, bağıl hızlar ışık hızından küçük olduğuna göre, magnetik kuvvetlerin elektriksel kuvvetlerden küçük olmasıdır. Elektriksel kuvvetler, örneğin, atomları ve katıları bir arada tutarlar. Magnetik kuvvetler ise, toplam bağlanmanın yalnızca küçük bir kesrini sağlarlar.

Alışılmış terimlerle söylersek, bir mıknatıstan söz ettiğimiz zaman, buzdolabı kapılarını birbirine yapıştıran sürekli mıknatısı anlıyoruz. Doğada, böyle bir mıknatıs, magnetit denen ve kimyasal formülü Fe_3O_4 olan bir biçimde bulunmaktadır. Daha açıklayıcı olarak, $FeO \cdot Fe_2O_3$ biçiminde yazılabilir; bu yazılış, her molekülde bir Fe^{++} iyonu, ve iki Fe^{+++} iyonu bulunduğunu gösterir.

Magnetitin özelliklerinin bulunuş ayrıntıları eski çağlarda yitirilmiştir. Magnetitin demiri çektiği olgusu, 2000 yıl kadar önce Çinliler tarafından biliniyordu; bu bilgi, ya Akdeniz üzerinden tüm dünyaya yayılmış olabilir ya da klasik zamanlarda bağımsız olarak yeniden bulunmuştur. Magnetitin, Yer'in alanı boyunca uzanma eğiliminin çağ atlatıcı bulunuşu, görünürde bir Çin buluşudur (merak uyandıracak biçimde, "güney göstericisi" adını vermişlerdir). Ayrıca, deneyle, demir iğnelerin mıknatıs taşına sürtülerek, ya da, başka bir yol olarak, bu iğnelerin, tav sıcaklığına kadar ısıtılıp, Yer'in magnetik alanında soğutulması ile mıknatıslanabildiği bulunmuştu. Suyun içinde ya da boşlukta, asılmış bir mıknatıslanmış iğnenin, kabaca kuzey-güney doğrultusunu gösterdiği bulunmuştu. Bu buluşla, yelkenli gemiler, açık okyanuslarda, yıldızlar görünmüyor olsa da, güvenle seyredebiliyorlardı. Bir gemi, ilk olarak, planlanmış bir yolculuk yapmış ve kendi demirleme limanına dönmüştü.

Bu yazı, geniş bir bakteri sınıfının, birkaç milyar yıl kadar önce, kendi hareketlerine kılavuzluk eden bir magnetik kılavuz sistemi geliştirdiklerini açıklamaktadır. Böylece, insanoğlunun büyük buluşlarından birinin, yeryüzündeki en basit organizma tarafından, çok daha eskiden bulunmuş olduğu, şimdi anlaşılmış olmaktadır.

Bakterilerin Magnetik Yüzmesi

Bakteriler, her yerde yaşayabilen tek-hücreli organizmalardır. Vücutlarımızın içinde ve yüzeyinde de yerleşip gelişebilirler. 85° C'lük sıcaklıklarda ve okyanusların derinliklerinde de bulunabilirler. Tipik olarak, birkaç mikrometre (μm) büyüklüğündedirler ve bu yüzden yalnızca bir mikroskopla görülebilirler. Görünür ışık dalgaboyunun belirlediği çözme limiti (suda, 0,4 μm kadar) yüzünden, ayrıntılı içyapıları optik mikroskopla görülemez. Yapılarının daha ince noktalarını görmek için, elektron mikroskobu gerekir.

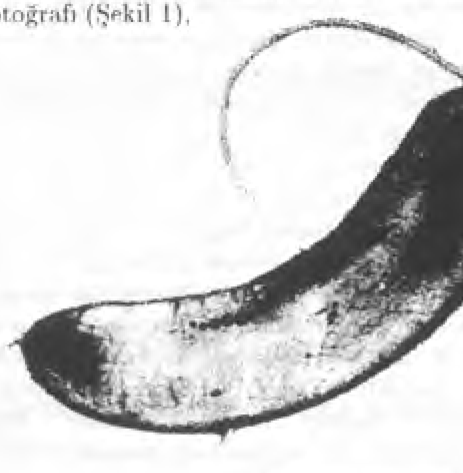
Küçük boyutlarına karşılık, bakteriler, yerel koşullara büyük uyum gücü ve geniş bir davranış aralığı gösterirler. Örneğin, geniş bir bakteriler sınıfı, oksijen bulunmayan koşullarda en iyi biçimde işleyebilir. Bu bakteriler sınıfının, Yer'in gelişiminin çok başlarında, bitkilerin evriminden ve bunun sonucu olarak atmosfere oksijen salınmasından önce ortaya çıktıkları düşünülmektedir (Oksijen, fotosentezin yaygın bir ürünüdür; tam, karbon dioksidin, bizim metabolizmamızın yaygın ürünü olması gibi). Şimdilerde anaerobik (oksijensiz yaşayabilen) bakteriler olarak adlandırılan bu bakteriler, düşük oksijen düzeyli birçok suiçi (aquatic) çevrede bulunabilirler. Bozunan hayvansal ve bitkisel maddeler bu koşulları sağlar. Oksijensiz (anaerobik) metabolizmanın belirgin yaygın ürünü, bataklık gazı olarak da bilinen metandır. Böyle bakterilerin çoğu, bir ya da daha fazla uzantı yardımı ile yüzerler. Bu uzantılara, uzun ve az oldukları zaman kırbaç, kısa ve çok oldukları zaman da tüy denir. Ayrıca, bu uzantıların, sudaki kimyasalları ve çözünmüş gazları duyabilen alıcıları vardır ve böylece yiyeceğe doğru ve zehirlerden ise uzağa doğru yüzebilirler. Anaerobik bakteri için, oksijen zehir gibidir.

