



W. C. Röntgen

X-Işınları 100 Yaşında

Fizik tarihi keşiflerle doludur. Bu keşifler, kimi zaman öngörülen bir teoriyi kanıtlamak için yapılan sayısız deneyler sonrasında, kimi zaman da hiç beklenmedik bir anda, rastlantı sonucu karşınıza çıkarır. Bilim adamının bilimsel merakının bir ürünü olan bu keşifler bilim tarihindeki önemli kilometre taşlarını oluşturur... Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) de fizik dünyasındaki sayısız keşiflerden birine imza atmış bir bilim adamı. Bundan tam 100 yıl önce gerçekleştirdiği bir deneyin sonuçları, bugün yaptığımızla içiçe geçmiş birçok aygıtın temelini oluşturdu.



Röntgen, 1894 yılının yazında katot ışınlarıyla uğraşmaya başlamıştı. Ancak, bu çalışmasına hız vermesi 1895 yılının sonbaharına, üniversitedeki rektörlük görevinden ayrıldığı zamana rastlıyor.

Röntgen'i bu çalışmalarında Crookes tüpü adı verilen havası alınmış cam bir tüpün başında görüyoruz. Hava geçirmeyen armut şeklindeki bu tüpün içinde anot ve katot isimli iki metal plaka vardır. Katot, armut şeklindeki bu tüpün sap kısmına yerleştirilmiş içbükey bir metaldir. Anot ise, armudun diğer ucundadır. Bir pompa yardımıyla içindeki hava basıncı, atmosferik basıncın milyonda birine kadar düşürülen tüpün uçları bir akım kaynağına bağlandığında yeşil renkte bir floresans ışığı gözlenir.

Röntgen, 8 Kasım 1895 cuma günü, akşamın geç saatlerinde, her zamanki gibi laboratuvarında her yanı siyah kartonlarla kaplı Crookes tüpü ile çalışırken rastlantı sonucu, masanın üzerindeki Baryum platinosiyanyür kristallerinin flor ışıldığını farkeder.

Bu ilginç gözleminin üzerine gittiğinde, o zamana dek hiç kimse tarafından farkedilmeyen bu ışımının Crookes tüpünden gelen ışınlar yüzünden olabileceğini düşünür. İzleyen 8 hafta boyunca bu garip ışınların özelliklerini incelemek için sıkı bir çalışma içine girer. Bu süre boyunca keşfini kimseye anlatmayan Röntgen, yatağını

çalışmalarını aralıksız sürdürdüğü laboratuvarına taşır. Çalışmaları sırasında emin olabilmek için tüple ekran arasına değişik birçok nesne yerleştirir ve floresans ışımına, tüpten ekrana doğru düzgün bir yol izleyen fakat görünmeyen bir ışınının neden olduğu sonucuna varır.

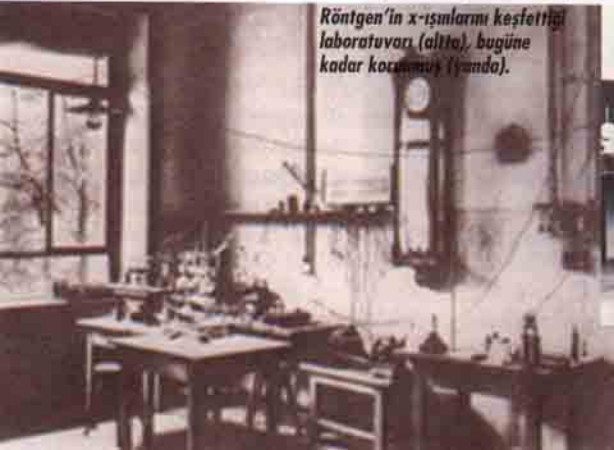
Röntgen, yapısını tam olarak açıklayamadığı bu ışınlarla, bilinmeyen anlamında "x" sembolünü kullanarak "x-ışınları" adını verir. Keşfettiği bu ışınlar katı maddelerden geçmekte ve ışının geçtiği çeşitli nesnelere ekran üzerinde gölgeler oluşturmaktadır. Özellikle kurşun gibi ağır metallerden yapılmış cisimler, tahta, alüminyum ve kâğıt gibi daha hafif maddelerden daha net görünür ve bu görüntüler, fotoğraf levhalarını tıpkı görünür ışık gibi etkilerler. Röntgen, x-ışınlarının bu özelliğini farkettikten sonra ilk x-ışını fotoğraflarını çeker. Bunlar, tahta bir kutunun içindeki metal eşyalar ile karışının elinin iskeletinin fotoğraflarıdır.

