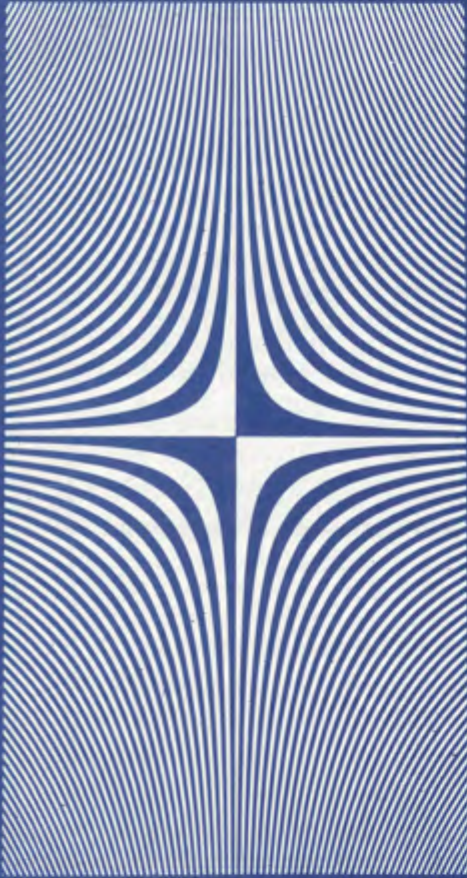


# Fizik

## Dergisi



DÜŞÜK BOYUTLU  
YARI-İLETKENLER DEVRİMİ (I)

*Mehmet TOMAK*

NEWTON SENTEZİNİN FELSEFİ  
SONUÇLARI

*Burhan Cahit ÜNAL*

FEYNMAN BREZİLYA'DA

*Ayla ÇELİKEL*

HOLOGRAFI

*Hanash GÜR*

NÜKLEER PROSESLERİN  
MATEMATİKSEL TASVİRİ

*Amirulah MAMEDOV - Süleyman GÜNGÖR*

PULSARLAR

*Rafet KAMER*

SÜPERİLETKENLER

*Tekin DERELİ*



**TÜRK FİZİK VAKFI**

**MART 1995**

**SAYI : 7**

## İÇİNDEKİLER

- **DÜŞÜK BOYUTLU  
YARI-İLETKENLER DEVRİMİ (I)**  
*Mehmet TOMAK*

- **NEWTON SENTEZİNİN FELSEFİ  
SONUÇLARI**  
*Burhan Cahit ÜNAL*

- **FEYNMAN BREZİLYA'DA**  
*Ayla ÇELİKEL*

- **HOLOGRAFI**  
*Hanaslı GÜR*

- **NÜKLEER PROSELERİN  
MATEMATİKSEL TASVİRİ**  
*Amirulah MAMEDOV - Süleyman GÜNGÖR*

- **PULSARLAR**  
*Rafet KAMER*

- **SÜPERİLETKENLER**  
*Tekin DERELİ*

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.

**FİZİK DERGİSİ**  
sahibi  
Türk Fizik Vakfı Adına  
Yönetim Kurulu Başkanı  
Rauf NASUHOĞLU

**Yayın Kurulu**  
Rauf NASUHOĞLU  
Zekeriya AYDIN  
Nuran ÖZALP  
Dinçer ÜLKÜ  
Mehmet TOMAK  
Meral SERDAROĞLU  
Tekin DERELİ

**Editor**  
Tekin DERELİ

Fizik Dergisi, Türk Fizik Vakfı tarafından üç ayda bir yayınlanır. Bu dergideki yazılar yazarlarının sorumluluğunda olup, Türk Fizik Vakfı Yönetim Kurulunu ve üyelerini bağlamaz. Yayımlanan 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: 2101000/6350  
**ODTÜ Matematik Bölümü**  
**06531 ANKARA**



## FİZİK DERGİSİ'NDEN

20. yüzyıl sona ererken artık günlük hayatımızın her anında mikroelektronik teknolojisinin ürünü cihazlarla iç içe yaşar olduk. Yarı-iletkenler fiziğinin anlaşılmasıyla olanak kazanan bu değişim çok kez bilim ve teknolojiye Yarı-iletken devrimi adıyla anılır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden **Prof. Dr. Mehmet Tomak** "Düşük Boyutlu Yarı-iletkenler Devrimi" başlıklı bir dizi yazı ile bu çok önemli konudaki yeni gelişmeleri tanıtacak. Dizinin ilki olan "Büyütme Teknolojisi ve Bazı Cihazlar" yazısını bu sayıda okuyacaksınız.

Daha önceki yazıları ilgiyle izlenen **Prof. Dr. Burhan Cahit Ünal** "Newton Sentezinin Felsefi Sonuçları" başlıklı yazısında Avrupa'nın 18. yüzyılda yaşadığı aydınlanma dönemini ele alıyor ve Türkiye biliminde ve felsefede aydınlandı mı? diye soruyor.

Aydınlanmış batının dışarı bakan farklı yüzleri var. Batının sevimli yüzünü temsil eden en önemli isimlerden birisi ünlü fizikçi Richard Feynman. Feynman 1950'lerde Brezilya'ya giderek bir yıl orada yaşamış. Üniversitede ders vermiş, Portekizce öğrenmiş, konferanslar düzenlemiş. Brezilya insanıyla o denli kaynaşmış ki ünlü Rio karnavalında yerel bir grupla beraber geçit törenine bile katılmış. Brezilya'daki fizik eğitimi üzerine ilginç gözlemlerini içeren anılarından bizlere çıkaracak önemli dersler var. "Feynman Brezilya'da" yazısını aktaran Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi **Doç. Dr. Ayla Çelikel**.

Laserlerin bulunmasıyla üç boyutlu resim çekmek düş olmaktan çıkıp gerçek oldu. Bir nesneyi üç boyutuyla kayda geçiren bu tür resimlere hologram, bunların çekilmesi sürecine ise holografi deniyor. Konuyu tanıtan "Holografi" yazısını aktaran, yine Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden **Y. Doç. Dr. Hanaslı Gür**.

Fizik derslerinde basit matematik yöntemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Öğrencilerin temel matematik bilgilere hakim olması onların fiziği daha iyi anlamalarına yardım eder. Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden **Dr. Amirullah Mamedov** ve **Doç. Dr. Süleyman Güngör** "Nükleer Proseslerin Matematiksel Tasviri" başlıklı yazılarında çekirdek bölünmesinin, belli derslerde de kullanılabilir, basit bir matematik tarifini vermekteler.

İstanbul Avcılar Lisesi Fizik öğretmeni **Rafet Kamer**'in yadığı Pulsarlar yazısı, bu ilginç gök cisimlerini tanıtıyor. Yazının arkasında da (bir kısmı Fizik Olimpiyatları hazırlıklarında sorulmuş) pulsarlar üzerine lise düzeyinde hazırlanmış problemler bulacaksınız. Liselerde sorulan fizik problemlerinin güncelleştirilmesi yönünde bir gayretin ürünü olan bu problemlerin ilgi uyandırmasını bekleriz.

Bu sayıda son olarak ODTÜ Matematik bölümü öğretim üyelerinden **Prof. Dr. Tekin Dereli**'nin hazırladığı Süperiletkenler başlıklı yazı var. İlgini çekeceğini umduğumuz bu yazı, süperiletkenliği açıklamasının yanı sıra, keşfinden bugüne kadar olan gelişmeleri de içeriyor.

# Düşük Boyutlu Yarı-iletkenler Devrimi (I): Büyütme Teknolojisi Ve Bazı Cihazlar

Mehmet TOMAK

Yarı-iletken cihazlar, Bardeen ve Brattain'in transistörü 1947 yılında keşfinden bu yana inanılmaz şekilde gelişti. Bu keşfi takip eden 20 yıl "yarı-iletkenlerin altın çağı" olarak değişik kullanım alanlarına sahip cihaz yapımında önemli buluşlara sahne oldu. 1970'li yıllarda ise entegre devre devrimi gerçekleştirildi. Yarı-iletken bellekler bize video ve güçlü bilgisayarları getirdi. Günümüz cihazları mikron altı boyutlarda küçülmüş ve bir santimetre karelik yongalar üzerine milyonlarca eleman yerleştirilmeye olanak tanımıştır. Bunlara paralel olarak, 1960'larda geliştirilen buhar fazı epitaksi (Yunanca: üst üste büyütme) yönteminden iki yeni kristal büyütme teknolojisi yaratıldı.

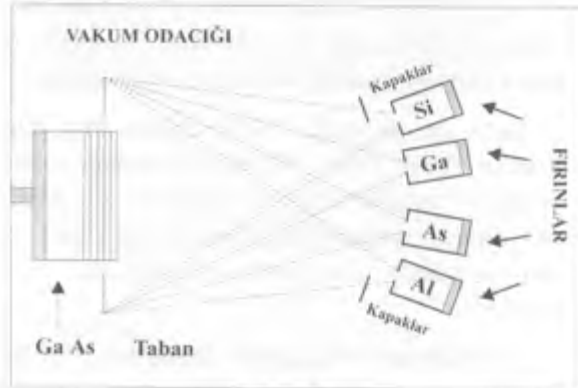
Moleküler Demet Epitaksi (MBE) ve Metal Organik Kimyasal Buhar Depolama (MOCVD) yöntemleri ile boyutları  $10^{-6}$  cm'den daha küçük, örgü aralıkları taban kristal örgü aralığına uymuş tek heteroyapı ve süperörgüler büyütme olanağına kavuştu. Bu yazıda, MBE yöntemiyle elde edilen iki boyutlu yarı-iletken yapılar üzerinde durulacaktır. Takibeden yazılar ise bir ve sıfır boyutlu yapılar üzerine olacaktır.

Bu alanda ağırlık, elektronik endüstrisinin temel maddesi olan silisyümda değil III-V diye bilinen yarı-iletkenlerdir. Bunlar periyodik tablonun III. Grubundan galyum (Ga), alüminyum (Al), indiyum (In) elementleriyle V. Grubundan arsenik (As), antil (Sb) ve Fosfor (P) elementlerinden oluşan bileşik yarı-iletkenlerdir.

III-V yarı-iletkenlerin önemli bir grubunu, ince galyum-arsenit ( $Al_xGa_{1-x}As$ ) tabakaları şeklinde büyütülmüş cihazlar oluşturmaktadır. Tabaka kalınlıkları mikronun binde biri kadar küçük olabilmektedir.

Moleküler demet epitaksi yöntemi böylesine ince yapılar elde etmek için en uygun kristal büyütme yöntemidir. MBE uygulamasında, kristalin büyütül-

mesi için gerekli elementlerin ayrı ayrı atom demetleri, yüksek-vakum-altında, önceden ısıtılmış bir taban kristale çarptırılmaktadır. Atom demetlerini oluşturmak için, gerekli element taban kristale bakan tarafında ufacık bir delik bulunan püskürtme fırınında ısıtılır. GaAs epitaksiyel atom katmanlarını büyütme için, birinde sıvı galyum metali diğerinde katı arsenik bulunan iki püskürtme fırınına gereksinim vardır.



Şekil 1

Isıtıldığında, sıvı Ga yüzeyindeki atomlar buharlaşır ve fırının deliğinden dışarı çıkar. Bu atomlar GaAs tabanına varıncaya kadar düz bir çizgide hareket ederler. Çarptıkları zaman Ga atomları taban GaAs kristalinin yüzeyine yapışırlar. Tabana çarpınca atomlarına ayrılan As molekülü ise Ga atomu olmadıkça yüzeye yapışmaz. Her Ga atomu bir As atomuyla, GaAs katmanı oluşturacak şekilde birleşir. Üstte büyüyen katman taban kristalinin tıpa tıpa aynı olacak şekilde büyür. Yabancı atomlar kristal katmanlarına ek püskürtme fırınlarından katılırlar.

Fırın deliklerini istenildiğinde kapatan kapayıcılar bulunmaktadır. Bunlar tabanın hangi atom demetine ne kadar açık kalacağını yani büyütülen katmanların kalınlıklarını kontrol ederler. Fırın sıcaklığı ise buharlaşma hızı ve atom demetinin yoğunluğunu kontrol etmektedir. Bunlar da katmanların büyüme hızını belirler.

MBE sırasında büyüyen katmanın yüzeyi çok güzel bir şekilde düzlenmektedir. Bunun nedeni Ga ve As atomlarının yüzeydeki atom büyüklüğündeki tepeciklere öncelikle yapışmalarıdır. Bu düzleşme, ayarlanabilen kalınlıklarda katmanların büyütülmesinde son derece önemlidir.

Büyütülen atom katmanlarını istenilen bölgelerde ve arzu edilen yoğunluklarda yabancı atomlarla katkılayarak çeşitli cihazlar yapılmaktadır. III-V yarı-iletkenleri için en çok kullanılan katkı elementleri Si, Ge, Sn ve Be gibi atomlardır. Örneğin, Si bir Ga atomunun yerini aldığı anda verici (donor) özelliği kazanmakta ve ortama bir ekstra elektron vermektedir. Bu elektronlar serbest duruma geçerek bir elektrik akımına neden olabilmektedir. MBE yöntemi sayesinde, püskürtme fırınlarının önündeki kapakları, çok hassas bir şekilde açıp kapayarak istenilen katkı profilini elde etmek kolaylaşmaktadır.

Bu işlem öylesine hassaslaştırılmıştır ki artık ulaşılabilecek son limit olan tek yabancı atom katmanı gerçekleştirilebilmektedir. Böyle katkılamaya  $\delta$  - katkılama adı verilmektedir. Bu çeşit bir olanak, araştırmacılara özel cihazlar için gerekli her çeşit katkılama profilini gerçekleştirme gücünü vermektedir. Böylesine kontrollü katkılama ile hazırlanan GaAs katmanları aşağıda örnekleri sunulan cihazlar yapımında başarıyla kullanılmıştır:

-Katman kalınlığı ile üstel olarak değişen profile sahip varaktör diyodlar,

-Modülasyon katkılı, düşük gürültü ve yüksek güçlü alan-etkili transistörler,

-Radyo-astronomide kullanılan ve çok katkılanmış bölgesi ile az katkılı bölgesi birbirinden keskin bir şekilde ayrılan çok az gürültülü mikrodalga karıştırıcı diyodlar,

-Küçük lazerler.

Böyle üstüste atom tabakaları büyütülmesi istenilen kalınlıklarda sürdürülebilir. Tek heteroeklem, tek kuantum kuyusu ya da "süperörgü" adı verilen çoklu kuantum kuyuları elde edilebilir. Çoklu kuantum kuyularında katmanların kalınlığı teklilerden daha fazladır ve birkaç binden birkaç yüz mikrona kadar değişir.

Her GaAs katmanı elektron ve deşikleri içinde tutan bir kuantum kuyusudur. Bunun ana nedeni Al,

Ga<sub>1-x</sub>As alaşımının yasak enerji aralığının GaAs'inkinden daha fazla olmasıdır. Bu, aynı zamanda, elektronun kristalin büyüme yönünde serbestçe hareket edebileceğini ve enerjinin bu nedenle kuantalaşması gerekliliğini göstermektedir. Kuantum mekaniği kitaplarında örnek olarak çözülen kuantum kuyusu böylece fiziksel olarak MBE ile büyütülmüş olmaktadır. Kuantum kuyusu problemlerinden de bilindiği gibi böyle bir kuyu içine konan elektronun enerji düzeyleri kuyunun genişliği ve derinliğine bağlıdır.

Eğer süperörgüde GaAs tabakalarını birbirinden ayıran Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As tabakaları yeteri kadar kalınsa, potansiyel kuyularındaki elektrik yük taşıyıcıları diğer kuyulardakilerden izole edilmiş olurlar ve birbirleriyle etkileşmezler. Eğer Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As tabakaları birkaç yüz mikrondan daha inceyse, elektron ve deşiklerin bu potansiyel engellerinden tünellemesi olasıdır. Böylesi bir tünelleme çok hızlı osilatör yapımı için idealdir. Bu yapılarla ulaşılabilecek sinyaller terahertz (saniyede 10<sup>12</sup> titreşim ) dolayındadır. Bu tür cihazların yapımı için çalışmalar bütün hızıyla sürmektedir.

Alüminyum ve galyum demetlerini ayarlayarak alüminyum miktarı kademeli şekilde değişen katmanlar elde edilebilir. Bu tip yapılar, optik modülatör, anahtarlar, dalga yönlendiriciler, lazer ve basit entegre optik cihazlar yapımında kullanılmaktadır.

Bunlardan, ayrı zamanda, yeni "düzleyiciler" de yapılabilmektedir. Düzleyiciler, bilindiği gibi, elektrik akımının ancak bir yönde akmasını sağlayan cihazlardır. Yukarıda anlatılan büyüme yöntemiyle yapılan yeni düzenleyiciler, eskiler gibi bir metal tabakasına gereksinim göstermezler ve "tek-kutuplu" cihazlardır. Yani, elektron ve deşikler yerine, örneğin sadece elektronlarla çalışırlar.

Yeni düzleyiciler, GaAs tabakaları arasında büyütülmüş Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As katmanından oluşur. Bu yapıyı oluşturmak için, GaAs kristali MBE ile büyütülürken yaklaşık 0.05 mikronluk bir bölgeye yoğunluğu değişen bir şekilde Al eklemek yetmektedir (Şekil. A). Daha sonra Al eklenmesi aniden kesilir. Al yoğunluğu önce çizgisel bir artış sonra da ani bir düşme gösterir (Şekil. B). Bu Profil, aynı zamanda elektronların hareketini engelleyecek bir potansiyel engel profiline eşdeğerdir (Şekil. C). Teste-

## TOMAK

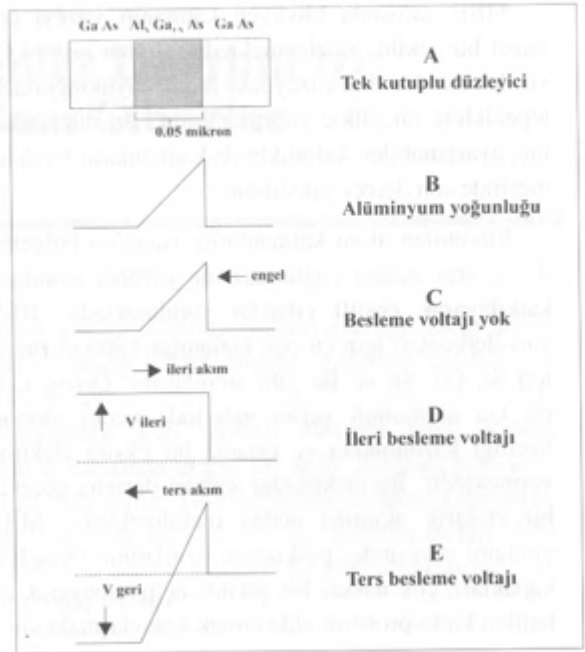
re dişi şeklinde engel profiline sahip alüminyum cihazdan akım geçişini engeller.

Bu yapıya ileri besleme uygulanması, sol tarafta bulunan elektronların enerjilerini sağ taraftakilere göre artırır. Daha yüksek enerjili elektronlar katmanın diğer tarafındaki az enerji bölgesine doğru hareket ederler (Şekil. D). Katman artık elektronları engellemez ve cihazdan akım geçer.

Ters besleme ise, sol tarafta bulunan elektronların enerjilerini sağ tarafta bulunanlardan daha az yapar (Şekil. E). Sağ taraftaki elektronlar, oluşan dik engel yüzünden, daha az enerji bölgesine geçemezler.

Tek katmanlı bu tip bir düzeyici 1 volttan daha düşük voltajlarda çalıştırılır. Daha fazlası ise engelin genişlemesi ve bozulmasına yol açar. Birden fazla katmanı olan düzeyiciler ise çok daha büyük voltajlarda çalışabilir.

Bundan sonraki yazımızda süperörgüler, kuantum telleri ve noktaları üzerinde duracağız.



Şekil 2

# Newton Sentezinin Felsefi Sonuçları

Burhan Cahit ÜNAL

Newton, Francis Bacon'ın ve Galilei'nin kurdukları bilimsel yöntemin ve deneysel felsefenin parlak bir kuramcısı oldu. Bu görüşe göre, tüm olayların nedenleri olabilirdiğince basit ilkelere indirgenir; deneyle kanıtlanmayan hiçbir şey ilke olarak ele alınmaz. Çözümleme (analyse) yöntemiyle, doğanın kuvvetleri ve en basit doğa yasaları çıkarılır ve bu basit yasalardan da birleşim (synthese) yöntemiyle geri kalanların yapısı anlaşılır. Newton kütle çekim yasasından çıkarak Evren'i açıkladı.