1975' de, Richard Blakemore çarpıcı bir buluş yaptı. O sırada, Massachusetts Üniversitesi'nde lisansüstü öğrencisi idi. Araştırma alanı, anaerobik bakterilerin, çamur ve bataklık ekolojisindeki rolü ile ilgili idi. Yakınlardaki küçük tuzlu gölden biraz çamur alıp, biraz deniz suyuna karıştırarak, bir mikroskop camının üzerine bir damla koydu ve yüksek çözme gücü ile gözledi. Kuşkusuz, bu gözlem, 1850'lerde Pasteur'ün zamanından beri on binlerce kez yapılmıştı. Fakat Blakemore, hiç kimsenin görmediği bir şeyi farketti. Bazı damlalarda, bakteriler damlanın bir yanına doğru yüzüyorlardı. Acaba oda ışığından öteye doğru mu, yada ona doğru mu yüzüyorlardı? Mikroskobu bir kutu ile örttü. Başka yöne çevirdi. Başka odaya götürdü. Her durumda, bakteriler aynı geometrik doğrultuda (kuzeye doğru) yüzmeyi sürdürdüler. Biyoloji ve kimya laboratuvarları, üzerleri plastikle kaplanmış küçük daimi mıknatıslarla donatılmıştır. Bunlar, dönen, daha büyük bir mıknatısla etkileşerek, eriyikleri karıştırmak için kullanılırlar. Blakemore, böyle bir karıştırıcı alarak, damlanın yakınına getirmiştir. Bir yönelimde, karıştırıcı çubuk hareketi etkilememiş; karşıt yönelimde, bakterilerin hareket doğrultusu ters dönmüştür. Karıştırıcı mıknatısın, bir pusula ile sınanmasına dayanarak, bu gözlem, bakterilerin hemen hemen tümünün, pusulanın kuzeye bakan ucu doğrultusunda yüzdüğünü göstermektedir.

Burada, magnetizma ve biyolojinin tarihindeki eşsiz bir buluş söz konusudur. Yer'in magnetik alanının, yaşayan bir organizma üzerindeki doğrudan ve tekrarlanabilir etkisini göstermektedir. Blakemore ve arkadaşları, bakterilerin, yönelimleri için, yaşıyor olmalarının temel olmadığını da hemen göstermişlerdir. Öldürülmüş bakteriler de, uygulanan bir magnetik alana uyacak biçimde dönmelidir; fakat, ölmüş olduklarından, bu alanda hareket etmemeleri gerekir.

Yönelimin İşleyişi

Bilimdeki her buluş, daha çok soru sorulmasına neden olur. Bakterilerin magnetik yüzmesi konusunda ise, şu sorular ortaya atılmıştır: Etkinin fiziksel işleyişi nasıldır ve biyolojik içermeleri nelerdir? Birinci soru için, Blakemore'un düşüncesi şöyledir: en basit işleyiş, her bakterinin, kendi içinde, magnetik alanda dönen küçük bir pusulasının olmasıdır. Tipik bir bakterinin elektron mikroskobundan alınmış bir fotoğrafı (Şekil 1).



Şekil 1. Bir magnetotaktik bakterinin elektron mikroskobunda görünüşü. Bu tip bir bakterinin iç yapısının alışılmamış özelliği, içinde, kabaca 50 nm çaplı elektron-yoğun parçacıklardan oluşmuş bir zincirin bulunmasıdır. Bu parçacıklar, magnetit (Fe_3O_4) ten oluşmuştur; ve her biri, tam olarak mıknatıslanmış birer daimi mıknatıstır. Bu zincir, bakteriyi, Yer'in magnetik alanının kuvvet çizgileri

doğrultusunda yönelten bir pusula gibi işler. Burada gösterilen bakteri türünde, bakterinin, her iki ucunda birer kırbacı vardır. Böylece, ileri ve geri doğrultuda yüzme yeteneği kazanmıştır. Bazı türlerin, yalnız bir ucunda kırbaç bulunmaktadır.

magnetik alana, bakterinin içindeki elektron-yoğun parçacıkların alışılmamış bir dizilişinin cevap verdiğini göstermektedir. Bunlar mı, pusula işlevi görmektedir? Bu kanıyı, Harvard'dan Edward M. Purcell ile tartışırken, Purcell, bu dizilişlerin, bazı demirli maddelerin tek-bölgeli magnetik parçacıkları türünden olabileceğini; ve böyle ise, şu tür bir sonuç doğacağını söyledi: Kısa süreli, kuvvetli bir karşıt-doğrultulu magnetik alan atması, her bakterinin mıknatıslanmasını, bakteri kendini yeni alana uydurmadan önce, ters çevirmelidir. Adrianus J. Kalmijn ile bağlantılı olarak yapılan bir deney, tam böyle bir etkinin var olduğunu gösterdi.