İlk Röntgen görüntülerini çektikten bir iki hafta sonra x-ışınlarıyla ilgili hemen hemen tüm bilgileri elde eden Röntgen, 28 Aralık 1895'te Würzburg Fiziksel Tıp Topluluğu'na, çalışmalarını aktardığı "Yeni Bir Tür Işın Üzerine" başlıklı bildirisini sunar. Röntgen, topluluğun bildirimleri arasında yayımlanan bu makaleyi 1896 yılında meslektaşları için yeniden yayımlar ve bu makale 23

Ocak'ta İngiliz "Nature", 14 Şubat'ta Amerikan "Science" ve 8 Şubat'ta da Fransız "L'Eclairage Electrique" dergilerinde yer alır.

Röntgen, günlük gazetelere girecek kadar büyük bir sansasyona yol açan bu buluşunu, 13 Ocak 1896 günü Berlin İmparatorluk Sarayı'nda imparator-

Röntgen'in x-ışınlarını keşfettiği laboratuvarı (altta), bugüne kadar kocamış (yanda).



run huzurunda da sergiler. Dönüşünde öğrencileri onu, fener alaylı muhteşem bir törenle karşılarlar.

Röntgen, bu konudaki ilk konferansını 23 Ocak 1896 yılında, Würzburg Fiziksel Tıp Topluluğu'nda yapılan ve öğrencilerin, öğretim görevlilerinin yanı sıra Würzburg garnizonu subaylarının da bulunduğu bir oturumda verir. Röntgen, mütevası bir tavırla sunduğu, sık sık alkışlarla kesilen bu konuşmasında deneyini şöyle özetler:

"Işıkların siyah kağıdın içinden geçmesi benim için umulmadık bir durumdur. Aynı şeyi odun ve kağıt yığınlarıyla da denemiş olmama rağmen, yine de yanılmış olabileceğimi düşünüyordum. Sonra yardımına fotoğraf yetiştirdi ve deney başarılı oldu."

Röntgen, konferansın bitiminde de ünlü anatomist Geheimrath von Koelliker'in elinin x-ışını fotoğrafını çektiği bir gösteri yapar. Gördükleri karşısında heyecanlanan von Koelliker bir konuşma yaparak yeni bulunan bu ışıkların x-ışınları olan adının, "Röntgen Işıkları" olarak değiştirilmesini önerir.

W.C. Röntgen'in uluslararası bir üne kavuşması, işte bu olaydan sonra gerçekleşir. Kendisine yaklaşık 80 bilimsel ödül ve çok sayıda bilimsel topluluk üyeliği verilir ve adı, içlerinde Würzburg'un da bulunduğu birçok şehrin caddelerini süsler. Bütün bu ödül ve payelerin arasında hiç kuşkusuz en önemli olanı 10 Aralık 1901'de verilen Nobel Fizik Ödülü'dür. Bu verilen ilk Nobel Fizik Ödülü'dür. Röntgen, bu ödülün nakit kısmı olan 50 000 Kron'u Würzburg Üniversitesi'ne bağışlar.



X-ışınlarının Fiziği

X-ışınları, keşfinden bir süre sonra fiziğin en önemli uğraşı haline geldi. Fizikçilerin ilk uğraştıkları sorun, bu ışıkların niteliğini belirlemek oldu. Kimilerine göre dalga olması gerçeken bu ışıklar, bazılarınınca parçacık olarak yorumlandı.

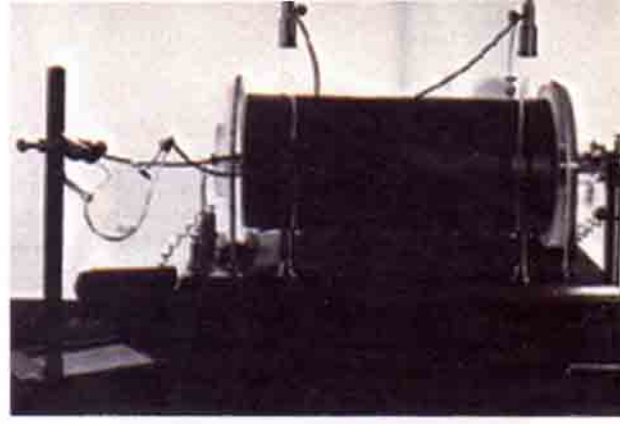
X-ışınlarıyla gerçekleştirilen ilk deneyler, bu ışıkların dalga nitelikli olduğunu göstermişti. Ancak, daha sonra yapılan birkaç deney de x-ışınlarının parçacıklardan oluş-