Newton'dan önce, doğa bilimiyle felsefe arasında bir ayırım çizgisi çekilmesi söz konusuydu. Newton'la, doğa bilimi felsefenin temeline yerleşen bir nitelik kazandı. Huygens ve Leibniz, Newton'un kütle çekim yasasının, kütle çekiminin en son nedenlerini söylemediği için, tümüyle felsefeye aykırı olduğunu ileri sürüyorlardı. Oysa Newton, bilimsel ve deneysel yöntemine sadık kalarak, Principia'da şöyle yazıyordu: "Buraya kadar, göklerin ve denizin olaylarını kütle çekimi kuvvetiyle açıkladım, fakat kütle çekimine bir neden bulamadım. Herhalde bu kuvvet, özelliği değişmeksizin Güneş'in ve gezegenlerin merkezine kadar giren bir nedenden kaynaklanıyor. Ve bir kuvvet, etkilediği parçacıkların yüzeyleriyle orantılı olmaksızın...fakat madde miktarıyla orantılı olarak etkisini uyguluyor...Kütle çekiminin bu özelliklerinin nedenine gelince, onu henüz olaylardan çıkaramadım ve bu konuda bir hipotez ileri sürmüyorum. Gerçekten, olaylardan çıkarılmayan herşeye hipotez denilmeli ve gizli ya da mekanik niteliklerle ilgili olan, ister fiziksel, ister metafiziksel hipotezlerin denel felsefede yeri yoktur. Bu felsefede, öneriler olaylardan çıkarılırlar ve tümaevarımla genelleştirilirler. Cisimlerin katılığı, hareketliliği gibi özellikleriyle kütle çekim ve hareket yasaları işte böyle bulundular. Yeter ki kütle çekimi gerçekten var olsun ve açıkladığımız yasalara uygun biçimde etkisini uygulasm ve gök cisimlerinin ve denizimizin tüm hareketlerini açıklamaya yet-

sin. "Newton'un Tanrı'nın varlığına inanan bir kişi olmasına ve yazılarında ilk itici ve ilk neden olarak Tanrı'yı göstermesine karşılık, eseri özellikle İngiltere'de ilahiyatçıların ve Kilise'nin kınama ve taşlamalarından kurtulamadı. Fakat, Newton'un düşünceleri Fransa'ya ve Almanya'ya 18. yy'da geçişinde mekanist bir felsefenin temelini oluşturdu.

Bilim tarihi yazarları Newton'la 17. yy'da başlayıp 18. yy sonuna kadar süren çağa Newton çağı derler. Ba çağda, deney ve tümevarım yöntemi ilkelere çok sağlam biçimde kurulması insan düşüncesine yeni ufukların açılacağı gösteriyordu. Felsefede de Locke, Hume ve öteki İngiliz felsefe okullarıyla soyut düşüncelerin bile kökenlerini bulmak ve bunların benimsenmeye değer olup olmadıklarını saptamak alanında gene deneye önemli bir yer veriliyordu. Bu nedenle, İngiltere'de başlayan ve Descartes, Spinoza ve Leibniz felsefelerinden ayrılan bu felsefeye İngiliz deneyci felsefesi adı verilir. Bu felsefe 17. yy'da John Locke (1632-1704) ile başlarsa da, filozofun en önemli yapıtının 1690'da yayınlanması ve 18. yy'lı etkilemesi nedeniyle 18. yy felsefesine katılır.

Locke deneyci felsefenin temelini, dogmatik akılcılığı sorgulayarak kurar. Aklın herşeyi düşünüp, çözümleyip çözümleyemeyeceğini sorarak bilgi teorisini yeniden ele alır. Tasarımların (fikirlerin) incelenmesine ve doğuştan var olan tasarımların çürütülmesine geçer. Bütün tasarımların duyularımız aracılığıyla sınamalardan meydana geldiğini, oysa iskolastik felsefenin salt kelime ve dil oyunundan ibaret olduğuna değinir. Sonunda, bilginin incelenmesine ve sınırlarının belirtilmesine girer. Basın özgürlüğünü, serbest düşünce ve hoşgörülüğünü, dinle politikanın ayrılmasını savunur. Düşüncelerinden ötürü Hollanda'ya sığınmak zorunda kalır.

Locke kendisinden sonra İngiltere'de yetişen ve serbest düşünceliler yada yaradancılar (deistes) adlarıyla anılan filozoflar üzerinde büyük etki yapmış,



sonra da Voltaire (1694-1778)'in İngiltere gezisi üzerine yazdığı mektuplarla 18. yy Fransa'sında düşünce hareketlerini etkilemiştir.

David Hume (1711-1776) deneyci felsefeyi derinleştiren, İngiltere'de ve Kant aracılığıyla Almanya'da çağının düşünce hareketlerini etkileyen bir filozoftur. Töz ve neden kavramlarına sıkı bir inceleme ve eleştirme uygulayan ilk filozoftur. bu iki kavramın hem kuramsal felsefe sistemlerinin, hem de bilimsel sistemlerin temelini oluşturduğu düşünürdürse, bu noktada Hume'un bilimle ilişki kurduğu anlaşılır. Hume, nedente sonuç arasındaki ilişkinin bilinmesine, hiç bir zaman akılla erişilemeyeceğini ileri sürer. Hume'a göre, bu bilgi ancak deneme sonucu meydana gelir.

Hume'un izinden gidenler arasında bilimle ilgilenen iki büyük filozof ve bilgin David Hartley (1705-1757) ile Joseph Priestley (1733-1804) hem Fransa'da hem de Almanya'da felsefe ve biçim hareketlerini etkilerler. Hartley'e göre düşünce ve duyular beyin atomlarının titreşimlerinden başka birşey değildir. Bu düşüncesinin sonuçlarına kadar giderek, maddesel bir cisim olan beynin, tıpkı maddesel doğa gibi, yasalara bağlı olduğunu söyler. Böylece, düşünce bir dış nedenle hareket eden maddesel bir mekanizma sonucu oluşur. Doğal yasalara bağlı olan böyle bir titreşim hareketi determinist (gerekirici) bir görüşle Hartley psikolojisine girer. Kaynağını Francis Bacon'dan alan ve Locke, Hume ve izleyicilerinin kurdukları İngiliz deneyci felsefesi ve serbest düşünce akımları en çok Fransa üzerinde etkili oldular. Çünkü, Fransa 1789 Devrimine hazırlanıyordu. Fransız düşünürleri Descartes'tan miras aldıkları akılcılığı soyut bir biçimde bırakamazlardı, çünkü böyle bir felsefeyle devrim yapılamazdı. Fransız toplumunu devrime hazırlamak amacıyla aydınlanma felsefesini kurdular.

Bu felsefe, kökleri Newton'a kadar uzanan yaradancılık (deiste) düşünce sistemi idi. Bu sistem çağın bilimiyle dinini uzlaştırmaya çalışıyordu. Akıl, deneyle anlayıp bilemediğimiz şeylere inandırmayı kabul etmiyor; buna karşılık, Tanrı'nın varlığı ve ruhun ölümsüzlüğü gibi dinin en önemli iki elemanına da felsefelerle ulaşmak mümkün oluyordu. Yaradancılık sistemi kendisini bilimden ayrı tutmıyor, tüm dinsel gerçekleri tıpkı fiziksel gerçekler gibi ele alıyordu. Bu sisteme göre, ilk ne-

denin doğanın mekanik yasalarıyla çalışmaması gerekiyordu. Mucize ve Rabbanî inayet gibi dinin haber verdiği dogmatik düşünceleri kabul etmeye olanak yoktur. O halde, bu tür bir akılcılıktan doğan yaradancılıkta, dinin kendi köklü elemanlarından ve ayırıcı niteliklerinden sıyırılması gerekiyordu.

Fransa'da, sonunda ansiklopedicilerin maddeciliğine ulaşan İngiliz yaradancılığının yerleşip gelişmesi, yukarıda da belirttiğimiz gibi, toplumu bekleyen problemlerini çözmek için, bir ulusun, ya da bir sınıfın çağdaş bilimi ve felsefeyi huzur ülkesine taşımasına güzel bir örnek oluşturuyor. Voltaire (1694-1778) den başlayarak, Fransız bilgin ve filozofları bir yandan Londra'da Royal Society'nin oturumlarını izlerler, öte yandan Locke'nin yapıtlarını öğrenirler. 18. yy başında Fransa'da kurulan dergilerin adları anlamlıdır: İngiliz Kitaplığı (1717), Büyük Britanya Yazın Anıları ve Britanya Kitaplığı (1720). 1730 da İngiltere, hem siyasal, hem de dünsünel özgürlüğün vatanı olduğu için, Fransızların örnek alacakları bir ülke olmuştur. Voltaire'nin çok saydığı Newton'u ve düşüncelerini aynen benimseyerek yalın üslubuyla Fransızlara tanıtması sonucu, Newton yavaş yavaş Descartes'in yerini alıyordu Maupertius, Lagrange, d'Alembert ve Laplace gibi Fransız matematikçileri ise Newton'un hareket denklemlerini çeşitli biçimlerde yazarak kuramın kullanımını kolaylaştırıyorlardı.

Fransız ansiklopedicileri Diderot (1713-1784) nun etrafında toplandılar. Bu "filozoflar"ın felsefesi temel olarak Locke'nin duyulara dayanan deneyci sistemine ve doğa bilimine dayanır. Onlar için gerçek doğa özdeksel doğadır. Bu felsefe, deneycilik ve tümevarım yolundan maddeciliğe yönelir. Matematikçi d'Alembert ve Lagrange, filozof d'Holbach, Helvetius ve Voltaire ve Rousseau gibi düşünürler Ansiklopedinin çıkmasına katkıda bulunurlar. Denilebilir ki, Ansiklopedi 18. yy'da yalnız Fransa'yı değil, dünya kamuoyunu yaygın biçimde etkiler. Bu etkinlikler Fransa Kralından destek görmez. Ansiklopedinin yayımı birkaç kez yasaklanır. Oysa, aynı zamanda bilgin, filozof ve özgür düşünceli bir kişi olan Prusya Kralı Büyük Friedrich, Voltaire, Helvetius, de la Mettrie, Maupertius ve Euler gibi filozof ve bilginleri sarayında konuk eder. Böylece, Fransız düşüncesinin Almanya'ya geçmesini kolaylaştırır.



Alman düşüncesini 18. yy başlarında etkileyen filozof Leibniz (1646-1716) dir; etkisi Kant (1724-1801)'a kadar sürer. Leibniz, Newton'un çağdaşdır. diferansiyel ve integral hesabı ondan bağımsız olarak bulmuştur. Leibniz maddesel atomların yerine, monad adını verdiği bir felsefe kurar ve maddeciliğe karşı çıkar. Bu tutumu o günkü durağan Alman toplumunun düşüncesine uygun düşer. Ne İngiltere'deki canlı bilimsel tartışmalar, ne de Fransa'daki hummalı devrim hazırlıkları 18. yy Almanya'sında yoktur. Din ve bilim ilişkilerini bir yana bırakarak, bilimsel araştırmalara girişmek Almanya'da henüz olanaklı değildir. Bilginler ve filozoflar çoğu zaman dinsel dogmalara bağlıdır. De la Metrie'nin l'Homme Machine adlı yapıtı büyük hücumu uğrar, fakat Shaftsbury ve Russeau'nun duygu ve hayale yer veren yapıtları Alman düşüncesini etkiler. Aklın yanında bir de duygu yer alıyordu. Pietisme mezhebi de duygu felsefesinin tutulmasına yardımcı oldu. Fakat bütün bunlar Locke'nin felsefesinin etkileri yanında sönük kaldı.

Almanya'da aydınlanma felsefesini Lessing (1729-1781) ile başlatırlar. Yaradancılığın temsilcisi olur. Hobbes ve Newton'un önemli etkileri görülmez. Sanatta, eski yunan sanatına dönüşle romantizm ve felsefede Spinoza'ya yönelinir.

Akla sınırları çizmeyi öneren, duygu ve hayale yer veren, yaradancılıkla duraksayan bir düşün örgüsü, 18. yy Almanya'sının yanındaki Fransa'nın aksine, bir devrim hazırlığı içinde bulunmadığının kanıtıdır. İşte, böyle durağan bir toplumda Kant düşüncede bir devrim gerçekleştirir. Heine bu devrimi şöyle anlatır: "1781 yılında, Lessing Braunschweig'da ölmüştü. Aynı yıl, Kant'ın Salt Aklın Eleştirisi adlı beş yapıtı yayımlandı. Anlaşılmaz bir gecikmeyle ancak 1790 yılına doğru ün kazanan bu kitapla, Almanya'da, tıpkı Fransa'daki devrim gibi, fakat tinsel ve zihinsel bir devrim başlamış oluyordu...Rhein ırmağının iki yakasında, geçmişle bir ayrılık, geleceğe karşı bir saygısızlık ve başkaldırma başlamıştı. Nasıl Fransa'da her türlü sınıf ayrıcalığı, haklı olduğunu tanıtmak zorunda bırakıldıysa, Almanya'da da her düşünce kendinin doğru olduğunu tanıtmaya davet edilmiş gibiydi. Nasıl Fransa'da eski sosyal yapının kilit taşı olan krallık yerinden oynamışsa, Almanya'da da eski düşünce rejiminin yani akalçılığın kilit taşı olan yaradancılık ve doğal din yerinden oynamıştı.

Kant'ın ilk yapıtları, Newton mekaniğine ve kozmolojiye dayanır. Newton gibi maddenin atom modelini benimser ve bugün Kant-Laplace kuramı olarak bilinen Evren'i oluşumu kuramını yayınlar. Kuramı Leukippos, Demokritos ve Epikuros'un düşüncelerine yakındır. Başlangıçta, Evren bulut yığınlarından oluşur, yoğun kısımları kütle çekimi etkisiyle toplanır, Güneş ve yıldızları oluştururlar, yavaş yavaş soğuyan ve küçülen bu cisimler daha hızlı döndükçe ortasından çatlar ve gazlar çıkarırlar, bu gazlar yoğunlaşarak yerküreyi ve öteki gezegenleri oluştururlar. Bu kuramı elli yıl sonra Laplace nicel biçime sokarak 1810'da yayımlandı. Kant daha sonra sırayla depremler, rüzgarlar ve coğrafya gibi doğal olaylarla ilgilendi ve bu konularda yapıtlar yayımlandı.

Kant bu bilimsel çalışmalardan sonra felsefeyle ilgilendi. Bu ilgi, 1770'de mantık ve metafizik kürsüsüne seçilmesiyle başlar ve 1781 de eleştiricilik felsefesini Salt Aklın Eleştirisi adlı yapıtıyla yayınlar. Bu felsefeye Hume'un neden-sonuç sorununu inceleyerek başlar.

Nedensellik ilkesi bilimde tümevarım yönteminin temeli ve öncülüdür. Bilimsel yasalar tikelden tümele geçilerek bulunur ve bu yöntem tümevarım yöntemi denir. Bu yöntemin öncül hipotezi (postulatı) aynı nedenlerin aynı sonuçları doğuracağı ilkesidir. Nedensellik, doğal olayların bir düzen altında ard arda yinelenmesinin insanda yarattığı bir kavramdır. Birçok kez yinelenen bir sıra olayın aynı koşullarda yeniden meydana geleceğini düşünmek doğal bir eğilimdir. O halde sormak gerek.

- Nedensellik ilkesi apaçık bir şey midir?

Yoksa tanıtlanması gereken bir şey midir?

Hume bir ilkenin ancak deneylerden çıkacağını, ama nedensellik kavramını yalnız akulla tanımlamaya çalışmış ileri sürmüştü. Kant ise, bu kavramın salt aklın bir ürünü olduğunu ve bu nedenle deneylerin temelini oluşturduğunu ve bundan dolayı da deney alanında bir değer bulunduğunu, fakat bu alan dışında hiçbir değer ve anlamı olmadığını ileri sürer.

Kant kuramsal aklın sınırlarını belirttiğinden ve deney dışında bilim olanağı bulunamayacağını ileri sürer. Bu nedenle, Tanrı tasarımı gibi deney üstü şeylerin bilinemeyeceğini söyler. Sonra bulgusal aklı (iradeyi) inceler, determinizm, irade-i cüz'iyeye ve

özgürlük ilkelerini tartışır. Her türlü dogmacılığa, ister idealist ister metaryalist olsun, savaş açar. Hıristiyanlığın birçok inançlarını akla göre düzenlemek ve yorumlamak ister. Akla bağlı kalan bir din, ancak ve ancak, ahlaktan ibarettir; Kilisenin amacı, insanlığın hakkın zaferine ulaşmasıdır; eğer Kilise başka amaca dönerse, varlık nedinini yitirmiş olur.

Böylece Hıristiyan Avrupa'da 19 yy'ın başına İngiltere, Fransa ve Almanya'daki düşünce akımlarını karşılaştırarak ulaşılmış bulunuyoruz. 1000'li yıllarda, Arap bilim ve felsefesinin latinceye çevrilmesiyle başlayan bu soluk kesen serüvenin anlamını sindirmek için bir soluk alalım:

Arapçadan aktarılan Farabi, İbni-Sina ve İbnür-Rüşd'ün geliştirdikleri akılcılık ve bilimle İtalya'da Rönesans ve Almanya'da Reform gerçekleşir. Hıristiyan ve Protestan kiliselerinin tepkisiyle, bilim ve felsefenin gelişmesi İngiltere ve Fransa'ya kayar. İngiltere kralı 8. Henri'nin Kilise'den bağımsızlığını daha 16. yy başında ilan etmesine karşılık, Fransa'da krallık bir gecede yüzbin Calvin'ciyi katledecek kadar güçlü ve mutaasıptır. İngiltere Francis Bacon (1561-1626) la akılcılığı deneycilikle birleştirip tümevarım yöntemiyle modern bilimsel araştırma yöntemini bulurken, Fransa aynı yıllarda Descartes (1596-1650) in soyut akılcılığında kalır. İngiltere felsefe ve siyasal devrimlerini 17. yy'da tamamlayarak fizikte Newton sentezini 1687'de gerçekleştirir, felsefede Hobbes, Boyle ve Locke, Francis Bacon'un mirası üzerine İngiliz deneyci felsefeyi kurarlar. Bu felsefe yüzer yıl arayla önce Fransa'yı, sonra Almanya'yı sarsar. Fransa'da aydınlanma filozofları, İngiliz felsefesini doğal sonucu olan mekanist bir maddeciliğe ulaştırırlar. 1789 Fransız devrimi, bu felsefenin siyasal yansımasıdır. Almanya böyle köklü bir devrime henüz hazır olmadığı için, tünel ve düşünsel alanda Kant'ın felsefe devrimiyle yetinir.

Fransa, 19. yy'da, devrimin hemen ardından baş gösteren işçi hareketleri nedeniyle hem Devrim ilkelerinden, hem de Devrim'in hazırlanmasında kullanılan bilim ve felsefeden vazgeçerek Restaurantion'a (geri dönüş) sığınır. Devrim öncesi ve süresince en yüksek düzeyine ulaşan bilim ve felsefedeki araştırmalar durdurulur. Bu devletin aldığı stratejik bir karardır. Araplarda halife Mütevekkil (848) ve Türklerde Nizam-ül Mülk (1091) ün aldıkları stratejik kararlarla aynı niteliktedir. Fransızlar da Newton'un

adını sansür ederler, Newton'un ikinci yasasına "dinamiğin temel ilkesi" adını verirler. Çünkü Newton'un felsefesinin Devrimin hazırlanmasında nasıl kullanıldığını devlet bilir. Osmanlılar da aynı biçimde davranırlar. Mühendishane (bugünkü İTÜ) müderrisi İshak Efendi, 19. yy'da bile, mekanik dersleri kitabında Newton'un adını gizler. Fransız toplumu restauration'la birlikte sansürlü bir toplum niteliğini alır; tıpkı bin yıldır müslüman toplumlarında olduğu gibi.

Almanya ise Kant'ın yolunda ilerler, 19. yy'da bilim ve felsefeye çok önemli katkılar yapar. Fizikte bu katkılar öylesine önemlidir ki, 20. yy başında fiziğin iki sentezi (Einstein 1905 ve 1915 ile Heisenberg-Schrödinger 1925-26) Alman kökenli ülkelerde gerçekleşir.

19. yy'a ait olarak özetlediğimiz bu gelişmeleri ayrıntılı olarak bir başka yazıda ele alacağız. Yukarıdaki özeti, Newton'un 19. yy'daki yerini saptamak için yaptık. Ayrıca, dört önemli bilim ve felsefe aktarımına tanık olduk:

- Araplar, Yunan bilim ve felsefesini,
- Hıristiyanlar, Arap bilim ve felsefesini,
- Fransızlar, İngiliz bilim ve felsefesini,
- Almanlar, İngiliz ve Fransız bilim ve felsefesini aktardılar. Bu aktarımlardan sonra, bilime ve felsefeye önemli katkılar yaptılar.

Müslüman dünya, Selçuklu ve Osmanlı Türkleri dahil, bu gelişmelere ilgisiz tanıklık yaptı. Halife Mütevekkil ve sadrazam Nizam-ül Mülk'ün ve onları izleyen iktidarların bilime ve felsefeye sırt çeviren stratejik kararlarına uydu. 19. yy'da İngiltere'deki sanayi devriminin başlattığı akımlara ve baskılara, Osmanlı iktidarı bilimsiz teknoloji ile karşı koymaya çalıştı ve yıkıldı. Osmanlı iktidarının yerini, Atatürk reformlarıyla Cumhuriyet iktidarı aldı. Artık şu soruyu sorabiliriz:

- Türkiye bilimde ve felsefede aydınlandı mı?