Magnetizma fiziğini kullanarak, bir bakterinin, Yer'in magnetik alanında yönelmesi için, ne kadar magnetik madde gerektiği kestirilebilir. Belirli bir dizilme elde etmek için, μB magnetik enerjisi, ısıl düzensizliğe eşlik eden kT enerjisi ile karşılaştırılabilir olmalıdır ya da daha büyük olmalıdır. Bu gereksinin,

$$\mu B > \mathrm{kT} \quad \text{ya da} \quad \mu > \mathrm{kT/B}$$

olarak yazılabilir. Burada μ, bakterinin toplam magnetik momenti; k, Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin); T, mutlak sıcaklık (300° Kelvin); ve B, Yer'in magnetik alanı ($\sim 5 \times 10^{-5}$ Tesla) dır. Bu verilerle,

$$\mu > 8,3 \times 10^{-17} \quad \text{Joule/Tesla}$$

olur. Magnetit tam olarak mıknatıslanmışsa, birim hacim başına, 5×10^5 Joule/Teslam^3'lük bir magnetik momenti vardır (Bu, Fe_3O_4 molekülü başına 4 Bohr magnetonuna karşı gelir; Fe^{+2}'nin magnetik momentidir; Fe^{+3} iyonlarının magnetik momentleri ise, birbirlerini tam olarak söndürür). μ toplam magnetik momenti, birim hacim başına magnetik moment ile, V hacminin çarpımına eşit olduğundan, belirli bir yönelme için gereken tam olarak mıknatıslanmış maddenin hacmini hesaplayabiliriz:

$$V > (8,3 \times 10^{-17})/(5 \times 10^5 = 1,7 \times 10^{-22} m^3$$

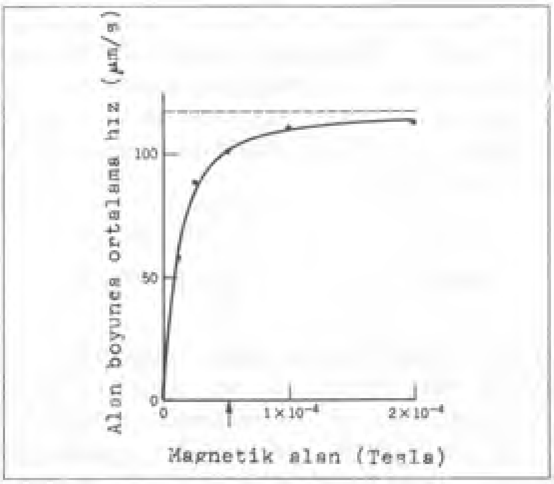
Bu alt limit, elektron mikroskobundan alınmış fotoğraftan kestirilen hacimle karşılaştırılabilir. Parçacık zincirinin, ~ 50 nanometre (nm) çaplı 20 üyesi olduğu görülmektedir. Küre olduklarını varsayarsak, toplam hacimleri,

$$20\pi(50 \times 10^{-9})^3/6 = 13 \times 10^{-22} cm^3$$

dür ya da yukarıda hesaplanan minimum hacmin yaklaşık sekiz katıdır. Bu ise, μB=kT olması durumunun sekiz katı bir magnetik moment demektir. Sonuç olarak, bakteriler, Yer'in magnetik alanında çok iyi dizilebilirler.

Bakterilerin magnetik momentini hesaplamanın bir başka yöntemi, A. J. Kalmijn'in deneyine dayanır. A. J. Kalmijn, bir mikroskopla, bir alan doğrultusunda yüzen canlı bir tek bakteriyi gözlemiştir. Zayıf alanlar için, bakteri, su moleküllerinin ısıl hareketleri ile yumruklandığından, ileri doğrultudaki ortalama hızı küçüktür. Şiddetli alanlar için ise, bakterinin hareketi alan çizgilerini sıkı sıkıya izler. Kalmijn, bakterinin, mikroskobun görüş alanı içinde sabit iki çizgi arasındaki uzaklığı ne kadar zamanda gittiğini ölçmüş; sonra magnetik alanı ters çevirmiştir. Bakteri, bir U-dönüşü yapmış ve karşıt doğrultuda gitmiştir. Yüzlerce gidiş-dönüş gözlemiş ve ortalama hızı bulmak için, gidiş-dönüş zamanlarının ortalamasını almıştır. Örnek sonuçlar, Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bu grafiğin yorumu, bakterinin her zaman 117μm/s'lik hızla yüzdüğünü gösterir; fakat ileri doğrultudaki hareket, hızın alan doğrultusuna paralel olmasının sonucudur. Zayıf alanlarda, bakteri her doğrultuda yüzebilir; yine de, alan doğrultusunda yavaş bir ilerleme vardır. Şiddetli alanlarda ise, bakteri yalnızca alana paralel olarak yüzer. Deneysel noktalar, bakterinin ilerleme doğrultusundaki hızı ve magnetik momenti olmak üzere, iki parametre ile belirlenir. Grafikteki kalın çizgi, $177\mu/s$'lik maksimum hıza bağlı olarak hesaplanmış kuramsal eğridir; ve magnetik moment, $6,2 \times 10^{-16}$ Joule/Tesla'dır. Bu magnetik moment, daha önçe verdiğimiz 5×10^5 Joule/Tesla. m^3'lük doyma mıknatıslanması için, yaklaşık $12 \times 10^{-22} m^3$'lük Fe_3O_4'e karşı gelir Bu değer, aynı bakteri için olmasa bile, elektron mikroskobu fotoğrafından hesaplanana çok yakındır. Böylece, kanıtlamanın iki yolu da, diziliş işleyişinin, basit bir pusula işleyişi ile aynı olduğu hipotezi ile uyumludur.



Şekil 2. Bir magnetotaktik bakterinin, magnetik alan doğrultusundaki ortalama yüzme hızı. Magnetik alanın periyodik ters çevrilmeleri ile, mikroskobun görüş alanında tutulan tek bir bakterinin mikroskopik gözlemleri, ortalama hızı, alanın fonksiyonu olarak vermektedir. Ok, Yer'in magnetik alanının değerini göstermektedir. Kalın çizgi kuramsaldır. Bakterinin, $177\mu m/s$'lik bir içsel hızı olmasına dayanılarak hesaplanmıştır; fakat bakterinin, su moleküllerinin ısıl hareketleri ile itilip kakılması, bu hızı, az çok alan doğrultusundan saptırmaktadır. Bakterinin magnetik momenti, grafik çözümlemesi ile, $6,2 \times 10^{-16}$ Joule/Tesla olarak bulunmuştur.