ması gerektiğini öngörmüştü. Her iki niteliği de taşıdığı bir süre sonra, özellikle Max Planck, Einstein ve de Broglie gibi dehalerin çalışmalarıyla kanıtlanmıştır. Bu ikili nitelik yalnızca x-ışınlarına özgü değildir. Elektromanyetik ışınım türlerinin tümü, hem parçacık hem de dalga niteliği gösterir; başka bir deyişle, bu ışıklar kuanta ya da foton olarak adlandırılan elektromanyetik dalga paketlerinden oluşur. Günümüze kadar yapılan çalışmalar, hiçbir eksiği gediği kalmaksızın, dalga boyları 50 km'den milimetrenin on milyarda birine değin basamak basamak sıralanan ışınım türlerinin tümüne açıklık getirdi. İşte x-ışınları da elektromanyetik spektrum dediğimiz bu kocaman dalgaboyları dizisinde genişçe bir aralığı kaplıyor.

X-ışınları, elektrik ve manyetik alanların, birbirlerine ve yayılma doğrultularına dik oldukları "elektromanyetik" bir dalgadır. Bu nedenle elektromanyetik spektrumda yer alan tüm ışınım şekilleriyle ve görünür ışıkla aynı özellikleri gösterir.

Elektromanyetik spektrumda yer alan ışınım türlerinin birbirlerinden farklı olmalarının en önemli nedeni, dalga boylarının farklı olmasıdır. Örneğin görünür ışığın dalgaboyu, spektrumun 4000-7000 Å aralığında kalan bölgeyi kapsar. Bir ucunda kırmızı, diğer ucunda mor ışığın bulunduğu görünür bölge içindeki dalgaboylarında gökkuşağının diğer renkleri bulunur. X-ışını ise elektromanyetik spektrumun morötesi bölgesinin de ötesinde, 1-0,0001 Å aralığında yer alır ki, bu da görünür ışığın dalgaboyuna oranla çok kısadır. Dalgaboyunun kısa olması, karşılık gelen fotonların daha fazla enerji ile yüklü olması demektir. Bu nedenle x-ışınları fotonları, görünür ışığına oranla 100 ile 100 000 kat daha fazla enerjiye sahiptir.

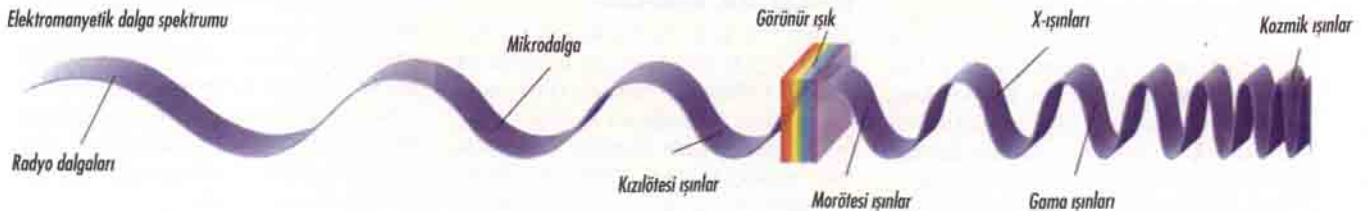
Diğer ışınım türlerinde olduğu gibi, x-ışınlarının da tüm özellikleri, dalgaboyları ve enerjileriyle belirlenir. Peki, böylesine küçük dalgaboyları deneyle nasıl ölçülebilir? Bildiğimiz gibi görünür bölgedeki ışığın dalgaboyunu belirlemek için Young'ın çift yarı deneyi olarak bilinen yöntem kullanılır. Bu deney basitçe, iğne deliği boyutlarında çok