Tarihte geçmiş dört büyük bilim ve felsefe aktarımını yukarıda anlattık. Bu aktarımcıların ortak özelliği, çağının bilim ve felsefesini alan ülke, ya da sınıf, bu bilimi ve felsefeyi sindirip, ülkesinin ya da sınıfının gereksinmelerine göre yeni bilim ve felsefe üretmesidir. Sorumuzun cevabını gelecek yazılarımızda ele almak üzere, şimdilik okura bırakıyoruz.

# Feynman Brezilya'da

Ayla ÇELİKEL

Brezilya'da kaldığım dönemde, oradaki eğitim konusunda çok ilginç bir deneyimim oldu. O sıralar Brezilya'da iyi yetişmiş uzman kişilere pek gerek sinim olmadığından, öğrencilerim en sonunda öğret men olacak küçük bir gruptan oluşuyordu. Önceki sınıflarda birçok ders almışlardı benim elektrik ve magnetizma, Maxwell denklemleri vb. konuları işlediğim ders onlar için oldukça ileri düzeydeydi.

Üniversitenin binaları kentin çeşitli bölgelerine dağılmıştı ve benim ders yaptığım yer körfeze tepe den bakıyordu.

Çok garip bir olguyu keşfettim; ders sırasında öğrencilere sorduğum sorulara hemin yanıt alabili yordum ama bir sonraki derste aynı soruyu bile sor sam yanıtlayamıyorlardı! Örneğin ışığın kutuplan masını işlerken herbirine kutuplayıcı şeritler dağıtmıştım.

Bu şeritler, yalnızca elektrik vektörü belli bir yönde olan ışığı geçireceğinden, aydınlık ya da ka ranlık görmelerine göre ışığın hangi yöne kutuplan dığını nasıl anlayacaklarını onlara açıkladım.

Önce iki kutuplayıcı şerit alıp, çevirerek ışığı en çok geçirdikleri konumu buluyorduk. Bunun, iki şeritten de aynı yönde kutuplanmış ışığın geçtiği anlamına geldiğini biliyorlardı. Bir kutuplayıcıyla ışığın mutlak kutuplanma yönünü nasıl anlayacak larını sordum.

Hiç yanıt yoktu.

Bunun anlamanın kolay olmadığını bildiğimden, ipucu olsun diye körfezden yansıyan gelen ışığa bakmalarını istedim.

Kimseden çit çıkmadı yine.

Bu kez, Brewster açısı diye birşey duyup duy madıklarını sordum.

"Evet efendim, Brewster açısı ışığın kırılma in-

disi olan bir ortamdan tümüyle kutuplanmış olarak yansıdığı açıdır."

"Peki bu yansıtılan ışığın kutuplanması nasıldır?"

"Işık yansıma düzlemine dik doğrultuda kutup lanmıştır efendim."

Şimdi bile bu işi düşünüyorum; ezbere biliyor lar! Hatta kırılma indisinin yansıma açısının tan jatına eşit olduğunu bile söylediler.

"Sonra?" dedim.

Sonrası yoktu. Az önce, ışığın kırılma indisi olan bir ortamdan kutuplanarak yansıdığını kutup lanmanın hangi doğrultuda olduğunu bile söylemiş lerdi.

"Kutuplayıcı ile körfeze bakın" dedim. Kutupla yıcıyı çevirdiler ve

"Aa kutuplanmış" dediler.

Uzun bir incelemeden sonra, öğrencilerin herşe yi anımsadıklarını ama hiç birşeyin ne anlama gel diğini kavrayamadıklarını gördüm. "Işık, kırılma indisi olan bir ortamdan yansıdığında" denince, bunun su gibi bir maddeden yansıdığı anlamına gel diğini bilmiyorlardı. "Işığın doğrultusu"nun cisme bakış doğrultusu olduğunu bilmiyorlardı. Herşey anımsıyor ancak hiçbir şey anlamlı sözcüklere çevrilmiyordu. Dolayısıyla, "Brewster açısı nedir?" diye sorduğumda, bilgisayara doğru bir anahtar sözcükle girmiş oluyordum. Ama "suya bakın" de diğimde hiç birşey olmuyordu, "suya bakın" sözcü ğü altında birşey yoktu.

Bir ara mühendislik fakültesinde bir derse katıldım. Ders yine not yazdırma şeklinde yapılıyordu. "Eşit iki dönme momenti.....iki cisme.....eşit ivme.....kazandırıyor.....bu iki cisim eşdeğerdir." Tüm öğrenciler oturup Profesörün ağzından çıkan



## ÇELİKEL

herşeyi not alıyorlardı. Sonra, Profesör "Eşit iki dönme momenti iki cisme eşit ivme kazandırıyor bu iki cisim eşdeğerdir." diye tümceyi tekrar ediyor ve öğrenciler doğru yazıp yazmadıklarını kontrol ediyorlardı. Ardından ikinci tümce aynı yöntemle not ediliyor ve ders böyle sürüyordu. İçlerinde yalnız ben, Profesörün eylemsizlik momentleri aynı olan cisimleri kastettiğini biliyordum ama öğrencilerin bunu anlamaları zordu.

Anlatılanlardan konuyu nasıl öğreneceklerini anlayamıyordum. Aslında anlatılan eylemsizlik momentiydi; ağır bir cisim bir kapının koluna yakın bir yere asıldığı zaman, aynı cismin menteşelere yakın bir yere asıldığı zamana göre daha büyük bir kuvvet uygulanırsa kapının açılacağını tartışıyorlardı.

Dersten sonra bir öğrenciye "Herşeyi not ettin. bunları ne yapacaksın?" dedim.

"Notlarından çalışacağım" dedi. "Sınavımız var."

"Sınav nasıl oluyor?"

"Çok kolay. Daha şimdiden soruların birini size söyleyebilirim." Defterine baktı ve "İki cisim ne zaman eşdeğerdir?" Yanıtı da çok kolay. "Eşit iki dönme momenti, iki ayrı cisme eşit ivme kazandırıyor bu iki cisim eşdeğerdir." Gördüğümüz gibi tüm bunları "öğrenip" sınavı geçiyorlar ama bu anımsadıklarının dışında hiçbir şey bilmiyorlardı.

Daha sonra bir gün mühendislik fakültesinin giriş sınavına katıldım. Sınav sözlü yapıyordu ve öğrencilerden biri çok parlaktı, soruların her soruyu anında yanıtlıyordu. Diamagnetizm nedir sorusunu mükemmel yanıtladı. Ardından "Belli bir N kılma indisi ve kalınlığı olan bir madde tabakasından ışık geçerse ne olur?" sorusu soruldu.

"Geliş doğrultusuna paralel olarak çıkar, yalnızca yeri değişmiştir."

"Yeri ne kadar değişir?"

"Bilmiyorum efendim ama hesaplayabilirim." Ve hesapladı. Çocuk gerçekten iyiydi. Ama bu kez şüpheye düştüm.

Sınavdan sonra bu parlak öğrenciyi buldum. ABD'den geldiğini, kendisine bazı sorular sormak istediğini ve soracaklarımın onun sınav sonucunu

asla etkilemeyeceğini söyledim. Kabul etti. İlk sorum "Bana diamagnetik bir madde söyler misin?" oldu.

"Hayır"

İkinci olarak, "Elimdeki bu kitap camdan yapılmış olsaydı ve ben masanın üzerindeki bir cismğe bu cam kitaptan baksaydım, kitabı eğdiğimde görüntüye ne olurdu?" diye sordum.

"Cisim, kitabı eğdiğiniz açının iki katı kadar dönmüş görünürdü efendim."

"Bunu bir aynayla karıştırmıyorsun değil mi?"

"Hayır efendim."

Az önce sınavda ışığın geliş doğrultusuna paralel ama yer değiştirmiş olarak geleceğini söylemişti, buna göre görüntü bir yana kayacak, ama hiçbir açıyla dönmüş olmayacaktı. Hatta cismin ne kadar kayacağını bile hesaplamıştı ama elimdeki cam parçasının indisi olan bir cisim olduğunu ve yaptığı hesabın benim sorunun yanıtı olduğunu ayırmasına varamamıştı.

Mühendislik fakültesinde fizikte matematik yöntemler dersi veriyordum ve sınama yanılma yöntemiyle problemlerin nasıl çözüleceğini anlatıyordum. Bu, fazlaca bilinen bir yöntem olmadığından, bazı basit aritmetik örneklerle işe başladım. Verdiğim ilk ev ödevinde 80 civarındaki öğrenciden yalnızca sekizi başarılı olunca, benim yaptığımı seyretmekle birşey olmayacağını, oturup kendilerinin uğraşmaları gerektiğini anlattım.

Dersin sonunda küçük bir heyet bana gelip, kendilerinin aritmetik bildiğini, soruların düzeylerinin altında olduğundan çözmeye gerek duymadıklarını söylediler.

Giderek konular karmaşıklaştı, ileri düzeye geldi ama yine hiçbir şey yapmıyorlardı, Nedenini anlamıştım. Yapamıyorlardı!

Onlara asla yaptırmadığım başka birşey ise soru sordurmaktı. Sonunda bir öğrenci açıkladı: "Eğer ben dersinizde soru sorarsam, diğerleri sizi durdurup ders süresinin boşa harcanmasına yol açtığım ve onların derste daha çok öğrenmelerine engel olduğum için bana çıkışlılar."

Bu bir cins üstünlük taslamaktı, neler olduğu bilinmiyordu ama sanki kendileri herşeyi anlamış gibi, soru soranı aşağılıyorlardı. Eğer birisi bir an birşeyleri karıştırıp soru sorsa, diğerleri hiç bir karışıklık yok diye itiraz edip y soru soranı dersi boş harcamakla suçuyorlardı.

Birlikte çalışmanın, soruları tartışmanın, üzerlerinde konuşmanın çok yararlı olduğunu söyledim. Soru sormanın küçük düşmek demeye gelmediğini anlatmaya çalıştım. Ne yazık ki, akılcıca yaptıkları pek çok şeye karşın, bu konuda höylesine komik bir anlayışa sahiptiler. Bu kendi gibisini türeten eğitim çok anlamsızdı, kökünden anlamsızdı.

Akademik yılın sonunda, Brezilya'daki öğretim deneyimim üzerine bir konuşma yapmamı istediler. Öğrencilerden başka profesörler ve hükümet yetkilileri de dinlemeye gelmişti. Onlara, içinden gelen herşeyi söylemeyi planlıyorum dedim. Onlar da "Elbette, burası özgür bir ülkedir." dediler.

Salona girdiğimde, kolejin birinci sınıfında okutulan temel fizik kitabı elimdeydi. Bu kitabı hepsi çok beğeniyorlardı, çünkü mutlaka akılda tutulması istenilen önemli kısımlar koyu harflerle basılmıştı.

Elimde kitabı gören bir dinleyici "Bu ders kitabı için kötü birşeyler söyleyemeyeceksiniz değil mi?" dedi. Kitabın yazarı da aralarındaydı ve iyi bir kitap olduğuna hepsi inanıyordu.

"Dilediğim gibi konuşabileceğimi söylemişsiniz."

Salon doluydu. Bilim doğanın davranışlarını anlamaktır şeklinde tanımlayarak söze başladım. Ardından da "Bilim öğretmenin yararı nedir?" Bilim olmadıkça hiçbir ülke kendini uygarlaşmış sayamaz" diyerek sürdürdüm konuşmamı. Herkes onaylıyor gibi başı önünde dinliyordu, bu onların düşüncüklerini gösteriyordu.

"Diğer ülkeleri yakalamak zorunda olduğumuzu düşünmek saçmadır. Diğer ülkeler yapıyor diye değil, daha akla yatkın, daha anlamlı bir nedenle bilim yapmalıyız" dedim. Sonra da bilimin yararları ve insanlığın gelişmesine katkısı üzerinde durdum. Bu sözlerin onları tedirgin ettiğini biliyordum.

"Konuşmanın asıl amacı, size Brezilya'da bilimin düşünülmediğini göstermektir" dediğimde hepsi allak bullak oldu. "Ne? Bilim yok mu? Bu çok

saçma! O kadar derselerimiz var" diye düşüncüklerini görüyordum.

Brezilya'ya ilk geldiğim günlerde, kitapçılarda fizik kitabı satın alan ilkökul çocukları görmenin beni çok şarşırttığını, öğrencilerin Amerika'dakilerden çok daha erken yaşta fizik öğrenmeye başladığını, bu kadar çok fizik öğrenen olduğu halde Brezilya'da fazla fizikçi olmadığını, bunca çalışmaya karşın ortaya birşey çıkmamasını anlamının güç olduğunu anlattım onlara.

Sonra, Yununcayı çok seven, ülkesinde Yunanca çalışan yeterince öğrenci olmadığından yakınan bir Yunan hoca örneğini verdim. Bu hoca, gittiği bir yabancı ülkede ilkökoldan başlayarak herkesin Yunanca çalıştığını göreyek çok mutlu olur. Yunan dili bölümünü bitirmek üzere olan bir öğrencinin sınavına girmiştir. Sokrates'in Gerçek ve Güzellik arasındaki ilişkiyi nasıl gördüğünü sorar ama öğrenciden bir yanıt alamaz. "Üçüncü toplantıda Sokrates Platon'a ne demişti?" diye sorduğunda ise öğrenci herşeyi kelimesi kelimesine anlatır.

Ancak, üçüncü toplantıda Sokrates'in Platon'a anlattıkları Gerçek ve Güzellik arasındaki ilişkidir!

Böylece Yunan hoca şunu kavramıştır: Yabancı ülkedeki çocukları yunancayı önce harfleri öğrenerek başlarlar, sonra cümleleri ve paragrafları öğrenirler. Herşeyi, bu arada Sokrates'in ne dediğini de kelimesi kelimesine tekrarlarlar ama o yunanca kelimelerin ne anlama geldiğini kavramanışlardır. Öğrenciler için onların tümü birer yapay sestir. Hiç kimse o kelimeleri öğrencilerin anlayabileceği kelimelere çevirememiştir.

"İşte burada, Brezilya'da sizin çocukları bilim öğretmeniz de bana böyle geliyor," dedim. Ne müthiş bir darbe değil mi?"

Sonra kullandıkları temel fizik kitabını elime aldım. "Bu kitapta temel sonuçlardan hiç söz edilmiyor. Bir tek, eğişik düzlemden yuvarlanan bir topun, birinci, ikinci, üçüncü saniyeler sonunda aldığı yollar verilmiş. Sayıların hataları da var, yani baktığınızda deney sonucu olduğunu düşünürsünüz. Çünkü sayılar kuramsal değerlerin altında veya üstünde görülüyor. Kitap deneysel hataların nasıl düzeltileceğini bile anlatmış, çok güzel. Ama asıl sorun, bu değerleri kullanarak ivmeyi hesapladığı-

## ÇELİKEL

nızda doğru yanıtı elde etmeniz. Halbuki bir top eğik düzlemde yuvarlanırken, eğer bu iş gerçekten yapılıyorsa, topun dönüşünde bir eylemsizlik vardır ve eğer deneyi yaptıysanız, bulduğunuz yanıtın yedide beşini elde edersiniz, çünkü topun dönmesi için ekstra enerjiye gereksinim vardır. Yani kitapta verilen tek deneysel sonuç bile düzmece bir deneyin sonucudur. Böyle bir topu ne kimse yuvarlamış ne de böyle elde etmiştir."

"Başka şeyler de buldum," diye sürdürdüm konuşmamı. "Sayfaları şöyle rastgele çevirip parmağımı herhangi bir yere koyup okuduğumda bunun bilim değil, salt her durumu anımsamadan ibaret olduğunu görüyorum. Şimdi bu işi sizlerle birlikte yapalım."

Sayfaları çevirip parmağımı rastgele bir yere koyup okumaya başladım. "Kristal ezildiğinde ortaya çıkan ışığa triboluminesans denir."

"Burada bilim var mı? Hayır! Bir kelimenin anlamını başka kelimelerle söylüyorsunuz. Hangi kristali ezdiğinizde bu ışımayı yapıyor, ışıma nasıl oluşuyor, doğa ile ilgili hiç birşey yok. Herhangi bir öğrenci eve gidip bunu deneyebilir mi? Deneyemez."

Bunun yerine çocuğa karanlıkta bir kesme şekeri kerpetenle ezerseniz mavimsi bir ışık görürsünüz. Aynı şeyi başka kristallerde de gözleyebilirsiniz. Nedeni bilinmeyen bu olaya triboluminesans denir, deseniz. İsteyen eve gidip bunu deneyebilir ve bir doğa deneyimi kazanmış olur.

Bu verdiğim sıradan bir örnekti, parmağımı nereye koyarsam koyayım aynı şeyle karşılaşacaktım, çünkü kitabın her satırı böyleydi.

İnsanların hiçbir şey öğrenmeden sınavları nasıl geçtiğini ve kendi gibileri türeten sistemle eğitim yapılmasını anlamadığımı söyledim. "Yanıltıyor da olabilirim, çünkü sınıftaki en iyi iki fizikçiden biri tamamen Brezilya'da eğitilmiş bir öğrenci. Yani sistem ne kadar elverişsiz olursa olsun kendi yolunu bulanlar da olabilir."

Konuşmamı bitirince Fen Eğitimi bölüm başkanını kalktı ve "Bay Feynman bize duyması pek hoş olmayan şeyler söyledi. Öyle görünüyor ki kendisi bilimi çok seviyor ve eleştirilerinde pek içten. Dolayısıyla onu dinlemeliyiz. Buraya gelirken eğitim sistemimizde aksaklıklar olduğunu biliyordum ama "kanser" olduğumuzu şimdi öğrendim" dedi.

Konuşması, diğerlerini de düşündüklerini özgürce söyleme konusunda yüreklendirmişti. Herkes-te büyük bir heyecan oluştu. Peşpeşe öneriler geldi. Öğrenciler bir komite kurup konuşmamı teksir etmek istediler ve bu komiteyi kuracak bir komite kurmaya giriştiler.

Sonra hiç beklemediğim birşey oldu. Bir öğrenci kalkıp "Bay Feynman'ın konuşmasında sözünü ettiği iyi öğrenci benim ama Brezilya'da değil Almanya'da eğitim gördüm, Brezilya'ya bu yıl döndüm" dedi.

Başarılı olan ikinci öğrenci de benzer şeyler söyledi. Ve ilk söz alan Profesör yeniden ayağa kalkıp "Ben Brezilya'da eğitim gördüm ancak o zaman savaş vardı ve tüm profesörler burayı terkettiğinden ben ne öğrendiysem kendim kitaplardan çalışarak öğrendim. Yani ben gerçek Brezilya sistemiyle eğitilmedim" dedi.

Bu kadarını beklemiyordum. Sistemin çok kötü olduğunu biliyordum ama bu kadar olacağını ummamıştım, durum çok korkunçtu.

Brezilya'ya Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin desteklediği bir programla geldiğimden, buradaki deneyimlerim konusunda bir rapor vermem isteniyordu. Ben de yaptığım konuşmanın özünü yazıp rapor diye verdim. Daha sonra kulaktan kulağa gelen haberlerle öğrendiğime göre ABD Dış İşleri Bakanlığı'nda birisi raporumu okuduğunda "Böyle bir çaylağı Brezilya'ya göndermenin ne kadar tehlikeli olduğunu bu rapor gösteriyor. Aptal herif, problemleri anlamayıp başımızı belaya sokacak" demiş. Tam tersi! Sanıyorum, Dış İşleri Bakanlığı'ndaki bu kişinin kendisi, üniversiteleri verilen derslerin katalogu olarak görecektir kadar toydur."



# Holografi

Hanash GÜR

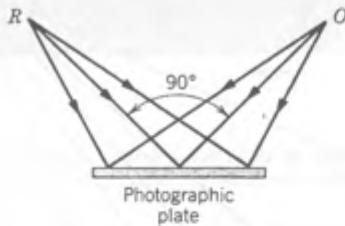
## Hologram Nedir ve Nasıl "İşler"?

Holografının temel olarak anlaşılması, fiziksel ve geometrik optiklerin birçok temel ilkesinin gözden geçirilmesini gerektirir. Görünür ışığa uygulanmış biçimiyle, girişim ve kırınımı kapsar.

Bir hologram, aynı laserden çıkan iki ya da daha çok ışık demeti arasında oluşmuş girişim deseninin, bir fotoğraf plağı gibi, ışığa-duyarlı bir ortamdaki kayıdır.

Bir hologram yaparken, bir laserden çıkan ışık denetinin bir parçası, bir mercekle ya da bir eğrisel ayna ile genişletilebilir ve bir fotoğraf plağına düşürülür. Buna, başvuru demeti (R) denir. Işığın kalamı, kaydedilecek olan üç-boyutlu nesneyi aydınlatır. Nesneden fotoğraf plağına doğru saçılan ışığa, nesne demeti (O) denir. Tüm ışık aynı laserden çıktığı için, iki demet karşılıklı olarak uyumlu (coherent) dur ve belli bir girişim deseni oluşturur.