Yazının bundan sonrasında, ikinci sorunun cevabını araştıracağız.

Yer'in Magnetik Alanında Yönelmenin Sonuçları

Biyolojide, çoğu zaman, bir organizmanın özel bir duyu ile kazandığı üstünlüğe bakılır. Örneğin, yarasalar, hem sesötesi dalga yayabilir hem de algılayabilirler. Bu yeteneklerini kullanarak, hem karanlıkta uçabilir, hem de pervane türü avlarının yerini belirleyebilirler. Magnetotaktik bakterilerde de, açık bir üstünlük ortaya çıkarılabilir. Kuzey Yarıküre'de, aşağı doğru bir magnetik alan bileşeni vardır. Alan çizgisi boyunca yüzen bakteriler aşağı doğru gitmelidir. Böylece, oksijensiz yaşayabilen (anaerobik) bakterileri alıştıkları çevrelerinden ayırırsak, çamura dönecekleri biçimde yardım görürler. Bu kavramın bir sonucu, Güney Yarıküre'deki baterilerin, güneyi-gören magnetik momentleri bulunması gerektiğidir. Blakemore ve arkadaşlarının, Yeni Zelanda'ya yaptıkları bir yolculuk, tam olarak böyle olduğunu göstermiştir. Ekvatorda, her iki kutuplanma da bulunur; yalnız, bakteriler yatay çizgiler boyunca hareket etmeye sınırlandıkları için, açıklayageldiğimiz üstünlük tam açık değildir.

Her bakteri topluluğunda, binde birkaç tane kadar "yanlış" kutuplanmış bakteri bulunabilir. Araştırmacılar bir çamur ve su örneği alarak, onu, düşey bileşeni ters çevrilmiş bir alana koymuşlardır. Bakterilerin büyük çoğunluğu, yüzeye doğru, yani oksijen-zengin çevreye doğru yüzmüşlerdir. O çevrede, bakterilerin metabolizmaları ve üreme yetenekleri düşmektedir. Bu durumda, "yanlış" kutuplanmalı bakteriler, çamura doğru gittiklerinde kayırılmış olmaktadır. Sekiz haftalık bir zaman sonra ise, tüm bakterilerin kutuplanması ters dönmüştür. Bakterilerin iç magnetik parçacıklarını döndürebilecek hiçbir işleyiş bilinmemektedir. Bu durumda, büyük olasılıkla, yeni bakteri topluluğu, başlangıçtaki birkaç "yanlış" kutuplanmış bakterinin torunları olmalıdır. Böyle ise, deney, mikroevrende, çevresel değişimlere evrimsel bir uyum olduğunu göstermektedir (Yeni topluluğun, acaba gerçekten "yanlış" kutuplanmış bakterilerin soyundan gelip gelmediğini kanıtlayacak bir deney düşünebilir misiniz?).

Başka Organizmalar da Yer'in Magnetik Alanına cevap verebilir mi?

Tam, gemicilerin kendilerine kılavuz olarak pusula kullanmaları gibi, göçebe kuşlar ve bal arayan arılar da magnetik duyuyu kullanırlar. Yıllardır, birçok araştırıcı bu olanağı incelemektedir. Kuşlara mıknatıs ve yalancı mıknatıs bağlamışlar ve gerçek mıknatıs bağladıkları durumlarda değişmiş davranış görüleceğini savunmuşlardır. Güvercinlerin, yalnız magnetik alanın doğrultusunu değil, magnetik alandaki onbinde de 2'lik bir şiddet değişimini de ayırdedebildiklerini ileri sürmüşlerdir. Arıların ise, bir magnetik harita kullandıkları ve yiyecek arayan arılara, doğrultuyu, dansları ile haber verdikleri düşünülmektedir. Blakemore'un, magnetotaktik bakterilerle ilgili çözümlemesinin tersine olarak, bu son etkileri açıklayan bir işleyis bilinmemektedir. Bu canlılarda da yerel bir pusula bulunsa idi, onun, bakterilerdeki gibi, edilgen bir dönme momenti olarak davranmak yerine, bu daha yüksek organizmaların sinir sistemine bağlı olması gerekirdi. Oysa, böyle bir bağlantı bulunamamıştır; gerçekten, hiç kimse, bir kuş ya da bir arıyı, bir magnetik alanda çekilecek ya da itilecek biçimde koşullandıramamıştır. Sonuç olarak, biyofizikçilerin çoğu, kuşların ve arıların magnetik duyarlağının kanıtlandığına inanmamaktadır.