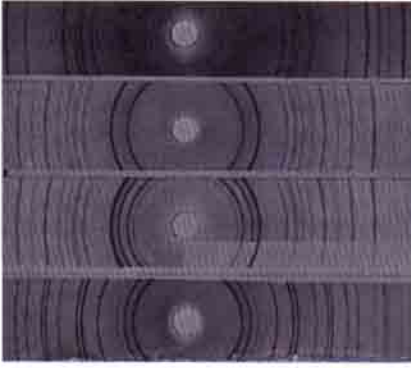


küçük iki yarı ile bu yarıkların önüne bir ışık kaynağı, arkasına da bir ekran yerleştirilerek yapılır. Delikler birbirlerine yakınsa ve yeteri kadar küçükse, türdeş ışık kaynağından çıkan ışınlar deliklerden geçerek ekranda yanlara doğru gittikçe belirsizleşen aydınlık ve karanlık şeritler dizisi oluşturur. Kırınım adı verilen bu olay, ışığın dalga teorisiyle açıklanır. Karanlık şeritler, iğne deliklerinin birinden geçen bir dalganın çukuru ile diğerinden geçen bir dalganın tepesinin üst üste geldiği ve birbirinin etkisini yok ettiği yerlerdir. Aydınlık şeritler ise, iki ayrı delikten geçen dalgaların çukurlarının ya da tepelerinin üst üste bindiği yerlerdir. Bu deney, görünür ışık için, dalgaboyunun yeterince büyük olması nedeniyle iyi sonuç verir. Ancak, çok kısa dalgaboylu olan x-ışınları için, mikrometrenin yüzde biri, hatta daha fazla, yani iğne deliğinden binlerce kat daha küçük ve birbirine binlerce kat daha yakın yarıklar olması gerekir ki, bu da neredeyse olanaksızdır. Ancak 1912 yılında Max von Laue buna bir çözüm bulmak amacıyla ilginç bir öneri ortaya attı ve kristalleri bu iş için kullanmayı önerdi.

Bir kristal, birbirine çok yakın duran atomların düzenli topluluğudur. Burada, küçük delikler (yarıklar) yerine, kesinlikle düzgün bir sıraya göre, birbirinin çok yakınında duran atomların oluşturduğu son derece küçük engeller bulunur. Atomlar arasındaki uzaklıklar öylesine küçüktür ki, x-ışınlarının kırınımını göstermeleri beklenebilir. von Laue'nin asistanları Friedrich ve Knipping deneyi yaptılar ve kristalde ortaya çıkan bu üç-boyutlu şaşmaz düzende engellerin yardımı ile x-ışınlarının gerçekten kırınabildiğini gösterdiler. (Ekranda geometrik dizilmiş lekelerle karşılaştılar). X-ışınlarının kristalden geçerek bir fotoğraf camına düşürülmesi sonucu bir kırınım deseni oluştuğunun gözlenmesiyle de x-ışını spektrumu rahatlıkla belirlenebildi.

Elektromanyetik dalga spektrumu





X-ışını kırınımı yöntemiyle, alüminyum ve kuvars gibi kristaller kullanılarak çekilmiş fotoğraflar.

X-ışını spektrumunun dalgalı boyalarının bu tür fotoğraflardan yararlanılarak hesaplanması yoluyla kristalin yapısı hakkında bilgi edinmenin yolu da açılmış oldu. Bu yöntemi benimseyen William Henry Bragg, oğlu William Lawrence ile birlikte değişik kristallerde kırınımı gerçekleştirdiler ve kristalin üç boyutlu geometrisinde bu kırınımı tanımladılar. Böylece baba-oğul Bragg'ler, maddenin

yapısını incelemede x-ışınları kırınımından yararlanan ilk bilim adamları olma ünvanını elde ettiler ve baba Bragg, 1913 yılında, x-ışınlarının dalgalı boyalarını ölçmeye yarayan ilk spektrometreyi yaptı. Bu çalışmalarından dolayı 1914 yılında baba Bragg, 1915 yılında da her ikisi birden ilkini Röntgen'in aldığı Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldüler.