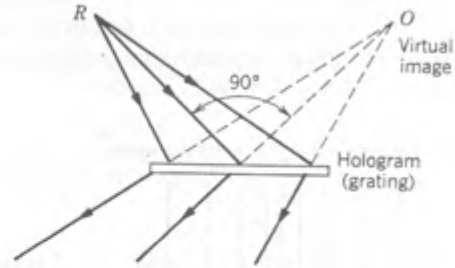
Bir hologram R ile aydınlatılırsa, karmaşık bir ağ gibi davranır ve ışığı kırınımına uğratar. Kırınım deseni, orjinal nesneden yayılmış olan dalga cephesini tam olarak yeniden oluşturur.



Şekil 1a. Geniş aralıklı R ve O gibi uyumlu (coherent) iki nokta kaynaktan gelen ışık, fotoplak üzerinde ince girişim saçakları oluşturur; bu fotoplak, bazı kimyasal süreçlerden sonra, bir kırınım ağı haline gelir.

Bu süreci daha iyi anlamak için, önce en basit nesne olan, uzayda bir noktayı ineleylim. Şek. 1a fotoplaktan uzakta bulunan ve birbirlerine göre 90° açıda girişim yapan iki demeti göstermektedir. Giri-

şim deseni, birbirinden çok uzak bir çift-yarık Young deneyindeki tam olarak aynıdır. Işığa tutulmuş ve banyo edilmiş hologram,  $d = \lambda$  aralıklı bir kırınım ağı oluşturur; burada  $\lambda$ , laserin dalga boyudur.

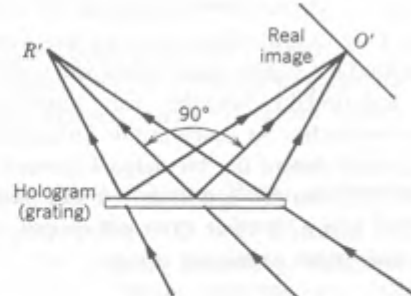


Şekil 1b. R demeti, tek başına olarak, kırınım ağına gönderilirse, kırınımına uğrayan ışık O'nun dalga cephesini yeniden tam olarak oluşturur.

Şek. 1b, O'nun dalga cephesinin yeniden nasıl oluşturulacağını göstermektedir. R'den gelen laser ışığı hologramı aydınlatır.

$$m\lambda = d\sin\theta$$

denklemine uygun olarak kırınımına uğrayan ışık,  $m = 1$  için  $\theta = 90^\circ$  verir. Daha yüksek derecelere yer



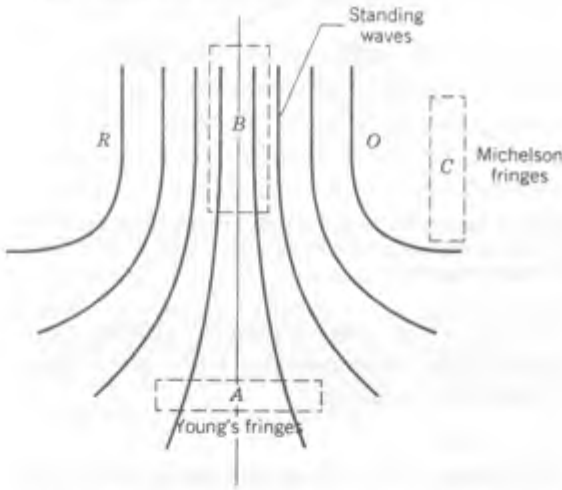
Şekil 1c. R demeti ters doğrultuda gönderilirse, O'nun gerçek görüntüsü de bir ekran üzerine düşebilir.

yoktur. Böylece, kırınımına uğrayan tüm ışık, O'nun sanal bir görüntüsünü oluşturulur.

Şek. 1c'de görüldüğü gibi, R ters doğrultuda gönderilirse (R' eşlenik demeti denen), O da, yeniden oluşturulur. O'nun yerleşimine konulan bir ekran, gerçek görüntüyü gösterecektir.

O noktasının, laser ışığı ile aydınlatılmış üç-boyutlu bir nesne ile değiştirirsek, yeni nesne demeli O, nesne üzerindeki saçıcı merkezleri gösteren nokta kaynakların geniş bir topluluğundan oluşacaktır. Böylece, fotoplak üzerindeki kayıt, kırınım ağlarının bir üstüste gelmesi olacaktır. R (ya da R') ile aydınlatılınca da, nesnenin sanal (ya da gerçek) bir görüntüsü gözlenebilecektir.

Yukarıdaki kayıt, "laser geçiş" hologramı olarak adlandırılır. En çarpıcı özelliği, hologram üzerindeki küçük bir alanın, nesnenin tüm görüntüsünü yeniden oluşturabilmesidir.



Şekil 2. İki nokta kaynak arasındaki genel girişim deseni, bir hiperbol ailesidir.

Şek. 2. kaynakların bulunduğu bir düzlem üzerinde R ve O arasındaki genel girişim desenini göstermektedir. Çizgiler maksimumların yerlerini; onların aralarındaki bölgeler ise, minimumlarının göstermektedir. Su dalgalarının kullanıldığı benzer bir girişim deseni de, bir dalga leğeninde oluşturulabilir. RO'nun dik açıortayı, sıfıncı basamak girişimidir; burası, R'ye ve O'ya giden optik yolları eşit olan noktaların geometrik yeridir.

Üç-boyutlu uzaydaki desen, RO eksen olmak üzere, Şek. 2'deki çizgilerin 360° döndürülmesi ile elde edilen yüzeylerden oluşmaktadır. Bunlar, odakları R ve O olan hiperboloidler ailesidir.

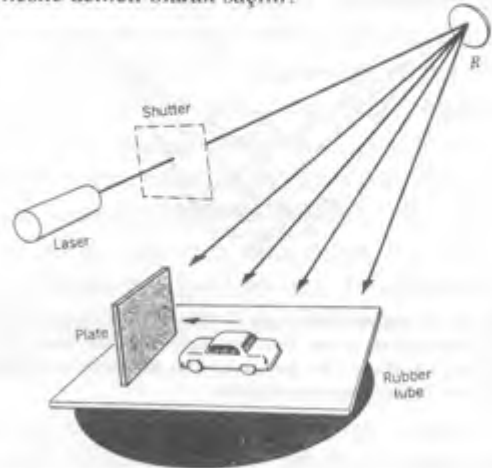
R ve O'dan yeterince uzak A bölgesindeki desen, Young'ın yukarıda tartışılan çift-yarıık deseninin tam aynısıdır. B bölgesinde karşıt doğrultuda giden; ve böylece duran dalgalar oluşturan dalgalar bulunmaktadır. R ve O'yu birleştiren çizgi boyunca, karşıt düğümler arasındaki uzaklık  $(1/2) \lambda$ 'dır. C bölgesi, Michelson interferometresi türü saçakları gösterir.

Genel olarak, RO uzaklığı birkaç bin ışık dalga-boyu kadardır ve girişim deseni mikroskopik olup, görsel çözme gücünün ötesindedir. Şek. 2'de, basit olsun diye, R ve O arasındaki uzaklık, birkaç dalga-boyu olarak alınmıştır.

Bir hologram, fotoplağın, B bölgesine, Şek. 2'nin sıfıncı basamağına paralel olarak yerleştirilmesi ile yapılırsa, duran dalga desenini kaydeder. Fotoplağın üzerindeki fotoğrafik emülsiyon genel olarak  $10\lambda$  kadar kalınlıktadır; böylece, 20 kadar hiperboloid biçimli düzlem kaydeder. Bu görülmeye değer "beyaz ışık yansıma" hologramı, R'ye yerleştirilmiş bir akkor nokta kaynağı yardımı ile görülebilir. Bu bir "hacim" hologramı olduğundan Bragg kırınımı oluşturur ve beyaz ışıktan aynı  $\lambda$  dalgaboyunu seçer ve O'nun dalga cephesini yeniden oluşturur.

### Hologramların Yapılması

Şek. 3, laser geçiş hologramlarının yapılmasında kullanılan basit bir sistemi göstermektedir. 1-5 miliwatt'lık bir HeNe laserinin çıkışı, bir eğrisel ayna ile genişletilebilir. Işığın bir kısmı fotoplağa doğrudan gelir ve başvuru demeti olarak kullanılır; çizimdeki R, aynanın odak noktasıdır. Işığın başka bir parçası ise, nesneyi aydınlatır ve fotoplak üzerine nesne demeti olarak saçılır.



Şekil 3. Bir laser ışığı ile görülebilen bir geçiş hologramı yapmak için, basit bir düzenlenim.

Fotoplak ve nesne, aşağıdan gelecek mekanik titreşimleri soğuran şişirilmiş bir lastik tübün üzerindeki bir çelik düzleme oturtulmuştur. Her parça, miknatıslarla ya da tutkal ile tutturulmuştur. Bu zorunludur; çünkü birkaç saniye kadar olabilen poz süresi boyunca, nesne ve fotoplak arasındaki herhangi bir bağıl hareket, kaydedilmekte olan mikroskopik girişim desenini bozar ve hiçbir sonuç alınmaz.

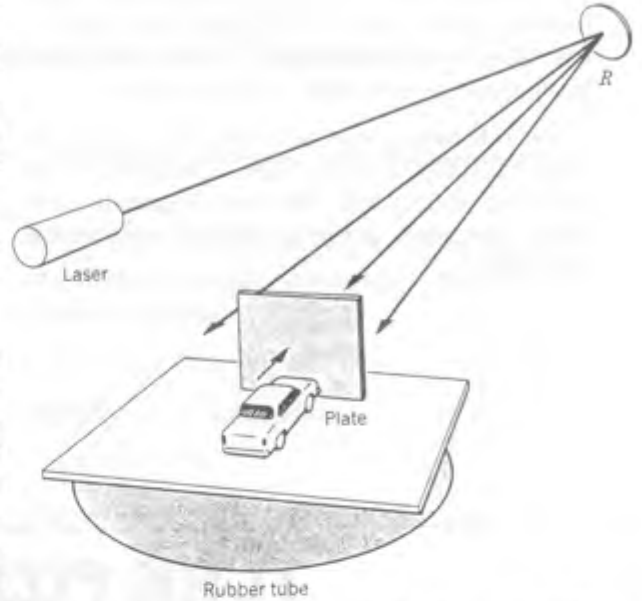
Genel olarak, geniş sahneleri daha sanatsal ve yararlı biçimde aydınlatmak için ise, çok daha karmaşık optik düzenlemeler gerekir.

20 nanosaniyeden (1 nanosaniye  $\equiv 1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) daha az zamanda 1 joule'den fazla ışık enerjisi yayabilen bir yakut laseri kullanarak, çabuk geçen sahnelerin de bir hologramı yapılabilir. Nesnelere genel olarak hareket halinde olsalar da, poz süresinin kısa olması, zorunlu desenlerin bozulmadan kaydedilmesine izin verir. İnsan ve hayvan nesneleri için, göz güvenliği kurallarına uyulmalıdır. Bunlar, gözleri kapamak, güneş gözlüğü ya da mat değme-mercekler takmak, ya da ince aydınlatma teknikleri kullanılmaktadır.



Şekil 4. Yazarı, atmalı yakut laser ile yapılmış bir geçiş hologramından elde edilmiş derinlikli sahne görüntüsü.

Şek. 4, böyle bir hologramdan yeniden kurulmuş dalga cephelelerinin bir fotoğrafıdır. Yazarı, laboratuvarında göstermektedir. Bu küçük hologramdan, sanki laboratuvar duvarındaki bir pencereden bakılıyormuş gibi bakılabilir ve herşey tüm boyutları ile görülebilir. Hologramın herhangi küçük bir yüzeyine, R' nin tersi doğrultuda iraksamayan bir laser demeti gönderilirse, gerçel bir görüntü elde edilebilir.



Şekil 5. Akkor ışıkla görülebilen en basit hologramı yapmak için düzenlenmiş bir sistem.

Şek. 5, bir beyaz-ışık yansıtma hologramının kaydedilmesi için bir düzenek göstermektedir. Nesnenin, fotoplakla değdiğine ve aynanın karşıt yanında bulunduğu dikkat edelim.

Bu bir hacim hologramı olduğundan, Bragg düzlemleri arasındaki uzaklık, emülsiyonun kalınlaştırılıp inceltilmesi ile, kimyasal olarak kaydırılabilir. Böylece, görüntünün istenen renkte yeniden oluşturulması sağlanabilir. Sanatçılar, çoklu pozlandırma yaparak ve pozlandırmalar arasında emülsiyonu kalınlaştırarak, çok renkli güzel yapıtlar üretebilirler. Fotoplakın yıkanması sırasında, her pozlandırma farklı aralıklar verir ve görüntü çok renkli görünür.

### Başka Hologram Türleri

Şimdilik, yukarıdakilerden başka, iki temel hologram daha, sanatsal ve teknik uygulamalarda kullanılabilir. Başlıca karma hologram türleri şunlardır:

**Gökkuşuğu hologram:** Beyaz-ışıkta görülebilir bir geçiş hologramı olup, yalnızca yatay doğrultuda üç-boyutluluk gösterir. Gözlenen renk, düşey bakış açısına bağlıdır. Böyle hologramların arkası alüminyum ile kaplandıktan sonra, bir yüzeye tutturulabilir ve sanki-yansıtma hologramları olarak kullanılabilir.



## GÜR

**İntegral stereogram:** Hareketli resim karelerinin bir serisinden sentezlenmiş bir hologramdır; canlı nesnelere ve dış sahnelerin, başlangıç laser aydınlatması olmadan kaydedilmesine izin verir. Bilgisayarla oluşturulmuş görüntüler de sentezlenebilir.

**Odaklanmış görüntü hologramı:** O gibi bir nesnenin, fotoplak düzlemi içinde yerleşmiş gerçek görüntüsü kullanılarak yapılmış hologramdır. Alışıldığı gibi, gerçek görüntü, başka bir hologramdan elde edilir.

**Holografik sinema:** Çoklu eliptik ayna gibi davranan, geniş bir hologram biçiminde bir izdüşüm ekranı yapılarak, bir oditoryumdaki her izleyiciye, bir hologramlar serisinden gerçek görüntüler sunulabilir.

Okurun, çeşitli kaynaklardan bulabileceği, başka birçok hologram türü daha vardır.

(R. Resnick ve D. Halliday'ın Fiziğin Temelleri kitabının 3. baskısından çevrilerek aktarılmıştır.)

# TÜRK FİZİK VAKFI ÜNİVERSİTE BURSLARI

TVF. Üniversitelerin Fizik ve Fizik Mühendisliği bölümlerinin 2. 3. ve 4. sınıflarında okuyan başarılı öğrencilerine karşılıksız burslar vermektedir. Burs tutarı üniversite öğrencilerine verilen kredi tutarı düzeyindedir.

### **Başvuru Koşulları:**

1. Geçmiş yılların ders programlarının takıntısız başarılmış olması.
2. Not ortalamalarının en az 65/100. 12/20 veya 2.5/4 olması.
3. Başka bir yerden burslu olunmaması (bazı durumlarda aranmayabilir)
4. Bir bursiyer yukarıdaki koşulları sonradan yerine getiremez duruma düşerse bursu kesilir.
5. Bir bursiyer lisansüstü eğitime başlarsa bursu da sürer.

Başvuru için, Bölüm Başkanlıklarından veya Vakıftan temin edilebilecek "Türk Fizik Vakfı Başvuru Formu" ve eklerinin Vakıf adresine gönderilmesi gerekir. Başvurular en geç 1996 Mart ayı sonuna kadar Türk Fizik Vakfı'na ulaşmış olmalıdır. Burslar 1 Mart'tan başlayarak ödenecektir.

# Nükleer Proseslerin Matematiksel Tasviri

Amirullah MAMEDOV Süleyman GÜNGÖR

Günümüzün dersleri için elementer matematiğin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Tabii ki öğrencilerin matematik bilgileri onların fiziği daha iyi anlamasını sağlar.

Atom ve çekirdek fiziğinde  $f(x) = a^x$ ,  $a > 0$  ve bu fonksiyona bağlı diferansiyel denklemlerin kullanımını araştıralım.

İlk önce radyoaktif bölünme prosesini tasvir eden diferansiyel denklemin çıkarılışını bulalım. Bir radyoaktif örneğin A-aktivitesi için gereken formülü ele alalım.

$N(t)$  herhangi bir  $t$  anında bölünmemiş çekirdeklerin sayısı  $N(t=0) = N_0$ ,  $t$  ile  $t+\Delta t$  zamanı arasındaki bölünmelerin sayısı  $\Delta N(t)$  olsun.

$$\Delta N(t) = N(t) - N(t+\Delta t)$$

$$A(t) = \frac{\Delta N(t)}{\Delta t}$$

olduğu için,

$$A(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{\Delta t} = -N'(t) \quad (1)$$

bağlantısı bize radyoaktif maddelerin aktivitesini vermektedir. Radyoaktif maddeyi iki eşit parçaya böldüğümüzde, aktiviteyi de yarı yarıya azaltmış oluruz. Buna göre aktivite ile radyoaktif madde miktarları birbirleri ile orantılıdır. Aktiviteyi yazacak olursak

$$A(t) = \lambda N(t) \quad (2)$$

burada  $\lambda$  orantı katsayısıdır. (1) denklemini gözönüne alırsak

$$N'(t) = -\lambda N(t) \quad (3)$$

birinci dereceden bir diferansiyel denklem olarak karşımıza çıkar. Bu denklemin çözümü

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (4)$$

şeklinde dir. Başlangıçtaki  $N_0$  çekirdek sayısının yarıya düşmesi için geçen zaman (yarı ömür- $T_{1/2}$ ) anlayışını kullanarak

$$\lambda = (\ln 2) / T_{1/2}$$

olduğunu ve (4) denkleminin

$$N(t) = N_0 2^{-t/T_{1/2}} \quad (5)$$

olduğunu göstermek mümkündür. O zaman

$$A(t) = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N(t)$$

yani A-aktivitesi zamanla  $N(t)$  gibi azalmaktadır ve aynı  $N(t)$  değerleri olan iki izotop için A-aktivitesi  $T_{1/2}$  ile ters orantılıdır. (SI'de aktivite birimi olarak bekerel kullanılır) Burada anlaşılması gereken diğer bir husus da (4) denkleminin istatistik kanunlara uygunluğu sadece radyoaktif çekirdekler için değil herhangi kararsız mikro sistemler için de geçerlidir. Örnek olarak kararsız atomların spontane olarak ışık yayması (photon emission) çekirdeklerin  $\gamma$  ışını yayması stabil olmayan elementer parçacıkların bölünmesi, v.s., gösterilebilir. Bu objeler için yarı ömür yerine ortalama ömür kavramı kullanılır:  $\tau = T_{1/2} / \ln 2$ , ve bunun için  $N_0 / N(\tau) = e$  dir. Atomlar için genel olarak  $\tau = 10^8$  san (metastabil durumlar için  $\tau = 10^3$  san). Belirtilmesi gereken diğer bir husus, (4) denklemini ancak sınırlı olarak kullanılmaktadır.

$N(t)$  fonksiyonu için ancak tam değerlerin fiziksel anlamı vardır. Bu bakımdan  $N_0 2^{-t/T_{1/2}}$  en yakın tam değere göre hesaplanmalıdır.  $t$ 'nin çok büyük değerleri için  $N(t) < 1$  olacağından  $N(t)$ 'nin hiçbir fiziksel anlamı yoktur. (2) denkleminin hangi durumda ampirik kanuna uyduğu, istatistik ve yaklaşımlı karakterli olduğu da öğrencilere söylenmelidir ve bu kanuna uygunluğun çok büyük miktardaki dengesiz çekirdekler için ( $N(t) \gg 1$ ) geçerli olduğunu ve az miktarda olan çekirdek grupları için ge-

## MAMEDOV-GÜNGÖR

çerli olmadığını vurgulamak gerekir. (Olası sapmalar, rastgele sapmalar çok büyük olabileceğinden dolayı) Reaksiyon sonucu bozunmanın materyalin hangi bölgesindeki çekirdeklerde başlayacağını önceden belirlemek imkansızdır. Ancak  $t_1 < t < t_2$  zaman aralığındaki ortalama bölünme sayısının ne olacağını söylemek mümkündür.

$$N_1 - N_2 = N_0 (2^{-t_1/T_{1/2}} - 2^{-t_2/T_{1/2}}) \quad (7)$$

Öğrencilerin bu kanuna uygunluğu daha iyi anlayabilmeleri ve unutmamaları için bazı problemler çözelim.

### Problem;

Bir radyoaktif izotop için yarı ömür iki gündür. İçerisinde bu izotoptan bulunan bir yerin (toprak alanı) aktivitesinin 8 defa küçülmesi için geçen süre ne olmalıdır?