(D. Halliday and R. Resnick, **Fundamentals of Physics**, 3rd. Ed., 1988, Wiley, New York, Essay 14)

Fizik Eğitimi Üzerinde Bazı Görüşler

Rafet KAMER

Değişik ülkelerin eğitim sistemini tanıtmak, kendi eğitim sistemimizle karşılaştırmak bu sistemlerin iyi yönlerinden istifade etmek açısından son derece faydalı olabilir. Aynı zamanda ileriye dönük önlem alma, bilim ve teknoloji toplumuna ulus olarak geçmek için bu konuda ileri gitmiş ülkelerden fikir alış verişinde bulunmamız şart olmuştur. Başka bir konuyu da hemen belirtelim. Artık ülkemizin mecburi lise eğitimine geçmesi gerekmektedir ve bu konuda en büyük işveren olarak devletimize görev düşmektedir. Hala K.İ.T ve belediyelerde ilk ve orta okulu bitirenler işe alınır ise, bu da sadece eğitimin kalitesini düşürmektedir. Bu Eğitim seferberliğinin özel sektöre de yayılması gerekiyor. Yüksek verim sadece iyi ve yüksek eğitim alan elemanlarla mümkün olabilir. Bu düşüncelerin en iyi kanıtı Güney Koredeki gelişmelerdir (1970 yılından itibaren Güney Kore'de mecburi lise eğitimine geçilmiştir). Bizim iş adamlarımızın konuyu inceleyip eğitim almış elemanları işe alıp desteklemeleri en az devlet kadar etkili olur ve ülkemizdeki eğitim seviyesinin artmasında yardımcı olabilirler. TÜSİAD'ın yayınlandığı Eğitim raporunda nüfusun % 22,5'si okuma yazma bilmiyor, % 18,5'u ilkokul mezunu olmayan okur yazar, % 43,5'u ilkokul mezundur ve sadece % 15 orta, lise ve yüksek okul mezunu olduğunu vurgulamaktadır. Bu oranlar bize iki yönde gideceğimizi göstermektedir. Birinci yol okullaşma oranını artırmaktan geçmektedir. İkinci yol ise kesin bir şekilde eğitimin kalitesinin artırılmasından geçmektedir. İkinci yolda kredili sistem rasyonel bir şekilde kulanıldığında geniş imkanlar sağlayabilir.

Ülkemizde üç yıldır yeni kredili sistem uygulanmaktadır. Şimdiye kadar bırakılan izlenimler sistemin tam olarak oturmadığını ve tam olarak kulanılmadığını göstermektedir. Yazılan okul kitaplarında genelde yeni bilgi verilmektedir ve kısmen eski bilgiler içermektedir. Bilgilerin bu şekilde sunulması metodoloji literatüründe spiral metodu olarak bilinmektedir. Bir üst sınıfa geçildiğinde bir evvelki sınıfın bilgileri % 5-% 10 oranında ve genelde her ders için tekrarlanmaktadır. Burada, verdiğimiz dersler itibariyle, daha çok fen ve fizik müfredatları üzerinde tespitlerimizi ve önerilerimizi aktarmaya çalışacağız. Maalesef Fen 1 ve kısmen Fen 2 müfredatında spiral prensibi % 50'ye varan tekrarlamalar üzerinde uygulanmıştır. Başka bir noktaya da dikkatleri çekmekte fayda vardır. Fen bilgisi adı altında okutulan dersler genelde daha 6. sınıfta çoğu ülkede fizik, kimya ve biyoloji olarak ayrılmaktadır. 7. ve 8. sınıflarda Fen dersi adı altında fizik, kimya ve biyoloji bilgilerinin beraber verilmesi bazen tereddütlerle beraber kabul edilebilir. Ama 9. sınıfta Fen dersi okutulması artık tamamen yanlış ve zararlıdır. Her bilim kendi dalında inanılmaz ilerlemeler kaydetmiş ve bu bilgileri vermek için bir öğretmen 4 yıl eğitim görmüştür. Bir fizik öğretmeninden kimya veya biyoloji vermesini istemek bu saygın bilimlere bir saygısızlık olarak bile nitelendirilebilir. Aynısı kimya ve biyoloji öğretmenleri için de geçerlidir. Böyle bir anlayış sanki her insan bu mesleği icra edebilecek bilgiye ve yeteneğe sahiptir gibi bir yanlış izlenim bırakmaktadır. Lise öğretmenini ilk okul öğretmeni gibi yüklemek üç farklı bilimin yüzeysel verilmesine sebep olmaktadır. Bugün bir öğretmenin bilgisi ve yeteneği sadece mecburi müfredatla ölçülemez. Tam tersine bu müfredatın dışındaki bilgiler ve getirilen yorumlar belirleyici olmalıdır. Bu anlayış dar alanlı uzmanlar gerektiriyor. Belki Fen 1 ve Fen 2 yerine Fizik olayları, Kimya olayları ve Biyoloji olayları gibi üç farklı öğretmenden verilen dersler daha uygun olabilir. Fizik, kimya, biyoloji derslerini ilerde okumayacak öğrenciler için bu bilgiler yeterli olacaktır. Bu konularda devam edecek öğrenciler için yeterli zaman verilip matematik tabanı oluşturulup yüksek seviyede ders verilebilir. Bu özellikle fizik için geçerlidir. Fiziği öğrenmek için en büyük engeli şüphesiz matematik teşkil etmektedir. Fizik 10. sınıfın birinci döneminde verilmeye başlanıldığında öğrenciler kümeler, polinomlar, ikinci derece denklemler üzerinde bilgiye sahiptir. Aynı dönemde yeterli trigonometri bilgisine de sahip olacakları için mekanik konuları vermek kolaylaşıyor. Okuldaki fizik dersinin mantıken mekanik ile başlaması gerekmektedir. Bunun temelinde bütün hareketlerin en basit düzeyde mekanik hareket olduğu vardır. Öğrenciler ilk olarak en genel fizik terimleri, kanunları ve ilkeleriyle tanışmalıdır. Bizce dersler denge yerine mekanik hareket ile başlar ise öğrenciler fiziğe daha kolay bir giriş yapabilirler. Denge konusu daha başında trigonometri bilgisi gerektirdiği için giriş konusu olarak öğrencilere zor gelmektedir.