### Çözüm;

$$A(t) = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0 2^{-t/T_{1/2}}, \quad A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0$$

$$A_0/A = 2^3 = 8, \quad t/T_{1/2} = 3, \quad t = 6 \text{ gün}$$

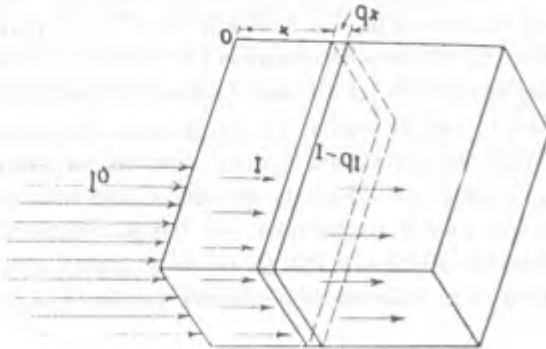
### Problem;

Radyoaktivite bulunan bir bölgede, yerüstü nükleer patlamasından bir saat sonra ölçülen  $A(t)$  aktivitesi iki saat sonra iki defa, üç saat sonra dört defa, yedi saat sonra on defa ve kırk dokuz saat sonra yüz defa küçülmektedir. Radyoaktivitenin bu türlü azalması radyoaktif bölünme kanununa uymakta mıdır?

### Çözüm;

(6) denklemini kullanınız.

Şimdi de (4) denklemindeki  $e^{-\lambda x}$  nin nötron  $\gamma$ -ışını ve  $\beta$ -parçacıklarının paralel ışın veya parçacık hüzmelerinin azalmasındaki kullanılmasına bakalım.



$I(x)$ , hedefin yüzeyinden  $x$  derinliğindeki bir mesafedeki bir parçacık akımı olsun.

$$\Delta I = I(x) - I(x + \Delta x)$$

$\Delta x$  kadar yol katettikten sonra parçacık akımının azalması (2) denklemine uygun olarak

$$\Delta I = \mu I(x) \Delta x$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{I(x + \Delta x) - I(x)}{\Delta x} = I'(x) = -\mu I(x)$$

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad (8)$$

şeklinde olacaktır. Parçacıkların hüzmelerdeki azalması parçacıkların saçılması (scattering) veya yutulmasına bağlı olup, olası bir karaktere sahiptir. (8) denklemi parçacıkların akımının ortalama değerini göstermektedir. Hesaplamalar yapıldığında yeni bir kavram ortaya çıkmaktadır. Bu kavram  $I(x=d) = 1/2 I_0$  olduğu bir ortam kalınlığıdır. Buna göre

$$\mu = \frac{\ln 2}{d}$$

ve

$$I(x) = I_0 2^{-x/d}$$

dir.

Bu son denklem kullanılarak radyoaktif materyallerin yayımlanmasından ve nükleer reaktörlerden korunma hesaplamaları yapılır.

### Problem;

$\gamma$ -radyasyonu yayan bir ünitenin verdiği radyasyon değerini ( $I(x)$ ) yarıya düşmesi için gereken tabaka kalınlığı, kurşunda 2 cm, betonda 10 cm dir. Ünite çalışırken çalışan kişilerin radyasyondan etkilenmesi için kurşun tabakanın kalınlığı 1 cm'dir. Buna göre aynı radyasyon için güvenilir beton tabakası kalınlığı ne olmalıdır?

### Çözüm;

$$I_{pb} = I_B, \quad I = I_0 2^{-x/d}$$

$$I_0 2^{-x_{pb}/d_{pb}} = I_0 2^{-x_B/d_B}, \quad x_B = \frac{d_B}{d_{pb}} x_{pb} = 5 \text{ cm}$$

### Problem;

Paslanmaz çelik kazanın bozulmasını kontrol etmek için  $\gamma$ -kaynağı kullanılır ve bu  $\gamma$ -ışını kazan duvarından geçerek bir detektör aracılığı ile belirle-

nir. Kazanın bir yerinden  $\gamma$ -ışınlarının 1.41 defa arttığı -detektör tarafından belirlenmiştir. Kazadaki tahribat ölçülerinin ne kadar olduğunu bulunuz. (Işının yayılma yönünde). Çelik için  $d=3$  cm.

**Çözüm;**

$$\frac{I_T}{I} = 2^{(x-x_T)/d} = 1.41 = 2^{1/2}$$

$$\frac{x-x_T}{d} = 1/2, \quad x-x_T = \frac{d}{2} = 3/2$$

Son olarak  $f(x) = a^x$  şeklindeki fonksiyonların zincirleme nükleer reaksiyonlarda kullanımına bakalım.  $N$  nötronların sayısal yoğunluğu olmak üzere bu reaksiyonda nötronların artmasını gösteren sabit

$$K = \frac{N_{\ell+1} (\ell + 1 \text{ prosesindeki})}{N_{\ell} (\ell \text{ prosesindeki})}$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu iki proses arasındaki zaman  $\tau$  olsun.  $\ell$  aşamasındaki nötronların  $\ell+1$  aşamasındaki artışı

$$\Delta N_{\ell} = N_{\ell+1} - N_{\ell} = N_{\ell} (K-1)$$

olacağından

$$\frac{\Delta N_{\ell}}{\tau} = \frac{K-1}{\tau} N_{\ell}$$

bağıntısı yazılabilir. Şimdi herhangi bir  $t$  anındaki nötronların sayısı  $N(t)$  olmak üzere  $t=0$  da zincirleme bir reaksiyonun başladığını düşünürsek,  $t=\ell\tau$  olduğundan

$$\frac{\Delta N_{\ell}}{\tau} \approx N'(t)$$

yazılabilir. Buna göre (9) denklemi yerine

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{K-1}{\tau} N(t) \quad (10)$$

denklemini alıyoruz. Buradaki (10) denklemi de daha önceki konularda araştırdığımız proseslerde olduğu gibi nötronların zincirleme artması da olası bir prostestir.

(10) denkleminde görüleceği gibi  $K=1$  olduğunda bölünme reaksiyonu zamana bağlı olmaz. ( $N'(t) = 0$ ,  $N(t) = \text{Sabit}$ ), fakat  $K>1$  olduğunda reaksiyon

$$N(t) = N_0 \exp\left(-\frac{K-1}{\tau} t\right)$$

kanununa uymaktadır, ve reaksiyon sonucu artan nötron sayısına bağlı olarak nükleer reaktörün gücü de zamanla artmaktadır.

**Problem;**

$\tau=0.1$  san ve  $K=1.005$  olduğuna göre 10 san sonra nötron sayısı ne kadar artar?

**Çözüm;**

$$N_1 = N(t_1) = N_0 \exp\left(-\frac{K-1}{\tau} t_1\right)$$

$$N_2 = N(t_2) = N_0 \exp\left(-\frac{K-1}{\tau} t_2\right)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(\frac{K-1}{\tau} (t_2-t_1)\right) = \exp\left(\frac{0.005}{0.1} 10\right) = \sqrt{e}$$

Bu araştırmalar gösteriyor ki  $f(x) = a^x$  şeklindeki atom ve nükleer fiziğin bir çok uygulamalı problemlerinin çözümünde ve anlatılmasında büyük önem taşımaktadır.

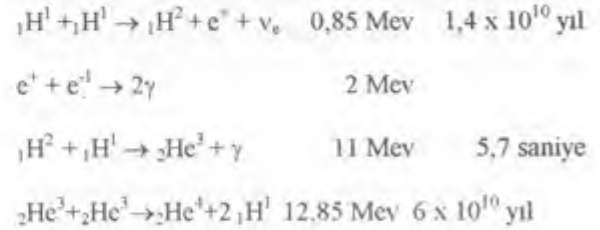


# Pulsarlar

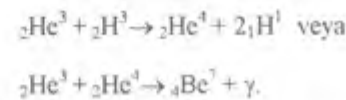
Rafet KAMER

Pulsarlar, yıldızlar arasında ilginç konuma sahiptir. Pulsarların bazı özelliklerini, hangi yıldızların evrimin sonucu meydana geldiklerini ele alalım. Bugün yıldızların toz ve gaz bulutlarında meydana gelen gravitasyonel dengesizlikler sonucu oluştuğu kabul edilmektedir. Toz ve gaz bulutlarını oluşturan madde içe çökme sonucu sıkışmaya başlar ve sıcaklığı devamlı artar. Toz ve gaz bulutlarının yoğunluğu  $\rho = 2 \times 10^{-29} \text{ g/cm}^3$  civarında olduğu gözlemler sonucu tespit edilmiştir. Bir tanecik dairesel yörünge üzerinde hareket ederken merkezci kuvvet gravitasyon kuvvetine eşit olduğundan  $mv_0^2 / r = \gamma m M / r^2$  ( $\gamma$  gravitasyon sabiti), hız ve  $v_0 = \gamma M / r$ , protoyıldızın kütlesi  $M = \rho 4\pi r^3 / 3$ , taneciğin periyodu  $T_0 = 2\pi r / v_0 = (3\pi / \gamma\rho)^{1/2}$  olarak bulunur. Toz taneciklerinin düşme süresini değerlendirmek için üçüncü Kepler yasasını;  $T^2 / T_0^2 = a^3 / r_0^3$  kullanarak, maddenin büyük yarım eksenini ( $a = r_0 / 2$ ) çok dar elips üzerinde hareket ederek  $t = T / 2 = (3\pi / 32\gamma\rho) = 10^6$  yılda merkeze düştüğünü bulabiliriz. Yıldızın ilk etaptaki sıkışması ile meydana sıcaklık virial teoremi ile değerlendirilir. Bu teoreme göre mekanik dengede bulunan yıldız için ortalama ısı enerjisi  $W_m$  ve gravitasyonel enerjinin  $\Pi_{gr}$  sağladığı denklem  $2W_m + \Pi_{gr} = 0$  dır. (Bu enerjiye taneciklerin iç enerjisi girmemektedir) Bir yıldızın tüm enerjisi yıldızın kinetik ve gravitasyon potansiyel enerjisinin toplamıdır.  $-W = K + \Pi_{gr} = -K = \Pi_{gr} / 2$ . Eğer yıldızın enerji kaynağı ilk etapta gravitasyon etkisi ile sıkışmadan kaynaklanır ise, meydana gelen gravitasyon enerjisidir. Yarı kinetik enerjinin artması için, diğer yarı ise ışıtmaya gitmektedir. Yıldızın proton ve elektrondan oluştuğunu ve yoğunluk ile sıcaklığın tüm hacimde sabit olduğunu kabul edersek sıcaklık  $2N_3kT / 2 = \gamma Nm_p / R_g = 0$  denkleminde Güneş için  $(5-6) \times 10^6$  K hesaplanabilir. Gravitasyonel sıkışma yıldızın maddesi kızıl ötesi ışınlar için saydam olmadığından itibaren

yavaşlar ve sıcaklık artmaya başlar. Sıcaklık merkezi bölgelerden soğuk dış bölgelere ilk etapta konveksiyon yoluyla iletilmektedir. Yıldız oluşumunun yoğunluğu arttıkça ısı transferi giderek fotonlar sayesinde gerçekleşmeye başlar. Bu kadar yüksek sıcaklıklarda madde birbirinden ayrılmış pozitif ve negatif iyonlardan oluşan plazma şeklindedir. Sıcaklık artışı füzyon reaksiyonların başlamasına sebep olur. Bu füzyon reaksiyonları şiddetli çekirdek kuvvetlerinin etkisi ile gerçekleştirilip dört proton sonunda birleşip bir helyum çekirdeği oluşturur ve büyük miktarda enerji açığa çıkardığı bilinen bir kaç tane zincirleme reaksiyonlar meydana gelir. İlk etapta başlayan hidrojen-hidrojen zincirleme reaksiyonudur. Aşağıda verilen tabloda zincirin reaksiyonları, açığa çıkan enerji ve reaksiyonların gerçekleşmesi için gereken süreler bulunuyor.



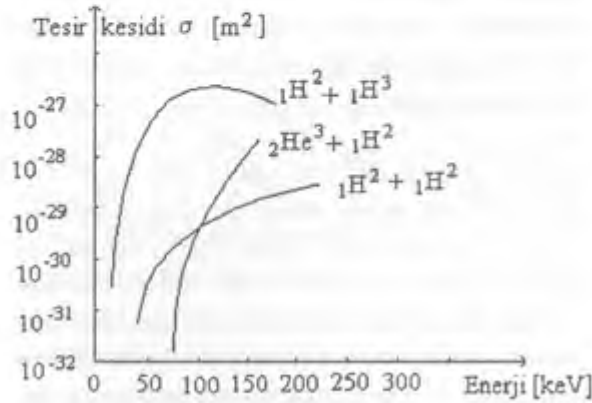
${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_1\text{H}^2 + e^+ + \nu_e$  reaksiyonunun tesir kesidi son derece küçüktür ve gerçekleşme zamanı çok büyüktür. İkinci reaksiyonun hemen gerçekleştiğini kabul edebiliriz. Üçüncü reaksiyon  ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + \gamma$  daha yüksek hız ile gerçekleşir.  ${}_2\text{He}^3$  iki farklı reaksiyonlarda yanabilir:



İki  ${}_2\text{He}^3$  çekirdeği birleşip bir  ${}_2\text{He}^4$  çekirdeği oluşursa reaksiyon zinciri burada biter.

Diğer seçenekte:

${}^4\text{Be}^7 + e^- \rightarrow {}^3\text{Li}^7 + \nu_e$ ;  ${}^3\text{Li}^7 + {}^1\text{H}^1 \rightarrow 2 {}^2\text{H}^4$  veya  ${}^4\text{Be}^7 + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^5\text{B}^8 + \gamma$ ;  ${}^5\text{B}^8 \rightarrow {}^4\text{Be}^8 + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^4\text{Be}^8 \rightarrow 2 {}^2\text{He}^4$  ile zincirleme reaksiyonu biter. Sonuç olarak bu reaksiyonda 4 proton,  ${}^2\text{He}^4$  çekirdeğe dönüşür ve 26,7 Mev enerji açığa çıkar.



Şekil 1

Bir reaksiyonun gerçekleşme olasılığı o reaksiyonun tesir kesidi ile veriliyor. Reaksiyona giren taneciklerin enerjisine bağlı olarak tesir kesidinin grafiği Şekil 1'deki gibidir. Çekirdek kuvvetleri sadece  $10^{-15}$  m mesafelerde etkili olabilir. Coulomb kuvveti itme sonucu iki hidrojen çekirdek arasında oluşan potansiyel bariyerin yüksekliği  $\Pi = q^2/4\pi\epsilon_0 r \approx 360$  keV veya sıcaklık  $T \approx 10^9$  K olarak hesaplanabilir. Şekil 1'le karşılaştırdığımızda füzyon reaksiyonları daha küçük -50 -100 keV enerjilerde gerçekleştiğini görebiliriz. Potansiyel engelin yüksekliğini düşüren ve daha düşük sıcaklıklarda füzyon reaksiyonu gerçekleştiren iki sebep vardır -kuantum mekaniksel tünelleme olayı ve istatistiksel Maxwell dağılımı. Tünelleme olayında tanecikler potansiyel engelin enerjisinden daha küçük enerjide füzyon reaksiyona girebilmektedirler. Maxwell dağılımı sonucu çekirdeklerin bir kısmı ortalama hızlardan çok daha yüksek enerjilere sahip olabilirler. Küçük bir sıcaklık artışı çok sayıda çekirdeğin daha yüksek hıza ulaşmasına sebep oluyor. Bu iki sebepten dolayı reaksiyonların gerçekleştirdiği sıcaklık iki merteye daha küçüktür. Bu iki faktör reaksiyonu birbirinden bağımsız olarak etkilemektedirler.

Diğer çok önemli enerji kaynağı karbon zincirleme reaksiyonudur. Burada  ${}^6\text{C}^{12}$  çekirdeği katalizator rolünü üstlenmiştir -reaksiyonun başlangıcında ve sonunda mevcuttur.

|  |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| ${}^6\text{C}^{12} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^7\text{N}^{13} + \gamma$          | 1,95 Mev | $1,3 \times 10^7$ yıl |
| ${}^7\text{N}^{13} \rightarrow {}^6\text{C}^{13} + e^+ + \nu_e$                      | 2,32 Mev | 7 dakika              |
| ${}^6\text{C}^{13} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^7\text{N}^{14} + \gamma$          | 7,54 Mev | $2,7 \times 10^6$ yıl |
| ${}^7\text{N}^{14} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^8\text{O}^{15} + \gamma$          | 7,35 Mev | $3,3 \times 10^8$ yıl |
| ${}^8\text{O}^{15} \rightarrow {}^7\text{N}^{15} + e^+ + \nu_e$                      | 2,71 Mev | 82 saniye             |
| ${}^7\text{N}^{15} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^6\text{C}^{12} + {}^2\text{He}^4$ | 4,96 Mev | $1,1 \times 10^5$ yıl |

Sonuç olarak bu reaksiyonda yine 4 proton  ${}^2\text{He}^4$  çekirdeğine kadar dönüşür ve 26,8 Mev enerji açığa çıkar. Küçük bir olasılıkla karbon zincirleme reaksiyonu devam edebilir -  ${}^7\text{N}^{15} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^8\text{O}^{16} + \gamma$ ;  ${}^8\text{O}^{16} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^9\text{F}^{17} + \gamma$ ;  ${}^9\text{F}^{17} \rightarrow {}^8\text{O}^{17} + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^8\text{O}^{17} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^7\text{N}^{14} + \rightarrow {}^2\text{He}^4$ . Bu iki zincirleme reaksiyonun dışında neon zincirleme reaksiyonu da bilinmektedir -  ${}^{10}\text{Ne}^{20} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{11}\text{Na}^{21} + \gamma$ ;  ${}^{11}\text{Na}^{21} \rightarrow {}^{10}\text{Ne}^{21} + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^{10}\text{Ne}^{21} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{11}\text{Na}^{22} + \gamma$ ;  ${}^{11}\text{Na}^{22} \rightarrow {}^{10}\text{Ne}^{22} + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^{10}\text{Ne}^{22} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{11}\text{Na}^{23} + \gamma$ ;  ${}^{11}\text{Na}^{23} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{10}\text{Ne}^{20} + {}^2\text{He}^4$ . Bu reaksiyonda  ${}^{10}\text{Ne}^{20}$  çekirdeği katalizator rolünü üstlenmiştir - reaksiyon başlangıcında ve sonunda mevcuttur. (Katalizator rolü oynayan çekirdekler  $\alpha$  çekirdeklerden oluşmuş gibi kabul edebiliriz.) Diğer bilinen zincirleme reaksiyon magnezyum-aluminyum zincirleme reaksiyonudur -  ${}^{12}\text{Mg}^{24}$  ve  ${}^{13}\text{Al}^{26}$  çekirdekleri katalizator rolü oynamaktadırlar. Bu reaksiyon başlangıçta  ${}^{12}\text{Mg}^{24} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{13}\text{Al}^{25} + \gamma$ ;  ${}^{13}\text{Al}^{25} \rightarrow {}^{12}\text{Mg}^{25} + e^+ + \nu_e$  ve  ${}^{12}\text{Mg}^{25} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{13}\text{Al}^{26} + \gamma$  başlar. Sonra reaksiyon iki farklı yollardan devam edebilir -  ${}^{13}\text{Al}^{26} \rightarrow {}^{12}\text{Mg}^{26} + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^{12}\text{Mg}^{22} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{13}\text{Al}^{27} + \gamma$ ;  ${}^{13}\text{Al}^{27} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{12}\text{Mg}^{24} + {}^2\text{He}^4$  veya diğer yol  ${}^{13}\text{Al}^{26} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{14}\text{Si}^{27} + \gamma$ ;  ${}^{14}\text{Si}^{27} \rightarrow {}^{13}\text{Al}^{27} + e^+ + \nu_e$ ;  ${}^{13}\text{Al}^{27} + {}^1\text{H}^1 \rightarrow {}^{12}\text{Mg}^{24} + {}^2\text{He}^4$ . Zincirleme reaksiyonun dışında hafif çekirdeklerle gerçekleşen reaksiyonlar da bilinmektedir. Bu çekirdekler tamamen yanmaktadır ve reaksiyonun sonunda zincirleme reaksiyonlar gibi kendilerini yaratmamaktadırlar ve bu sebeple yıldızının ömrü ile kıyaslanarak kısa bir sürede

## KAMER

yanıp tamamen tükenirler. Son reaksiyonlar özellikle yıldızların evriminin sonlarında gerçekleşir. Yıldızların olağanüstü büyük boyutları ve kütleleri füzyon reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli ısı izolasyonu ve plazmanın belli bir hacimde tutması için şarttır. Yıldızlarda en çok rastlanan yakıt hidrojenidir. Bir yıldızın kütlesi ne kadar büyük ise o kadar yakıtı daha hızlı tüketir. Yıldızların özellikleri (yarıçap, kütle, parlaklık) genelde çok az ve yavaş değişmektedirler. Değişimlerin yavaş gerçekleşmesi bu yıldızın tüm evrimi için geçerli olduğu demek değildir. Yıldızların belli dönemlerde çok hızlı evrim geçirdiği bilinmektedir. Bu dönemlerdeki yıldızın kaderi onun kütlesine bağlıdır. Yıldızın sonu beyaz cüce, pulsar, kara delik, kırmızı dev, nova veya süpernova olabilir.

Bugünkü bilgilerin sayesinde yıldızın oluşumunda başlangıç kütlesi  $0,3M_{\odot}$ 'den ( $M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$  kg Güneşin kütlesidir.) küçük ise sadece  ${}^3\text{He}$  çekirdekleri sentez olabilirler. Yıldızın oluşumunda başlangıç kütlesi  $3M_{\odot}$  küçük ise  ${}^3\text{He}$  ve  ${}^4\text{He}$  çekirdekleri sentez olabilirler. Yıldız oluşumunda başlangıç kütlesi  $3M_{\odot}$  den büyük olan yıldızların evrimi en büyük ilgiyi çekmektedir. Yıldızlarda hidrojenin helyuma kadar yanmasıyla başlayan füzyon prosesleri zaman geçtikçe şiddetlenir ve zamanla yıldızın merkezinde helyumca zengin bir çekirdek oluşur. Çekirdeğin etrafında bulunan dış bölgeler hidrojenle çok zengindir ve füzyon reaksiyonları bu dış bölgelere kaymaktadır, çekirdekte ise füzyon reaksiyonlar dururlar. Bunun sonucu ise dış bölgelerinin şişmesidir ve yıldızın kızıl deve dönüşmesidir. Bu yıldızlarının boyutları ve parlaklıkları çok büyük değerler alabilmektedirler. Dış bölgelerdeki hidrojenin yanmasıyla helyum miktarı çekirdekte artmaya devam etmektedir. Bu helyumdan oluşan çekirdeğin gravitasyonel sıkışması da artmaktadır. Sonuç olarak çekirdeğin yoğunluğu ve sıcaklığı da artmaya başlar.  $\rho = 10^6$  g/cm<sup>3</sup> ve  $T = 10^8$  K° değerlere ulaştığında helyum karbon ve daha ağır elementlere kadar yanmaya başlar. Çok kısa süre için kararlı olmayan  ${}^8\text{Be}$  çekirdeği iki helyum çekirdeğin birleşmesi ile oluşuyor -  ${}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^4\text{He}^4 \leftrightarrow {}^8\text{Be}^8$  - 95 keV. Bu çekirdek iki  ${}^2\text{He}^4$  bozulabilir veya

daha bir  ${}^2\text{He}^4$  çekirdek ile reaksiyona girip uyarılmış  ${}^6\text{C}^{12}$  çekirdeği meydana gelebilir -  ${}^4\text{Be}^8 + {}^2\text{He}^4 + 363$  keV  $\rightarrow {}^6\text{C}^{12}$ .  ${}^6\text{C}^{12}$  çekirdeğindeki uyarılma bir fotonun ısıtmasıyla giderilir ve meydana 7,68 MeV enerji çıkar -  ${}^6\text{C}^{12} \rightarrow {}^6\text{C}^{12} + \gamma$ . Sonuç olarak 7,22 MeV enerji açığa çıkar. Helyumun yanması sıcaklık arttıkça hızlanıyor ve  $10^8$  K° üstündeki sıcaklıklarda belirleyici faktör olur.  ${}^6\text{C}^{12}$  çekirdeklerin birikmesi ile  ${}^2\text{He}^4$  başka reaksiyonlarda da yanmaya başlar :  ${}^6\text{C}^{12} + {}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^8\text{O}^{16} + \gamma$ ;  ${}^8\text{O}^{16} + {}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^{10}\text{Ne}^{20} + \gamma$ ;  ${}^{10}\text{Ne}^{20} + {}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^{12}\text{Mg}^{24} + \gamma$ ;  ${}^{12}\text{Mg}^{24} + {}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^{14}\text{Si}^{28} + \gamma$ ;  ${}^{14}\text{Si}^{28} + {}^2\text{He}^4 \rightarrow {}^{16}\text{S}^{32} + \gamma$ ; Reaksiyonların devam etmesi için daha yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Sonuç olarak helyum tamamen tükenir. Yıldızların uzun ömürlü olmasını sağlayan sebep foton ve gravitasyon basıncının dengelenmesindedir. Ağır elementlerin oluşmasıyla bu denge bozulur. Artık foton basıncı gravitasyon basıncını dengeleyemeyecek kadar az kalır. Gravitasyon basıncına karşı koyacak tek basınç yıldızın oluşturan maddenin oluşturduğu basınçtır. Büyük yoğunluklardaki madde sadece çekirdek ve elektronlardan oluşmuştur. Basınç hareket eden çekirdek ve elektronlardan ve onların kuantum hareketinden kaynaklanır. Yıldızın evriminin bu aşamadaki basınç en çok elektronlardan kaynaklanır. Elektronlar fermion tanecikler olduğu için,  $T=0$  olduğu durumda bile dejenere dediğimiz gaz oluşturmaktadırlar. Böyle gaz için relativistik olmayan durumda basınç ile yoğunluk arasındaki bağıntı  $P \sim \rho^{5/3}$  ile veriliyor. Relativistik olmayan durumda elektron gazının basıncı her durumda gravitasyon basıncını dengeleyebilir. Ne var ki yoğunluk  $\rho \gg 10^6$  g/cm<sup>3</sup> ise elektron gazı artık ultrarelativistik gaza dönüşüyor ve basınç ile yoğunluk arasındaki ilişki  $P \sim \rho^{4/3}$  ile veriliyor. Bu durumda yıldızın kütlesi belli kritik değer ( $M \approx 1,44 M_{\odot}$ ) altında ise elektron gazının basıncı gravitasyon basıncını dengeleyebilir. Bu tip yıldızlar beyaz cüce olarak bilinmektedirler.

Yıldızın kütlesi bu kritik değer üstünde ise elektron gazının basıncı gravitasyon basıncını dengeleyemez. Sıcaklık  $3 \times 10^9$  K olduğunda daha ağır elementler arasında reaksiyonlar başlamaktadır -  ${}^6\text{C}^{12} + {}^6\text{C}^{12} \rightarrow {}^{11}\text{Na}^{23} + {}^1\text{H}^1$ ;  ${}^6\text{C}^{12} + {}^6\text{C}^{12} \rightarrow {}^{10}\text{Ne}^{20}$

+  ${}^2_2\text{He}^4$ ;  ${}^6_6\text{C}^{12} + {}^6_6\text{C}^{12} \rightarrow {}^{12}_{12}\text{Mg}^{23} + {}^0_0\text{n}^1$ ;  ${}^8_8\text{O}^{16} + {}^8_8\text{O}^{16} \rightarrow {}^{16}_{16}\text{S}^{32} + \gamma$ ;  ${}^8_8\text{O}^{16} + {}^8_8\text{O}^{16} \rightarrow {}^{16}_{16}\text{S}^{31} + {}^0_0\text{n}^1$ ;  ${}^{14}_{14}\text{Si}^{28} + {}^{14}_{14}\text{Si}^{28} \rightarrow {}^{28}_{28}\text{Si}^{56} + \gamma$ . Bilindiği gibi doğada en kararlı (yani bir nükleona düşen bağlanma enerjisi en büyük) elementler demir grubundan olan demir, kobalt ve nikelidir. Burada füzyon reaksiyonları artık kesiliyor ve maddenin nütürleşmesi başlıyor. Nikel, kobalt ve demir çekirdeklerinin yoğunluğu  $1,2 \times 10^9 \text{ g/cm}^3$  den büyük olduğunda elektron yakalamaya ve nötrino ışınlamaya başlarlar:  ${}^{28}_{28}\text{Ni}^{56} + e^- \rightarrow {}^{27}_{27}\text{Co}^{56} + \nu_e$ ;  ${}^{27}_{27}\text{Co}^{56} + e^- \rightarrow {}^{26}_{26}\text{Fe}^{56} + \nu_e$ ;  ${}^{26}_{26}\text{Fe}^{56} + e^- \rightarrow {}^{25}_{25}\text{Mn}^{56} + \nu_e$ ;  ${}^{25}_{25}\text{Mn}^{56} + e^- \rightarrow {}^{24}_{24}\text{Cr}^{56} + \nu_e$ . Bu reaksiyonlar  ${}^{12}_{12}\text{Mn}^{56}$  çekirdeğinin oluşmasına kadar devam etmektedirler. Böylece elektronların sayısı ve onların basınçtaki desteği azalmaya başlıyor. Yıldızdaki çekirdeğin yoğunluğu artmaya devam ediyor. Yoğunluk  $4 \times 10^{11} \text{ g/cm}^3$  olduğunda  ${}^{12}_{12}\text{Mn}^{56}$  çekirdekleri nötronlarca çok zengin oldukları için nötron ve nötrino ışınlamaya başlar:  ${}_Z\text{X}^A + e^- \rightarrow {}_{Z-1}\text{X}^{A-1} + {}^0_0\text{n}^1 + \nu_e$ . Aynı zamanda fotodisosiyasyon dediğimiz prosesler de başlamaktadırlar:  $\gamma + {}^{56}_{26}\text{Fe}^{56} \rightarrow 13 {}^4_2\text{He}^4 + {}^0_0\text{n}^1 - 124 \text{ Mev}$ ;  $\gamma + {}^{56}_{26}\text{Fe}^{56} \rightarrow 26 {}^1_1\text{H}^1 + 30 {}^0_0\text{n}^1 - 493 \text{ Mev}$ . Bu proseslerini gerçekleştirmek için gereken fotonlar sıcak merkezi bölgelerden temin edilmektedirler. Sıcaklık buna rağmen gravitasyon sıkışması sonucu artmaya devam etmektedir, ama bu artış biraz daha yavaştır. Fotodisosiyasyon hızı çok yüksektir -  $4 \times 10^9 \text{ K}^\circ$  sıcaklığında proses 10 saniyede,  $7 \times 10^9 \text{ K}^\circ$  sıcaklığında ise proses  $10^{-6}$  saniyede bitmektedir. Fotodisosiyasyon prosesleri ile çıkan nötrino ve antinötrino sayesinde yıldızda bir kaç saniyede veya bir kaç salisede maddeden soğutulan enerji yıldızın tüm ömründe ışınlanan enerji ile mukayese edecek miktardadır. Sonuç olarak iç basınç birden düşmektedir ve yıldız ısıl ve hidrostatik dengesini kaybetmektedir. Yoğunluğun artması ile daha ve daha çok serbest nötron meydana gelmektedir ve madde giderek nötronlarca daha zengin hale gelmektedir. Yıldız hayatına ilk olarak başladığında homojen bir yapıya sahiptir. Evrimin bu noktasında ise yıldız hiç de homojen olmayan ve

tabaka şeklinde bantlardan oluşmaktadır. Yıldızın içindeki çekirdek demir ve nötronlarca zengin, dış bölgeler ise hidrojenle zengindir. Dış bölgedeki sıcaklık nükleer reaksiyonların gerçekleşmesi için çok düşüktür. Bir taraftan yıldız çekirdeğinde reaksiyonlarda meydana gelen enerji ve dolayısıyla oluşan foton basıncı sürekli azalırken, diğer taraftan büyük miktarda nötrino meydana gelir ve sonuç olarak yıldızın merkezindeki çekirdek soğumaya başlar. Bununla beraber bu çekirdeğin içindeki basınç azalmaya başlar ve hidrostatik dengeyi yeniden sağlaması için yıldızın merkezdeki çekirdeğin boyutları azalmaya başlar. Sıkışma esnasında artmaya devam eder, çıkan nötrino sayısı sıçrayarak artırıyor ve çok kısa bir zaman için dış bölgeler merkeze doğru düşmeye başlıyor. Bu düşmenin süresi bir kaç salise, korkunç patlamada çıkan enerji miktarı  $10^{52} \text{ J}$  ve %99 nötrino çıktığı kabul edilir. Merkezdeki çekirdeğin sıkışması  $2 \times 10^{11} \text{ K}$  sıcaklığında ve  $10^{14} \text{ g/cm}^3$  yoğunlukta son bulur. Bu kısa sürede yıldızın çekirdeğini saran bölgelerde karbonun ve oksijenin zincirleme füzyon reaksiyonu başlar ve inanılmaz güce darbeli bir dalga içerden dışarıya doğru yayılmaya başlar. Bu dalga dış bölgelerdeki gazı çok yüksek hızla yıldızdan uzaklaştırmaya başlar. Bu patlama nova ve süpernova olarak bilinmektedir.

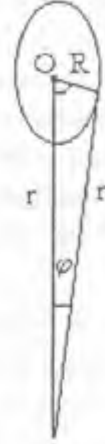
Nova ve süpernova patlamalarında yıldızın merkezinde dış bölgelere enerji taşıyan mekanizma şok dalgalarıyla açıklanabilir. Şok dalganın özelliklerini açıklamak için gazın belirli bir hacimde aniden çok büyük enerji açığa çıkardığını kabul edebiliriz. Bu olaya patlama diyebiliriz. Patlama esnasında gazın parametreleri -sıcaklık, basınç ve yoğunluk- bu hacimde sıçrayarak artarlar. Ortamın daha düşük basıncı yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan bu hacimdeki gazı dengeleyemez ve gaz soğuk tarafa genişlemeye başlar. İki ortamı ayıran hareket eden sınıra şok dalga, ortamın parametrelerinin sıçrayarak değiştiği yüzeye şok dalganın cephesi deniliyor. Şok dalganın hızı o ortamın ses hızından daha büyüktür. Bu sebeple ses dalgaları cepheden geride kalmaktadırlar, şok dalgası ise ortamın yoğunluğu ve sıcak-



lığını artırmaya başlar. Patlamada meydana çıkan enerji  $W$ , patlamadan önce ve şok dalgasının cephesi önündeki basınç  $P_1$  ve yoğunluk  $\rho_1$ , adyabatik katsayısı  $\gamma$ , iki bağımsız değişken de merkezden  $r$  ve zaman  $t$  olsunlar. Şok dalgası cephesi arkasındaki hız  $u_2$ , basınç  $P_2$ , yoğunluk  $\rho_2$  olsun. Momentum korunma kanunu  $(u_2 - u_1)^2 = (P_2 - P_1)(1/\rho_1 - 1/\rho_2)$ , birim kütledeki iç enerjisinin değişimi  $W_2 - W_1 = (P_2 + P_1)(1/\rho_1 - 1/\rho_2)/2$  olarak yazılabilir. Şok dalgalar için  $P_2 \gg P_1$  ve  $W_2 - W_1 = (u_2 - u_1)^2/2$  olur. Böylece kinetik enerjinin artışı hemen hemen şok dalgadan geçen maddenin kinetik enerjisine eşittir. Birim analizi sonucu iki bağımsız kombinasyon yaratılabilir. Birisi  $\beta = r(\rho_1/Wt^2)^{1/5}$  mesafe ile ilgili. (Burada  $\beta$  katsayısı adyabatik katsayısı  $\gamma$  bağlı olup  $\gamma \approx 1$  değeri almaktadır) Diğer kombinasyon ise zamanla ilgilidir:  $\tau = tP_1^{5/6}/W^{1/3}\rho_1^{1/3}$ . Şok dalganın yıldızın merkezine veya hareketsiz koordinat sisteme göre uzaklığı  $r = \beta(Wt^2/\rho_1)^{1/5}$ , her andaki hızı ise  $u = dr/dt = 2r/5t = 2\beta/5(Wt^3/\rho_1)^{1/5}$ , olarak verilir.

Dış bölgelerin merkeze düşmesiyle başlayan basınç dengesizlik, basıncın artışıyla yavaşlar ve dış bölgenin iç kısmı geriye doğru harekete başladığında, en dış bölgeler merkeze doğru düşmeye devam etmektedir. Böylece şok dalga merkezden belli bir mesafede meydana gelmektedir. Şok dalga ile hareket eden gözlemciye göre dış bölgelerdeki seyrek madde dalgadan geçerek yüksek sıcaklığa kadar ısıtır, yoğunluk ise 4-7 kere artmaktadır. Şiddetli şok dalga modelinde  $\rho_2 = [(\gamma + 1)/(\gamma - 1)]\rho_1$ ,  $u_2 = 2u/(\gamma - 1)$ ,  $P_2 = \rho_1 u^2/(\gamma - 1) \approx \rho_1 (W^2/t^6 \rho_1)^{1/5}$ ,  $T_2 = 2[(\gamma - 1) / (\gamma + 1)^2] \mu u^2 / R \approx [(\gamma - 1) / (\gamma + 1)^2] \mu (W^2/t^6 \rho_1)^{1/5} / R$  olarak verilir. Dalganın manyetik alanı da artmaktadır -  $H_2 = [(\gamma + 1)/(\gamma - 1)]H_1$  Eğer yıldızın atmosferinde veya kozmik uzayda 100 km/s hızı ile bir dalga hareket ederse, dalganın cephenin arkasındaki sıcaklık  $10^5$  K, dalganın hızı 1000 km/s ise sıcaklık artık  $10^7$  K'ye geçer. Bu kadar yüksek sıcaklıklarda gazın yaptığı aşamadaki maksimum röntgen ışımaya düşmektedir. Süpernovanın ilk aşamasında güçlü röntgen ışını kaynağı olduğu teorik ve gözlemsel olarak kanıtlanmıştır.

## PROBLEMLER



Şekil: 2

1. Kozmolojik ölçülerde uzaklaşan bölgelerle ilgili ilginç bir olay meydana gelmektedir. Ender de olsa fırlatılan dış bölgelerdeki ölçülen hız ışık hızından yüksek olabilir. Fırlatılan dış bölgeler simetrik olarak  $v$  hızı ile uzaklaştığı kabul edilebilir. Dünyadan gözlenen genişleyen dış bölgeler  $\phi$  açısı ile gözlenmektedir. Bu açı ise  $\Omega$  hızı ile artmaktadır. Burada  $\phi$  ve  $\Omega$  gözlenebilen ve ölçülebilen büyüklüktedir. Süper-

vovaya kadar mesafe çok büyük ise fırlatılan maddenin çizdiği sınırın ölçülen hız  $u_1 = \Omega r$  bazı durumlarda ışık hızından daha büyük olabilir. Gazların fırlatılması O noktasında olsun. Dünya ile süpernova arasındaki mesafe  $r$  ise  $u_1$  hızının maksimum değerini  $v$  ve  $c$  cinsinden bulunuz.

**Cözüm 1.** O noktasında gerçekleşen patlama  $r$  mesafesini kat ettikten sonra kaydedici aletten kaydedilebilir ve o andan itibaren ölçümler başlayabilir.  $t$  zaman sonra cihaz patlamayla harekete geçen dış bölgelerden merkezden  $R$  mesafede bulunan ön cepheden belli bir noktayı görüntüler. Patlama noktasından bu noktaya dalga  $R/v$  süresi ile gelmiştir. Bu noktadan cihaza kadar mesafe ise  $((r - R \cos \theta) / c)$  hızı ile alınmaktadır. Böylece kaydedilen sinyal zaman için  $r/c + t = R/v + (r - R \cos \theta) / c$  denklemini yazabiliriz. Buradan  $t$  zaman sonra uzaklaşan dış bölgelerinin yarıçapı  $R = vt / [1 - (v/c) \cos \theta]$  olarak bulunur.  $1 - (v/c) \cos \theta$  terimi ışık hızının sınırlanmasından kaynaklanmaktadır. Genişleyen dış bölgelerinin hızı  $u = dR/dt$ , görülen hız  $u_1 = (dR/dt) \sin \theta = v \sin \theta / [1 - (v/c) \cos \theta]$ , görülen açısal hız ise  $\Omega = d\phi/dt = u_1/r$ .  $u_1$  hızının maksimum değeri  $du_1/d\theta = 0$  şartından bulunabilir.  $\cos \theta_{\max} = v/c$  ve  $u_{1,\max} = v / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$  olarak bulunur.