Fiziğin bir bütün olarak verilmesi gerekmektedir. Bu da demektir ki fizik kursunda tüm hareketler, önemli korunum kanunları, fizikteki etkileşmelerin birleşmesi, temel tanecik sayısının azaltılması ve Evrenin evrimi fikirleri yansıtılmalıdır. Maalesef fizik fikirleri, arasında uygulama ve maddenin yapısını inceleme açısından çok zengin konu olan termodinamik konusu hiç yer almamıştır. Termodinamik konusu Fizik 2 birinci bölüm altında okutulabilir. İkinci konu ise elektromagnetizma olmalıdır. Kredili sistemin uygulamaya geçişiyle böyle bir eksikliği kolayca yeni bir müfredatla giderebiliriz. Bazı konuların da yer değiştirmesinde fayda vardır. Mesela titreşimler bütünüyle okutulmak için Fizik 3 te yer alabilir. Yüklü taneciklerin elektrik ve manyetik alanlardaki hareketi konusuna en doğal olarak elektromanyetizmada yer verilmesi gerekiyor. Geometrik optik ise dalga optiğin bir limit durumu olduğu için yine Fizik 3 te yer alabilir. Fizik 3 te modern fizik konuları daha ağır basmalıdır. Özellikle izafiyet teorilerinin esasları ve fikirleri çok iyi bir şekilde verilmelidir. Yürürlükte olan kitaplarda sadece kütlenin hıza bağımlılığı ifade edilmiştir. İzafiyet teorisinin fizik açısından en zengin fikirleri ise uzay ve zaman arasındaki bağla ilgilidir. Bu da şu andaki fizik kitaplarına hiç yansımamıştır. Fiziğin çevre için ne kadar önemli olduğu, uzay ve uzayda gezegen dünya dışındaki medeniyet problemleri de fizik kursunda hiç yer almamıştır.

Başka çok önemli konu ise fizik derslerine ayrılan süredir. Kanaatimce bu süre çok yetersizdir. Fizik 1,2,3 konularının haftalık ders sayısı en az 8 saat olmalıdır. Hatta Fizik 1 konuları haftada 10 saat bile okutulabilir. Bu süre özellikle enerji ve momentum konularının iyi verilmesine ve pekiştirilmesine iyi bir fırsat olabilir. Yeni yazılacak kitaplarda sayı ve nitelik açısından daha çok ve daha iyi problemler ile bu konuda yardımcı olunabilir. Ders saati daha fazla olan fizik programları özellikle Fen ve Anadolu liseleri ile özel kolejlerde uygulanabilir. Zira bu liselerden diğer liselere göre daha büyük oranlarda mühendis ve bilim adamı yetişmektedir.

Müfredatı iyileştirmenin dışında diğer çok önemli bir konu ise fizik labarotuarlarıdır. Bu konudaki durum zaten bellidir. Bu durumu düzeltmek için süratle devlet sırf laboratuar malzemesi üreten fabrika kurmalıdır ve her okula ücretsiz olarak göndermelidir. Burada yazılanlar son yıllarda esen özelleştirme rüzgarlarına aslında hiç de ters düşmemektedir. Devletin temel ve asli görevleri eğitim, sağlık ve düzeni sağlamaktır. Memurdan ve işçilerden toplanan vergilerin oranının batı ülkelerine göre epeyce büyük olduğunu biliyoruz. Ama devletin verdiği hizmetin eğitim ve sağlık alanlarına bakıldığında çok yetersiz kaldığı görülür. Böyle bir çağırı devletin sosyal devlet anlayışına uygun davranması için de iyi bir fırsattır.

Bizim ülkemizde genelde Amerikan eğitim sisteminin müfredatı ve yazılan kitapları tanıtılmıştır. Eski Doğu bloku ülkelerindeki müfredat ise hemen hemen hiç bilinmemektedir. Aşağıda verilen müfredat Rusya'da uygulanmaktadır. Bunun çok benzeri bir müfredat Bulgaristan'da da uygulanmaktadır. İtalya'da da bunun çok benzeri müfredatın uygulandığını söylemekte fayda vardır. Verilen müfredat 10. sınıftan mezun olan öğrenciler için hazırlanmıştır. Bu da demektir ki bizim öğrenciler iki yıl daha gecikerek fizik konularıyla tanışıyorlar. Bu olgunluk bizim müfredatımıza yansıtılabilir.

6. <u>sınıf fizik müfredatı</u>-(bir yıl boyunca haftada iki saat)

1. Giriş (doğa, cisimler, madde, maddi gözlem ve deney, fizik büyüklükler ve onların ölçülmesi, fizik ve teknik)
2. Maddenin yapısı için ilk bilgiler (maddenin yapısı, moleküller, difüzyon, moleküllerin hızı ve cisimlerin sıcaklığı, moleküller arasında çekme ve itme maddenin üç hali).
3. Hareketler ve kuvvetler (mekanik hareket, düzgün ve düzgün olmayan hareketler, hız, yol, zaman, eylemsizlik, cisimler arasındaki etkileşme, kütle, özkütle, kuvvet, ağırlık ve elastik kuvvet, dinamometre, kuvvetlerin toplanması, sürtünme kuvveti, moleküller arasındaki kuvvetler, ıslanma, basınç)

4. Sıvıların ve gazların basıncı (Paskal kanunu, sıvıların serbest yüzeyi, basıncın hesaplanması, batiskaflar, atmosfer basıncı, barometre, manometre, hidrolik presler, Arşimet kanunu, cisimlerin yüzmesi, gemicilik ve havacılık)

5. İş ve güç enerji. (mekanik iş, güç, basit mekanizmalar, kaldıraç, altın kural, verim, enerji, potansiyel ve kinetik enerji, mekanik enerjilerin bir birine dönüşmesi)

7. sınıf fizik müfredatı- (bir yıl boyunca haftada iki saat)

I. Isı olayları

1. Isı iletimi ve iş (ısı hareketi, iç enerji, ısı iletimi, konveksiyon, ışıma, ısı miktarı, öz ısı kapasitesi, verilen ısı, yakılan maddenin ısısı, mekanik ve ısı olaylarında enerjinin korunumu)

2. Maddenin faz değişimi (maddenin fazları, erime ve donma, erime özısısı, buharlaşma ve yoğunlaşma, buharlaşma özısısı, kaynama)

3. Isı makinaları (gazların ve buharların genleşmesiyle yapılan iş, Dizel motoru ve verimi, buhar türbini)

II. Elektrik olayları

1. Atomun yapısı (cisimlerin sürtme ile elektriklenmesi, elektrik yükü, yüklü cisimler arasındaki etkileşme, iletkenler ve yalıtkanlar, elektrik alan, elektron ve atom modeli)

2. Elektrik akımı, gerilim ve direnç (elektrik akımı, üreteçler, elektrik akımın etkileri, metallerde ve elektrolitlerde elektrik akımı, ampermetre, gerilim, voltmetre, Ohm kanunu, özdirenç, dirençlerin seri ve paralel bağlanması)

3. Elektrik akımında ış ve güç (elektrik akımın gücü ve yaptığı iş Joule kanunu, kısa devre, sigortalar)

4. Elektromanyetik olaylar (manyetik alan ve manyetik çizgiler, düz telin ve bobinin manyetik alanları, mıknatıslar, Dünyanın manyetik alanı, telefon, elektrik motoru, elektromanyetik indüksiyon)

8. sınıf fizik müfredatı (-bir yıl boyunca haftada dört saat)

1. Hareket için genel bilgiler (öteleme hareketi, maddesel nokta, koordinat sistemleri, yer değiştirme, vektörler, vektörlerin izdüşümleri, düzgün hareket, hız, bağılhareket)

2. Doğrultu üzerinde düzgün olmayan hareketler (Düzgün olmayan hareketlerde hız, ivme, sabit ivmeli hareketlerde yer değiştirme, serbest düşme, yer çekim alan şiddeti)

3. Eğrisel hareketler (eğrisel hareketlerde hız ve yer değiştirme, merkezcil ivme, period ve frekans, dönen cisim üzerinde hareket)

4. Dinamik prensipleri (Newton prensipleri, eylemsizlik, kütle)

5. Doğada kuvvetler (elastik, gravitasyonel ve sürtünme kuvvetleri)

6. Dinamik kanunların uygulaması (ağırlık kuvvetinin etkisi altında hareket, ağırlık ve ağırlıksız ortam, uydular, birinci kozmik hız, bir kaç kuvvetin etkisi ile hareket, dönemeç üzerinde hareket, eylemsiz olmayan koordinat sistemleri)

7. Denge (denge şartları, uygulama, dengenin kararlı ve kararsız durumları)

8. Mekanikte korunum kanunlar (itme, momentum, momentumun korunumu kanunu, jet hareketi, iş, enerji, ağırlık, elastik ve sürtünme kuvvetlerinin yaptığı iş, güç, verim, enerji korunma kanunu, akışkanların borulardaki hareketi, Bernoulli kanunu)

9. 8 saat mecburi laboratuvar çalışması

9. sınıf fizik müfredatı (bir yıl boyunca haftada dört saat)

I. Isı olayları, Molekül fiziği

1. Moleküler kinetik teorinin (MKT) temelleri (MKT de temel kavramlar, moleküllerin kütlesi, Brown hareketi, moleküller arasındaki kuvvet, gaz, sıvı ve katı cisimlerin yapısı, MKT de ideal gaz, ideal gazın temel denklemi)

2. Sıcaklık, Moleküllerin ısıl hareketi (ısı dengesi, sıcaklık, mutlak sıcaklık, moleküllerin hızlarının ölçülmesi)

3. Gaz hal denklemi. Gaz kanunları (gaz hal denklemi, gaz kanunları, gazların özelliklerinin teknikte uygulaması)

4. Termodinamiğin birinci yasası (iç enerji, termodinamikte iş, ısı miktarı, termodinamiğin birinci yasasının uygulaması, doğa ve tersinir olmayan süreçler, ısı makinalarının çalışması, ısı makinalarının verimi, ısı makinaları ve çevre)

5. Buhar ve sıvı faz değişimi (doymuş buhar, doymuş buharın sıcaklığa göre değişimi, kaynama, kritik sıcaklık, havanın nem oranı)

6. Sıvıların yüzey gerilimi (yüzey gerilimi, yüzey gerilim kuvvetleri, kılcal olaylar)

7. Katı cisimler (kristal cisimler, amorf cisimler, deformasyon, Hooke kanunu, katı cisimlerin mekanik özellikleri, plastiklik ve kırılganlık)

II. Elektromanyetizma

1. Elektrostatik (elektrik yükü, cisimlerin elektriklenmesi, elektrik yükü korunum kanunu, Coulomb kanunu, elektrik alan, superpozisyon prensibi, elektrik alanında iletkenler ve dielektrikler, dielektriklerin polarizasyonu, potansiyel ve potansiyel farkı, elektrik alan ile potansiyel farkı arasındaki ilişki, kapasite, kondansatörler)

2. Sabit elektrik akımı (elektrik akım, Ohm kanunu, direncin sıcaklığa göre değişimi süper iletkenlik, elektrik devreleri, elektrik akımlarda iş ve güç, elektromotor kuvveti, Kirchoff kanunları)