Şekil: 3

2. Süpernovanın patlamasında çok yüksek ultrarelativistik enerjiye sahip kozmik ışınlar meydana gelmektedir. Bu kozmik ışınlardaki tanecikler ışık hızına yakın bir hız ile hareket etmektedirler. Süpernovanın patlamasında dış bölgelerinin hızı ne kadar da büyük olursa olsun asla böyle değerlere yaklaşamaz. Belli ki taneciklerin hızlandırılması için başka bir mekanizma ile açıklanması gerekir. Süpernovanın patlamasında ve galaksilerin merkezlerinde gerçekleşen tüm şiddetli süreçlerde meydana gelen elektromanyetik dalgalarının genlikleri ve dolayısıyla oluşan potansiyel kuyusunun potansiyel enerjisi veya derinliği  $\Pi$  çok büyük olabilir. Şekil: 3 Böyle hareketli bir potansiyel kuyusunda bulunan bir tanecik çok yüksek enerjilere kadar hızlandırılabilir. Relativistik olmayan, relativistik ve ultrarelativistik durum için taneciğinin kazandığı enerjiyi bulunuz. (American Association of Physics teachers, Vol. 61, 1993)

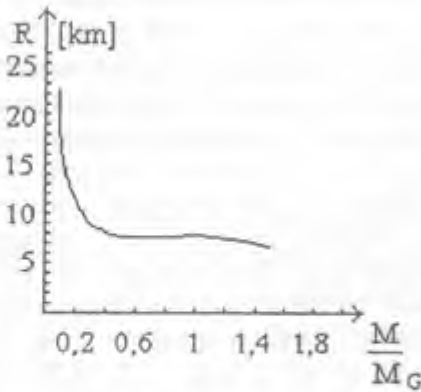
**Çözüm 2.** Tanecik potansiyel kuyunun potansiyel enerjisinden  $\Pi = mv^2/2$  kadar enerji kazanabilir. Taneciğinin ilk hızı  $v_0$  ise son hız  $v = v_0 + v' = v_0 + (2\Pi/m)^{1/2}$ . Kazanılan enerji  $\Delta K = K - K_0 = \Pi + (2mv_0^2\Pi)^{1/2}$ . Relativistik durum için tam enerji kendi referans sisteme göre  $W = m_0c^2 + \Pi'$ , hareketli potansiyel kuyunun yeni derinliği  $\Pi' = \gamma\Pi$  durgun enerji  $W_0 = m_0c^2$ , relativistik momentum  $p' = (W'^2/c^2 - m_0c^2)^{1/2}$  olarak verilir.  $v_0$  hızı ile hareket eden referans sisteme göre enerji  $W = \gamma(W_0 + v_0p')$ , kazanılan enerji  $\Delta K = W - W_0 = \gamma m_0c^2 [\gamma\Pi/m_0c^2 + v/c[(1 + \gamma\Pi/m_0c^2)^2 - 1]^{1/2} - 1]$  olarak bulunur. Ultrarelativistik durum için  $v/c \approx 1$  ve  $\Delta K = 2\gamma^2\Pi \gg \Pi$

Süpernovanın patlamasından sonra yıldızdan küçük ama ağır bir çüce tipi yıldız oluşur. Bu oluşan çüce yıldızın evrimi yıldızın kütesine bağlıdır. Yıldızların kütleleri  $(1,5-2)M_\odot$  sınırları içinde ise yıldızların sonu nötron yıldız olarak bilinmektedir. Yıldızın o andaki kütesi daha büyük ise yıldızın sonu kara yıldızdır. Bu kütlede gravitasyon basıncı

foton basıncından daha büyük olmaktadır ve yıldız merkeze doğru sıkışmaya başlar (çökme). Artan basınç demir çekirdeklerinin radyoaktif bozulmasını hızlandırır. Bu radyoaktif bozulma artan basıncın etkisi ile protonların elektronlarla birleşmesi ile son bulur -  ${}_1^1\text{H} + e^- \rightarrow {}_0^1\text{n} + \nu_e$ ;  $e^- e^- \rightarrow \gamma e + \gamma e$ ;  $\Pi \rightarrow \gamma e + \gamma e$ . Burada  $\Pi$  ile plazmanın titreşimlerinin kuantıdır. Böylece protonların ve elektronların sayısı gitgide azalır nötronların sayısı ise artmaya devam eder. Bir nötron yıldız meydana geldiğinde sıcaklık  $10^{12}$  K°, bir saniye sonra  $10^{10}$  K, beş dakika sonra  $5 \times 10^7$  K°, bir yıl sonra  $10^7$  K° ve  $5 \times 10^5$  yıl sonra  $10^6$  K° kadar düşmektedir. Güneşin sıcaklığı sadece  $6 \times 10^3$  K° olduğuna göre, nötron yıldızlardan birim yüzeyden yayılan enerjinin ne kadar büyük olduğu verilen sıcaklıklar yeterli bir kanıttır. Buna rağmen nötron yıldızların ışık akısı küçük boyutlardan dolayı son derece küçüktür ve bu sebepten dolayı nötron yıldızların keşfedilmesi zorlaşır.

3. Kuantum mekanik hareketinden dolayı bu nötronların bir basıncı mevcuttur ve bu basınç gravitasyon basıncına karşı koymaktadır. Nötronlar fermiyon tanecikleri oldukları için onlara Pauli prensibi geçerlidir. Pauli prensibine göre aynı spine sahip iki nötron aynı enerji seviyesinde aynı sistemde bulunamazlar. Bu sistem yıldız ise çökme sonunda dengeye ulaşır bütün nötronlar bir ultrarelativistik gaz gibi davranmaya başlarlar. Nötronların oluşturduğu basıncı bulmak için bütün N sayıda nötronlar V hacimdeki bir bölgede en düşük enerji seviyesinde bulunduğunu kabul edelim (sıcaklık  $T = 0$  kabul edilebilir). V hacimdeki nötronların toplam enerjisini, basıncı ve adyabatik katsayısını bulunuz. Çok yüksek sıcaklıklarda bu nötron gazı ultrarelativistik bir gaz olmaktadır. Bu durumda nötron gazının oluşturduğu basınç ve adyabatik katsayısını bulunuz.

**Not:** Momentum uzayında bir nötrona düşen hacim  $h^3$  olarak verilir. Momentum uzayında nötronlar sıfır momentumdan  $p_{\max}$  momentuma kadar değer almaktadırlar. Momentum uzayında  $p$  ve  $p+dp$  momentumları arasındaki nötron sayısı küresel koordinatlarda  $dN = (2V \times 4\pi p^2 dp)/h^3$  ile verilmektedir. 2 faktörü spinin iki yönü belirtmektedir. ( $p_{\max}$  yüzeyi Fermi yüzeyi olarak bilinmektedir)



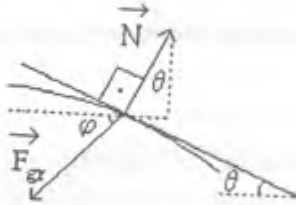
Şekil: 4

**Çözüm 3.** Taneciklerin sayısından  $N = \int_0^{P_{\max}} V 8\pi p^2 dp / h^3 = 8\pi V p_{\max}^3 / 3h^3$ , maksimum momentum  $P_{\max} = (3Nh^3/8\pi V)^{1/3}$  bulunur. Gazın toplam enerjisi relativistik olmayan durum için  $W = \int_0^{P_{\max}} (pc) dN = \int_0^{P_{\max}} V c 4\pi p^3 dp / h^3 = 2\pi V c p_{\max}^4 / h^3 = 3hc(3N^4/\pi V)^{1/3} / 8\pi$  ve basınç  $P = -dW/dV = hc(3/\pi)^{1/3} (N/V)^{4/3} / 8\pi = PV^\gamma \gamma = 4/3$  olarak bulunur. Ultrarelativistik gazdaki bir nötronun enerjisi  $W = pc$ , nötron gazın toplam enerjisi ise  $W = \int_0^{P_{\max}} (pc) dN = \int_0^{P_{\max}} V c 4\pi p^3 dp / h^3 = 2\pi V c p_{\max}^4 / h^3 = 3hc(3N^4/\pi V)^{1/3} / 8\pi$  ve basınç  $P = -dW/dV = hc(3/\pi)^{1/3} (N/V)^{4/3} / 8\pi = PV^\gamma \gamma = 4/3$  olarak bulunur.

Nötron yıldızlarının kütleleri ve yarıçapları arasındaki bağıntı bunu gösterir ki, bu yıldızlarının kütlesi ne kadar küçük ise o kadar onların yarıçapları büyüktür. *Bak. Şekil:4.* Nötron yıldız dememize rağmen bu yıldızların iç yapısı hayli ilginçtir. Yıldızın en dış bölgesinde bir nevi atmosfer gibi 1m kalınlıkta gaz bandı bulunmaktadır. Bu bant tamamen iyonize edilmiş atomlar ve serbest elektronlardan oluşmuştur. Bu atmosferin altında 1-2 km kalınlıkta kristal hücreli yapıya sahip katı bir katman bulunmaktadır. Bu katmanın üst kısmı demir ve atom numaraları 42 ile 140 arasında değişen ağır elementlerden oluşmaktadır. Bu elementlerin arasında hala laboratuvarlarda sentez edilmemiş uran serisinin bazen elementleri bulunmaktadır. Bu katmanda demir çekirdeklerin sayısı diğer çekirdeklere göre en çoktur. Az da olsa helyum çekirdekleri de bulunmaktadır. Çekirdeklerin pozitif yükünü nötralle etmek için çok yoğun ultrarelativistik elektron gazı mevcuttur. Bu katmanın alt kısmında ağır çekirdeklerin sayısı artmaya başlar. Yoğunluk  $3 \times 10^{11}$  g/cm<sup>3</sup> olduğunda bu çekirdekler kararlıklarını yitirip nötron ışınlamaya

başlarlar. Nötronların sayısı ağır elementlerin sayısına göre yavaş yavaş artmaya başlar. Bu katmanın altında sadece nötronlardan oluşan ve 5-10 km kalınlıkta ve süperakışkan özelliklere sahip bir katman bulunur. Bu katmandaki yoğunluk  $3 \times 10^{14}$  g/cm<sup>3</sup> değere ulaşmaktadır. Nötron yıldızın merkezinde 1-2 km çapında, çekirdekte bulunan nötronlar ve elektronlar çok yüksek enerjiye sahip ve bu basınçta ve sıcaklıkta kararlı olan elementer tanecikler meydana getirmektedirler. Bu çekirdekte bol miktarda çok ağır  $\Sigma$  hiperon ve  $\mu$  mezonlar bulunmaktadır. Büyük bir ihtimalle en merkezi bölgelerde madde sıkı paketlenmiş kuarklardan da oluşabilir. Malesef bizim bilgilerimiz nötron yıldızların merkezlerde oluşan olağanüstü fiziki şartlarda elementer tanecikler arasındaki etkileşme için tamamen gerçeği yansıtan bir modelin geliştirmesi için yeterli değildir. Hiperon ve mezon gazın basıncı çok yüksek olduğu için nötron yıldız aslında dev bir hızlandırıcı gibi çalışmaktadır ve ağır yüksek enerjili tanecikler üretmektedir. Meydana gelen yüksek enerjili tanecikler sayesinde ve  $e^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$ ,  ${}_0n^1 + {}_0n^1 \rightarrow {}_0n^1 + {}_1H^1 + e^- + \bar{\nu}_e$ ,  ${}_0n^1 + {}_1H^1 + e^- \rightarrow {}_0n^1 + {}_0n^1 + \nu_e$  reaksiyonları sayesinde nötron yıldız hızlı bir şekilde soğumaktadır. Nötrino tanecikleri yoğunluk çok yüksek olmadıkça engel tanmadan yıldızı terk etmektedirler. Nötron yıldızın yoğunluğu  $10^{12}$  g/cm<sup>3</sup> geçtiğinde (Bu nötron yıldızın yarıçapı 40 km ve hidrodinamik zaman  $\tau \approx 1$ ms demektir) yarıçap ve nötrino tanecikleri merkezde hapsolmeye başlarlar. Bu etki zayıf çekirdek kuvvetlerin nötr akımların varolmasından kaynaklanmaktadır. Nötrininin enerjisi 10 Mev ise bu şartlar altında nötrininin ortalama sebest yolu  $\lambda \approx 1,2$  km, difozionna aldığı yol bu şartlar altında 11 km olarak hesaplanmıştır. Bu kadar yüksek enerji ve sıcaklıklarda serbest olan kuantum orbitaller hızla doldurulmaktadır ve nötrininin hapsolmesi vurgu dalgası için son derece önemlidir. Nötrino vurgu dalgasının cephe bölgesinde yoğunluk  $10^{11}$  g/cm<sup>3</sup> düşmedikçe dışarı çıkamazlar ve geri yansırılar.  $e^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$  reaksiyonu ters yönde hızlı bir şekilde başlamaktadır.

4. Nötron yıldızlarının büyük bir ölçüde kütlelerini koruduğu ve boyutları olağanüstü küçük oldukları için, nötron yıldızının dönme hızları çok yüksek değerlere ulaşır. Açısalmomentumunun korunması sonucu  $(\omega_0 R_0^2 = \omega R^2)$   $\omega = \omega_0 (R_0/R)^2$ ,  $R_0 = 7 \times 10^5$  km,  $T_0 = 25$  gün ( $\omega_0 = 2\pi/T_0 = 3 \times 10^{-6}$

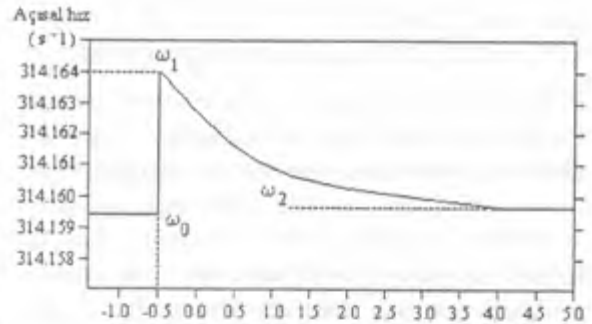


Şekil: 5

rad/s ve  $R = 10$  km ise  $\omega = 2640$  rad/s değere kadar ulaşması gerekir. Başka bir sözle, dönme hızı milyar kere artmaktadır. Sıkışma esnasında manyetik alan çizgilerin sayesinde uzaklaşan dış bölgelere açısal momentum aktarılır ve yıldızın dönme hızı daha küçüktür. Nötron yıldızının dönme periyodu  $T = 2 \times 10^{-2}$  olsun. Hızlı dönme sonucu yıldızın şekli dönme elipsoide davranması gerekir. İç bölgelerdeki nötron bir fluid gibi davrandığını ve kristal katı üst katman bu fluidin şeklini takip ettiği için, nötron yıldız hızı dönme sonucu hafif yassılmaya başlar ve elipsoid şekli almaktadır. Nötron yıldızının yarıçapı  $R_p$ ,  $R_e$  ekvatorun yarıçapı ise yassılma faktörü  $\xi = (R_p - R_e)/R_p$  olarak verilir. Nötron yıldızın sürekli enerji kaybı nedeni ile nötron yıldızının açısal hızı yavaşlamaya, yassılma faktörü ise azalmaya başlar. Yassılma sonucu katı olan dış kabuk iç fluidin şeklini takip etmekte olup şekil değişikliğini sürekli gerçekleştirememektedir. Bu katmanda biriken mekanik gerilim belli değere ulaştıktan sonra aniden sıçrayarak şekil değişiklikleri bir deprem şeklinde gerçekleşmektedirler. Bir yıldız depremi öncesinde, sırasında ve sonrasında yıldızın açısal hızının aniden değiştiğini deneysel olarak grafik Şekil : 5'te verilmiştir. Bu verilerden sıvı iç kısmının yarıçapını bulunuz. Kabuğun iç ve dış kısmının yoğunlukları eşit kabul ediniz. (ULUSLARARASI FİZİK OLİMPİYATLARI PROBLEMLERİ)

**Çözüm 4.** Yassılma faktörünü bulmak için kuvvetlerin analizini yapmak yeterlidir. Elipsoid üzerinde herhangi bir nokta için o noktaya ait yatay ve

dikey koordinat sistemi ele alalım. Yerel noktadan dönme eksenine geçirilen dik doğrultu yarıçapla  $\phi$  açısı, teğet olarak geçirilen yerel yatay ise dönme eksenine geçirilen dik doğrultu ise  $\theta$  açısı yapmaktadır. Yatay x ve y eksenine göre kuvvet bileşenlerini yazabiliriz -  $F_g \cos \phi - N \sin \theta = m \omega^2 x$ ;  $F_g \sin \phi - N \cos \theta = 0$ ;  $\cos \phi = x/R$ ;  $\sin \phi = y/R$ ;  $F_g = \gamma M/R^2$ ; eğim için  $\tan \theta = dy/dx$  ve  $\gamma M m x/R^3 - [\gamma M m y/R^3] dy/dx = m \omega^2 x$  denkleminde  $dy + (1 - \omega^2 R^3/\gamma M) x dx = 0$  elde edilir. Elipsin denklemi  $x^2/R_e^2 + y^2/R_p^2 = 1$  olarak verilir. Bu denklemin türevi  $x dx/R_e^2 + y dy/R_p^2 = 0$  bulunur. Karşılaştıktan sonra  $R_e^2/R_p^2 = 1 - \omega^2 R^3/\gamma M$  olduğunu bulabiliriz. Buradan yarıçapların oranı  $R_e/R_p = (1 - \omega^2 R^3/\gamma M)^{1/2} = (1 - \omega^2 R^3/2\gamma M)$  ve  $\xi = (R_p - R_e)/R_p = \omega^2 R^3/2\gamma M = 3,7 \times 10^{-4}$  bulunur. Şekil : 6



Şekil: 6

Katı katmanın orta bölgenin dış kısmı ile arasındaki iç sürtünme sonucu iki kısım aynı hızla dönmektedirler. Dönmenin yavaşlaması sonucu biriken gerilim deprem sayesinde azalır ve sonra katman ile iç bölge arasında bir dönme farkı meydana gelmektedir. Bir müddet sonra ikisi de aynı açısal hızı ile dönmeye başlar. Katmanın eylemsizlik momenti  $J_k$ , iç kısmın  $J_{iç}$  eylemsizlik momenti, eylemsizlik değişimi  $\Delta J$  ise  $J_k \omega_0 = (J_k - \Delta J) \omega_1$  ve  $(J_k + J_{iç}) \omega_0 = (J_k + J_{iç} - \Delta J) \omega_2$  yazabiliriz. Buradan  $\Delta J$  bulduktan sonra  $J_k/(J_k + J_{iç}) = [(\omega_2 - \omega_0) \omega_1]/[(\omega_1 - \omega_0) \omega_2]$  Nötron yıldızın eylemsizlik momentini  $R^2$  ile doğru orantılıdır. Buradan  $(R_w/R) = [1 - J_{iç}/(J_k + J_{iç})]^{1/2} = (1 - [(\omega_2 - \omega_0) \omega_1]/[(\omega_1 - \omega_0) \omega_2])^{1/2} = 0,95$  olarak bulunur.

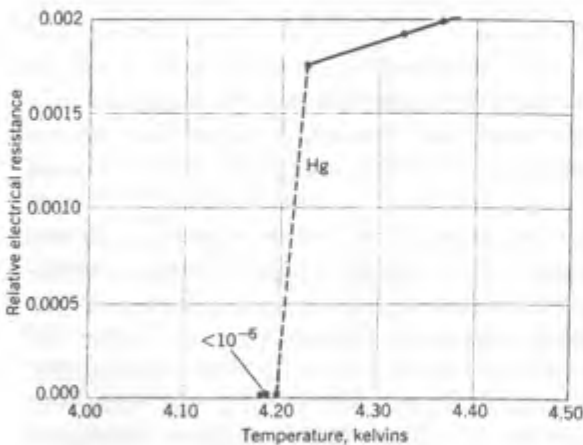


# Süperiletkenler

Tekin DERELİ

1911'de bir gün Hollanda'nın Leiden Üniversitesi'nde H. Kamerlingh Onnes ve asistanı Gilles Holst civayı o güne kadar kimsenin ulaşamadığı kadar düşük bir sıcaklığa getirdiklerinde cıvanın elektrik direncinin neredeyse yokolduğunu gördüklerinde gözlerine inanamadılar. Önce bir kısa devre nedeniyle ölçüm hatası yaptıkları kanısına kapıldılar. Deneyi bir kez daha tekrarladıklarında ve ancak cıvanın bir kritik geçiş sıcaklığı altına soğutulunca direncini yitirip tekrar ısıtılınca kazandığını gözlediklerinde o güne dek bilinmeyen yeni bir doğa olayı ile karşı karşıya olduklarına inanabildiler.

Bu ilk gözlem süperiletkenliğin bizlere sunduğu sürprizler zincirinin daha ilk halkasıdır. Bir sonraki adımda süperiletkenlerin de diğer bütün malzemeler gibi manyetik nitelikleri bulunduğu anlaşıldı. Süperiletkenler bir taraftan çok büyük manyetik alan şiddetlerine ulaşmak için kullanılabilirler, öte taraftan çok küçük manyetik alan şiddetlerini gözlemek, ölçmek ve kullanmak konusunda işe yararlar.



Şekil 1. Bu grafik, süperiletkenliğin keşfini tarif etmek için kullanıldı. Yatay eksen cıva örneğinin Kelvin cinsinden değerini, dikey eksen ise örneğin elektriksel direncini gösteriyor

Süperiletkenler bu olağandışı nitelikleriyle uygulamada daha çok yer edinemediyseler bunun nedeni 1986 yılına dek süperiletkenliği 20°K sıcaklıkta, yani -250°C'de gözlenebilmesidir. Bu denli düşük sıcaklıklara ulaşmanın zorluğu ve gerektirdiği masraf bile, daha yüksek sıcaklık süperiletkenliği bilinmeden önce bu konulara yatırım yapılmasını, uygulamalar aranmasını engellememiştir.

Uygulamaların bir ucunda parçacık hızlandırıcılarında kullanılan muazzam süperiletken mıknatıslar, diğer ucunda ise insan beyninin oluşturduğu inanılmaz zayıflıktaki manyetik alanları kaydedebilen SQUID'ler bulunmaktadır.