3. Farklı ortamlarda elektrik akımı (maddelerin elektrik iletkenliği, metallerdeki serbest elektronlar, elektrolitlerde elektrik akımı, elektroliz kanunları, gazlarda elektrik akım, plazma, vakumda elektrik akım, iki elektrotlu lambalar, elektron tüpü, yarı iletkenlerde elektrik akımı, diod ve transistörler, termistor ve fotorezistörler)

4. Manyetik alan (elektrik akımlar arasındaki etkileşme, manyetik alan, manyetik alan indüksiyon vektörü, manyetik akı, Ampere yasası, Lorenz kuvveti, maddenin manyetik özellikleri)

5. Elektromanyetik indüksiyon (elektromanyetik indüksiyon, Lenz yasası, rotasyonel elektrik alan, özindüksiyon ve indüktans katsayısı, manyetik alanın enerjisi)

6. 8 saat mecburi laboratuvar çalışması

10. <u>sınıf fizik ve astronomi müfradatı</u>
(-bir yıl boyunca haftada 5 saat)

I. Titreşim ve dalgalar

1. Mekanik tireşimler (serbest titreşimler, basit, yaylı ve fiziksel sarkaçlar, titreşimlerin dinamik ve enerjik incelenmesi, zorlanmış titreşimler, rezonans)

2. Elektrik titreşimler alternatif serbest ve zorlanmış titreşimler, LC devreleri ve denklemleri, akım, empedans, kondansator ve indültans için alternatif devre, alternatif akım devrelerinde rezonans, ototitreşimler)

3. Elektrik enerjisinin üretimi, aktarımı ve kullanımı (jeneratörler, transformatörler, elektrik akımının üretilmesi ve nakledilmesi)

4. Mekanik dalgalar. Ses (dalga olayları, mekanik dalgaların yayılması, dalgaların özellikleri, farklı ortamlarda mekanik dalgalar, ses dalgaları, müzikal sesler ve ses gürültüsü, dalgaların girişimi. Huygens prensibi, dalgaların yansıması ve kırılması, dalgaların kırınımı)

5. Elektromanyetik dalgalar (elektromanyetik alan, elektromanyetik dalgaların özellikleri, radyo ve radyo bağlantıları, modülasyon, demodülasyon ve radyolokasyon, televizyon için ön bilgiler)

II Optik

1. Geometrik optik (yansıma, kırılma, iç yansıma, mercekler, fotoğraf makinası, mikroskop, projeksiyon makinası, göz, gözlük)

2. Işık dalgaları (ışık hızı, dispersion, ışıkta girişim ve kırınım, kırınım ağı, ışığın polarizasyonu, ışığın elektromanyetik teorisi)

3. İzafiyet teorisi temelleri (elektromanyetik ve izafiyet prensibi, izafiyet teorisi ilkeleri, izafiyet teoriden çıkan sonuçlar, kütlenin hıza göre değişimi, relativistik enerji)
4. Işıma ve spektrum (ışıma kaynakları, spektrum çizgileri ve spektrum makinaları, spektral analiz, kızıl ötesi, mor ötesi ve X ışınları)

III. Kuantum fiziği

1. Işık kuantumları. Işığın etkileri (fotoelektrik olayı ve teorisi, fotonlar, fotoelektrik olayın uygulaması, ışığın basıncı ve kimyasal etkisi)
2. Atom fiziği (atomun yapısı, Rutherford modeli, Bohr presipleri ve bor atom modeli, Bohr modelin eksikleri, kuantum mekaniği, laserler)
3. Çekirdek fiziği (α, β, γ ışınları, radyoaktiv bozulma ve radyoaktiv bozulma kanunu, atom çekirdeğin yapısı, bağlanma enerjisi, çekirdek reaksionları, uranyum çekirdekleri bölünmesi, zinccirleme reaksiyonu, nuklear reaktörü, füzyon reaksiyonları, nüklear enerjisinin kullanılması, radyasyonun biyolojik etkisi)
4. Elementer tanecikler (pozitronun keşfi, antitanecikler, nötronun bozulması, kuark ve kuarklar arasında etkileşme, glüonlar, taneciklerin zenginliği)
5. 6 saat mecburi laboratuar çalışması

IV Astronomi

1. Giriş (astronomik gözlem, teleskoplar, yıldız kümeleri, parlaklık ve renk, yıldızların görsel hareketi, yıldız kartlar ve koordinatlar, zanam, takvim)
2. Güneş sistemin yapısı (Kepler kanunları, gezegenlerin dizilişi, gezegenlerin hareketindeki perturbasyonlar, gelgit olayları, gezegenlere ve Güneşe kadar mesafelerin ve onların kütlelerin bulunması, gezegen Dünyanın özellikleri)
3. Güneş sistemindeki cisimlerin fiziki yapısı (araştırma metotları, gezegen Dünya grubundan gezegenler, dev gezegenler, gezegenlerin uyduları, Ay, asteroidler, komet ve meteorlar)
4. Güneş ve yıldızlar (Güneşin enerjisi ve yapısı, yıldızların sıcaklığı, parlaklığı ve spektrumlar, çift yıldızlar, değişken ve yeni yıldızlar, yıldızların istatiksel özellikleri)
5. Evrenin yapısı ve evrimi (Samanyolu galaksisi, yıldızlar arası materisi, uzayda manyetik alan ve kozmik ışınlar, galaksilerdeki yıldızların hareketi, yıldız sistemleri, Evren ve kosmoloji, gezegen sistemlerinin oluşumu, gezegen Dünya dışı medeniyet problemi)