(SQUID = Superconducting Quantum Interference Device - Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtı)

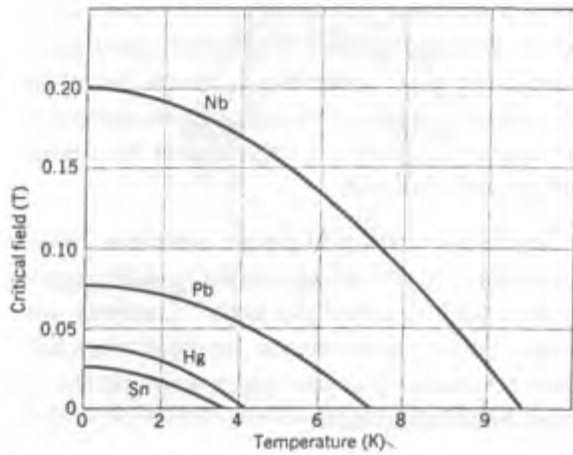
1987 yılında 90°K sıcaklıkta süperiletken yeni malzemelerin bulunmasıyla süperiletkenlik konusu yeni bir atılıma geçti.

## Mıknatıslar ve Büyük Ölçekli Uygulamalar

Bir elektromıknatıs sıfır verimli bir cihazdır. Genelde işlevi sabit bir manyetik alan oluşturmaktır. Bu süreçte verilen tüm enerjiyi ısı enerjisine dönüştürür. Elektromıknatısın sıfır verimli olduğuna diğer bir kanıt, eğer düşünürseniz, dışarıdan hiç enerji almadan manyetik alan oluşturan sürekli mıknatısların varlığıdır. Aslında her bir elektron minik bir sürekli mıknatıs gibidir. Bizler her malzemede manyetik özellik gözlemleyemiyorsak, bunun nedeni elektronların farklı yönlene manyetik alanlarının ortalamada birbirini yok ederek net bir dış manyetik alan oluşturmamasındandır. Demir ve demir gibi diğer "manyetik" malzemenin içindeki elektronlar aynı yöne dizilerek net bir dış manyetik alan oluştururlar. Fakat sürekli mıknatıslarla ulaşılabilen en büyük alan şiddeti yaklaşık 2 Tesla'dır. Daha büyük alan şiddetleri, içinden akım geçen sarmıllarla elde edilebilirler. Akımı oluşturmak için verilen enerji 1R Watt/sn hızıyla ısı enerjisine dönüşür. (1 akım.

R direnç) Çıkan ısıyı almak (yani mıknatısı soğutmak) için karmaşık yöntemler kullanmak zorunludur. Bu durumda süperiletken sarımlar kullanarak R direncini sıfırlayabilmenin avantajları açıkça görülebilmektedir.

Kamerlingh Onnes süperiletkenler yardımıyla güçlü mıknatıslar elde edebilme olanağını hemen fark etmişti. Ama daha ilk denemelerinde ümidini yitirdi. Çünkü elindeki süperiletken malzemeler 1/10 Tesla'dan büyük manyetik alanlarda süperiletkenliklerini yitirmekteydiler.



Şekil 2. Herbir çizgi, bir elementin "kritik alan eğrisi"ni temsil eder. Süperiletkenlik, ancak çizginin altındaki manyetik alan ve sıcaklık birleşiminde gerçekleşebilir.

Bugün artık manyetik alan ile süperiletkenliğin birbirinin doğal düşmanı oldukları biliniyor. Malzemenin makroskopik (gözle görünen) manyetik nitelikler kazanabilmesi için elektronların hepsinin birbirine paralel dizilebilmesi gerekir. Halbuki süperiletkenliğin oluşması, elektronların ikişer ikişer spinleri zıt yönlerde olacak şekilde çiftlenmesine bağlıdır. Dolayısıyla net dış manyetik alan sıfırlanacaktır. Dışarıdan uygulanan bir manyetik alan elektron spinini üzerinde bir tork yaratarak her bir elektronu manyetik alan yönüne dönmeğe zorlayacaktır. Yani, dış manyetik alan süperiletkenliği sağlayan elektron çiftlerini çözerek, malzemenin süperiletkenliğini yok etmektedir. Bu açıdan bakınca niçin güçlü süperiletken mıknatısların yapımının 1950'leri bulduğunu sizlere şaşırtıcı gelmeyecektir.

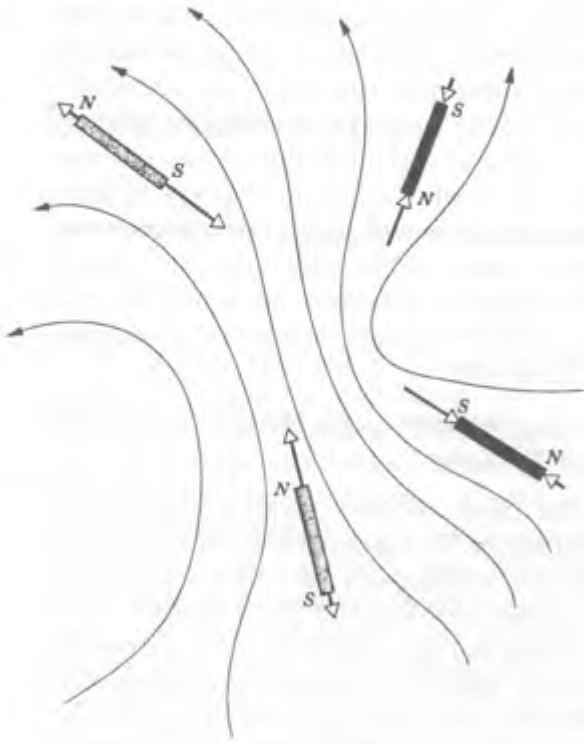
Bugün süperiletken mıknatıslar hemen her bü-

yükçe fizik laboratuvarında bulunur. Parçacık hızlandırıcılarında kullanılırlar. Enerji üreten manyetik füzyon cihazlarının tasarımında yer alacaklardır. Süperiletkenlik bulunmadan önce hiç akla gelmemiş uygulamalar da vardır. Bunlardan ilginç birisi manyetik yükseltimli (Levitasyon) tren veya bir başka tabirle elektromanyetik uçuştur. Burada trenin yükselmesi sadece trenin raylarla temasını kesecek kadar küçük bir miktardadır. Ancak bu bile sürtünmeyi yok eder ve trenin muazzam hızlara ulaşmasına olanak tanır.

### Süperiletkenler ve Bir Mıknatıs Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Bir çubuk mıknatısı, veya bir elektron, veya akım taşıyan bir halkaya düzgün bir dış manyetik alan içine koyduğumuzu farz edelim. Bu nesnelere her birinin birer kuzey ve güney kutupları vardır. Manyetik alan kuzey kutup üzerinde manyetik alan yönünde, güney kutup üzerinde ise manyetik alanın zıt yönünde birer kuvvet etki ettirir. Cisme etki eden net kuvvet her an sıfırdır. Ancak kuvvet çiftinin elemanları cisme iki ayrı noktadan etki ettikleri için, eğer cisim başlangıçta manyetik alan doğrultusunda yönelmemişse, üzerine cismi manyetik alan doğrultusuna döndürecek bir tork etki eder. Buraya kadar olayı tanyoruz. Şimdi dış manyetik alanın düzgün olmadığını varsayalım. Bu durumda örneğin kuzey kutup üzerine etki eden kuvvet güney kutup üzerine etki eden kuvvetten büyükse; cisim manyetik alan doğrultusuna dönerken aynı zamanda kuzey kutup yönüne hareket ederek ötelenecektir. Manyetik alan içindeki olası bütün yerleşimlerini düşününce, her durum altında cismin manyetik alanın büyük olduğu bölgeye çekileceği anlaşılacaktır. Bir süperiletken cisim için ise mıknatıslanma yönü, yukarıdaki örnektekinin aksine; dış manyetik alan yönünün tersidir. Bu etkiye **diyamagnetizm** adı verilir. Diyamagnetizm olgusu mükemmel iletken telden yapılmış bir sarım veya bir solenoid üzerinde anlaşılabilir. Akım geçmediğini düşünelim. Başlangıçta cisim mıknatıslı değildir, ancak Faraday yasası uyarınca akım ve dolayısıyla mıknatıslanma indüklenir.

Eğer bir solenoid dış manyetik alan içine konur ve solenoidten geçen manyetik alanın değişimi sağlanırsa (örneğin manyetik alanı bir çubuk mıknatıs



Şekil 3. Bir manyetik alanda mıknatıs (gri) ile süperiletken (siyah) üzerine etkiyen kuvvetler

yaratıyorsa, çubuğu solenoid içine sokup çıkarabiliriz); bu durumda solenoidi oluşturan sarımda bir EMK indüklenir.

Buna bağlı olarak bir indüklenmiş akım geçer, ve bu bir indüklenmiş manyetik alan yaratır. Lenz kuralına göre indüklenmiş manyetik alanın yönü sarımdan geçen akımın oluşturduğu manyetik alan yönüne terstir. Eğer sarımın hareketi durursa ve içinde bulunduğu manyetik alan sabit kalırsa indüklenmiş EMK yok olur. Eğer sarım teli normal bir iletken ise aynı anda indüklenmiş akım ve bunun yarattığı manyetik alan da sıfıra gider. Halbuki tel bir mükemmel iletken ise, tanımı gereği direnci sıfır olduğundan, akım herhangi EMK uygulanmadan ya da enerji aktarılmadan akmağa devam eder. Süperiletkenler ile bir mükemmel iletken arasında fark vardır. Deneyler süperiletkenlerin diyamagnetik olduğunu göstermektedir. Eğer bir süperiletken dış manyetik alan içerisinde  $T_c$  kritik sıcaklığı üstünde bulunuyorsa, bu sıcaklıktan  $T_c$  altındaki bir sıcaklığa soğutulması, dış akımda bir değişiklik olmaması

nedeniyle bir indüklenmiş mıknatıslanmayı öngörmez. Halbuki süperiletken diyamagnetik olmuştur. Yani süperiletkenin içindeki manyetik alan  $T_1 > T_c$  sıcaklığından  $T_c > T_2$  sıcaklığına geçişten sonra dışarılanmıştır. Bu olaya **Meissner etkisi** adı verilir. Etki ilk kez 1933'de Walther Meissner tarafından gözlenmiştir. Bu etkinin kanıtladığı, süperiletkenliğin basit bir mükemmel iletkenlik olayı olmadığıdır.

### Akı Kuantumlanması ve Küçük Ölçekli Uygulamalar

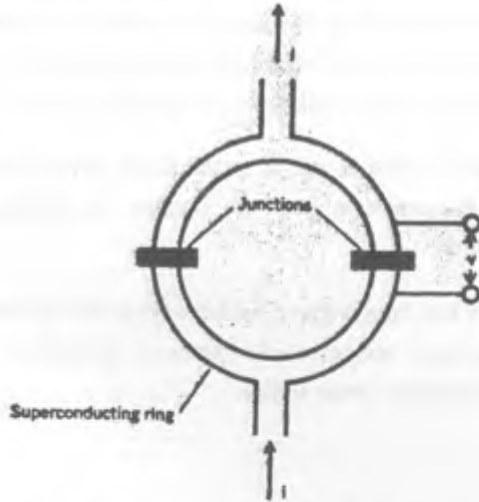
Süperiletkenlerin çok küçük manyetik alan şiddetlerini gözlemek için kullanımı iki olguya dayanır: Akı kuantumlanması ve Josephson tünel olayı. Brian Josephson, kendi adıyla anılan bu etkiyi Cambridge Üniversitesi'nde öğrenciyken öngörmüştü. Öngörüsü gözlemlerle doğrulanınca 30 yaşında Nobel ödülünü kazandı.

Önce akı kuantumlanmasını anlayalım. Nasıl doğada elektrik yükü kuantumluysa ve sadece elektronun elektrik yükünün ( $e=1.6 \times 10^{-19}$  Coulomb) tam katları şeklinde bulunmaktaysa, bir süperiletken halkanın çevrelediği yüzeyden geçen manyetik akı da aynen öyle kuantumludur.

Temel akı kuantumu  $h/2e=2 \times 10^{-15}$  Tesla- $m^2$ 'ye eşittir. Bu minik akı kuantumu ve bunun bazı basit kesirleri Josephson etkisi yardımıyla gözlenebilirler.

Josephson'un buluşu, süperiletken akım içindeki bir elektron çiftinin ince bir yalıtkan engeli (kuantum mekaniksel tünel olayı ile) aşabildikleridir. Dolayısıyla süperiletken malzemeden yapılmış bir halka üzerine böyle bir veya bir kaç engel (yada diğer bir deyişle tünel eklemi) koysak süperiletkenlik kaybolmayabilir. Böyle bir halkayı alıp, halkanın çevrelediği yüzeyden geçen manyetik alan çizgilerini artırmağa çalışırsak, akımın kuantumlu olması nedeniyle sürekli bir artışı sağlayamayız. Manyetik alan değişirken akımın sabit kalması için halkadan bir akım geçmelidir. Öte yanda, tünel eklemi çok küçük bir akımdan fazlasını engelleyemez. Akım bu eşik değerine ulaştınca bir an için halka süperiletkenliğini yitirir ve akımın değerinde bir sıçramaya izin verir. Uygun şartlar oluşturularak, bu sıçrama miktarı bir akı kuantumuna karşı gelecek şekilde ayarlanabilir. Böylece akımdaki sıçramaları saya-

rak, halkadan geçen akıyı ve dolayısıyla manyetik alan şiddetinin kendisini büyük bir duyarlılıkla belirlemiş oluruz. Akının süresizliği ya da sıçramalarla değişmesi Josephson eklemelerinin bilgisayarlar da bellek ve işlemci olarak kullanılmasına da olanak sağlar. Bu tür elemanlar süperiletkenlik nedeniyle ısınma sorunları olmadığı için küçük bir hacim çok sayıda yerleştirilebilirler.



Şekil 4. İki-eklemlili şematik bir SQUID diyagramı

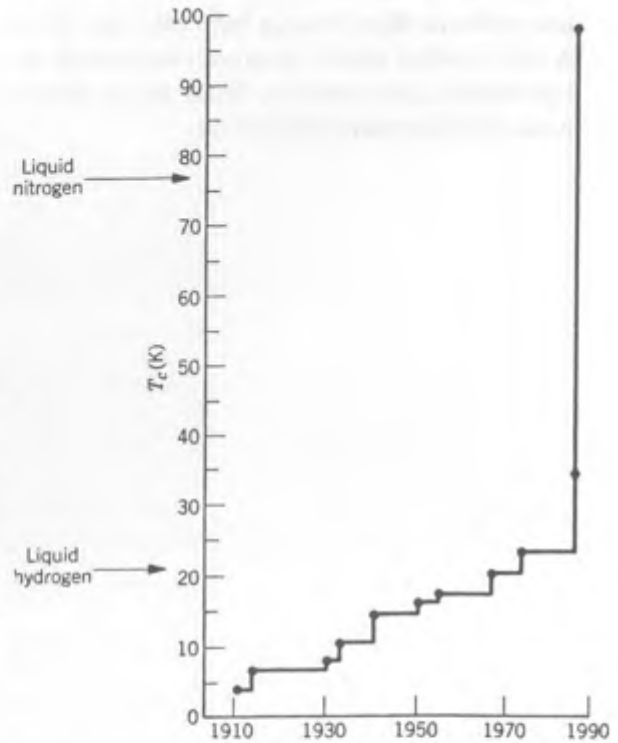
### Süperiletken Malzemeler

1911'de civa süperiletkenliğinin keşfinden sonra periyodik tablonun aynı bölgesinde pek çok elementin de süperiletken oldukları saptandı. O sıralarda sıvı helyumun bulunduğu tek yer olan ve bu nedenle ancak burada gerekli düşük sıcaklıklara ulaşabilen Kamerlingh Onnes'in laboratuvarlarında kalay, indium, kurşun, talyum elementlerinin süperiletkenliği gözlemlendi ve kritik sıcaklıklarının ( $T_c$ ) talyumunki  $2.4^{\circ}\text{K}$  ile kurşununki  $7.2^{\circ}\text{K}$  arasında değiştiği bulundu.

1923'de Toronto'da ikinci bir düşük sıcaklıklar laboratuvarı kuruldu. Bunu 1925'de Berlin'de kurulan laboratuvar izledi. Bu arada kısa zamanda, Walter Meissner ve arkadaşları periyodik tablonun bir başka bölgesinde, geçiş elementleri arasında, süperiletkenlerin bulunduğunu keşfettiler. Bunlar arasında  $T_c=9.2^{\circ}\text{K}$  ile Niobium en yüksek kritik sıcaklığa sahip olma niteliğini uzun süre korudu. Daha sonra metal bileşiklerinin daha yüksek değerler alabileceğinin anlaşılmasıyla bir aşama yapıldı. 1940'da

rekor  $T_c=10.1^{\circ}\text{K}$  ile NbC'ye, 1954'de  $T_c=18^{\circ}\text{K}$  ile  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ 'ye, 1973'de  $T_c=23.2^{\circ}\text{K}$  ile  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ 'ye geçti 1986 ve 1987'de hiç beklenmedik bir anda seramik oksitlerinde yüksek sıcaklık süperiletkenliği keşfedildi. İlk kez Kurt Müller ve George Bednorz, antenium-baryum-bakır oksitte  $T_c=35^{\circ}\text{K}$ , kısa bir süre sonra Chu ve arkadaşları yttrium-baryum-bakır oksitte  $T_c=91^{\circ}\text{K}$  değerlerini ölçüler.

$T_c$  kritik sıcaklığındaki yükselme, süperiletkenliğin dayanabileceği manyetik alan şiddetlerinin artışı ve bu nedenle büyük manyetik alan şiddetlerinin süperiletken mıknatıslarla yaratılabilmesini sağladı. Bu konularda 40 yıl kadar niobium bileşiklerinde önde gitmiştir. 1987'den itibaren araştırma ve uygulamalarda seramik oksitleri öne geçti.



Şekil 5. 1911-1987 arasında bilinen en yüksek süperiletken sıcaklık geçişleri

### Teori

1957'ye gelene dek süperiletkenlik herhangi bir temel açıklama bulamadı. O tarihe kadar gözlemsel pek çok bilgi edinilmiş, ancak süperiletkenlerin atomik ve elektrik niteliklerine bağlı bir teorisi bulunamamıştır. Fizikçilerin çaresizliğini, iletkenlik teori-



## DERELİ

sinin öncülerinden Felix Bloch'un şu sözü çok iyi yansıtır; "süperiletkenlik olanaksız."

Teorinin bu güçlüğü anlamak zor değildir. Yapılması gereken, elektronların Coulomb yasasına göre birbirlerini itmelerine karşın nasıl olup ta kolektif bir davranış gösterdiklerini anlamaktır. Bunun mekanizması en sonunda Bardeen, Cooper ve Schrieffer (BCS) tarafından keşfedildi. BCS teorisiyle süperiletkenlik o kadar iyi ve ayrıntılarıyla tarif ediliyordu ki fizikçiler için artık bu konunun bittiği bile düşünülürdü.

BCS mekanizması eksi yüklü elektronların artı yüklü iyonların oluşturduğu bir örgü üstünde hareket etmesi olgusuna bağlıdır. İyonlar elektronun yörüngesi üzerine çekilirler. İyonlar denge konumuna dönmeden bir diğer elektron birincisini izler, ikinci elektron kendini birinci elektronun değiştirdiği bir örgü düzeni içinde bulur ki, bunun anlamı dolaylı olarak iki elektronun etkileşmesidir.

BCS teorisi, süperiletkenliğin nedenlerini anlamamıza yardımcı oldu. O gün bilinen süperiletken malzemenin niteliklerini kritik sıcaklığın öngörülmesi de dahil nicel olarak hesaplamamıza olanak tanıdı. Ancak teorinin keşfini izleyen 30 yıl boyunca neredeyse hiçbir yeni süperiletken bulunamadı. Dolayısıyla kritik sıcaklıklar hep aynı kaldı. İşte o zaman yüksek sıcaklıklarda süperiletkenliğe izin vermeyen bazı fizik yasalarının varlığından kuşku lanıldı. Bu tür süperiletkenlerin olanaksızlığını kanıtlamaya çalışan makaleler yazılmağa başlandı.

Ancak 1986'da yüksek sıcaklıklarda süperiletken yeni malzemelerin keşfi ile beraber bu dönemde sona erdi.

Bir kez daha doğanın beklenmeyen sırlar gizlediği; bilimsel araştırmalarla bunların çözülebileceği gerçeği gözler önüne serildi.

# 60 Yıllık Tecrübe Konuşuyor



## *9 Tesisimizde*

- Yazı Tab'ı Kağıtları
- Gazete Kağıdı
- Sargılık Kağıtlar
- Kraft Torba Kağıdı
- Sigara ve İnce Özel Kağıtlar
- SEKALAM
- SEKALİF ve
- SEKA Dekor Kağıdı

## *Üretiyoruz*