X-ışınlarıyla ilgili diğer önemli gelişme, aynı sıralarda, H.G. Moseley'in, çeşitli elementlerin elektron bombardımanı sonucu yaydıkları ışınların çizgisel spektrumunu incelediği çalışmasıdır. Moseley, çalışmaları sırasında, hedefleri çabucak değiştirilebilen x-ışını tüpü kullanmıştı. X-ışınlarının eldesinde kullanılan bu tüplerin çalışması, bir metal plakadan koparılan elektronların, hızla diğer bir metal yüzeye çarpmaları esasına dayanır. Bugün yaygın olarak kullanılan x-ışını tüplerinin ilki, 1913 yılında, W.D. Coolidge tarafından geliştiril-

di. Bu tüplerde elektronların koparıldığı kısım katot, çarptıkları yüzey ise anot olarak isimlendirilir. Katottan koparılan elektronlar, elektrostatik alan içinde hızlanarak anota çarpar ve bu çarpışmanın olduğu bölgelerde her yöne x-ışını yayımı olur. Burada x-ışınları, hızlandırılmış elektronlar ile anottaki atomların elektronlarının ve pozitif yüklü çekirdeğinin etkileşimiyle ortaya çıkmaktadır.

Moseley, x-ışını tüpleriyle yaptığı çalışmalarda 17 farklı element kullandı ve hepsinin spektrumlarının basit bir yapıya sahip olduğunu belirledi. Her seferinde daha ağır elementlerle deneyi yinelediğinde, spektrumlarında seçilen bir çizginin oluştuğu dalgalı boyunun, kullanılan elementin atom numarasının bir fonksiyonu olduğunu gördü.

Bugün kullandığımız periyodik cetvelde hidrojen (H) ile çinko (Zn) arasında yer alan elementlere 1'den 30'a kadar atom numarası vererek bir x-ışını spekt-



X-Işınları

Dinçer Ülkü
H.U Fizik Müh. Bölümü

1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilen bu yeni ışının doğası o tarihte tam olarak bilinemediğinden x-ışını diye adlandırılmıştır. Göze görünmeyen, saydam olmayan cisimlerden geçebilen, doğrular boyunca yayılan, fotoğraf filmi karartan x-ışınları; önce fizikçiler sonra mühendisler ve nihayet tıpçılar tarafından opak cisimlerin iç yapısını incelemek üzere devreye sokulmuştur. X-ışınlarının çok önemli bir kullanım alanı olan bu uygulamaya "Radyoskopi" diyoruz. 1912 yılında Max von Laue, x-ışınlarının bir kristalde kırınımına uğradığını kanıtlayarak, bir atışta iki tam isabet kaydetmiştir. Kendisine Nobel Ödülü kazandıran bu deneyiyle Max von Laue, hem x-ışınlarının çok kısa dalgalı boylu elektromanyetik dalgalar olduğunu kanıtlamış, hem de kristallerin atom veya moleküllerin üç boyutlu periyodik dizilimleriyle meydana geldiklerini göstermiştir. Radyoskopi ile 10^4 mertebesinde olan ayırma gücü, x-ışınları kırınımının keşfiyle birdenbire 10^8 cm mertebesine erişmiştir. Ayrıca x-ışınları spektroskopisi bir atomun elektron enerji düzeylerinin, dolayısıyla da yapısının belirlenmesinde büyük rol oynamıştır. Bu yazı çerçevesinde özellikle x-ışınları kırınımı uygulamalarının temel ve mühendislik bilimlerine katkılarından söz etmek yerinde olur.

X-ışınları kırınımı maddenin atomik düzeyde yapısının araştırılmasıyla ilgilidir. Yapı tayininde kullanılan yöntemler, kırınım tekniklerini ve kırınım desenlerine uygulanan analitik metodları içerir. X-ışınları kırınımının ele aldığı konuların çeşitliliği bu alandaki faaliyetlerin sınıflandırılmasında zorluklara neden olmaktadır.

İncelenen örnekler, düzenli ve düzensiz tek-kristaller, kristal tozlar, fiberler, ince filmler, membranlar ve bir ölçüde de amorf katı ve akışkanlar olabilir. İlgi alanına giren konuları beş grupta toplamak mümkündür: 1) kırınım fiziği, 2) yapısal kimya, 3) biyolojik makromoleküller, 4) yerbilimleri, 5) malzeme araştırmaları.

Kırınım Fiziği

X-ışınlarının saçılması elastik veya inelastik olabileceği gibi, aynı zamanda koherent veya inkoherent de olabilir. Genelde bilinen en yaygın uygulama tek kristallerden koherent saçılmadır. Alan-duyarlı sayaçların geliştirilmesi kırınım fiziğinde önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Metallerde nokta-hata yapılarının incelenmesi, amorf malzemelerde moleküler konfigürasyon, kristal amorf karakterizasyon oranı, cam geçişlerinde yoğunluk sapmaları gibi konularda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Difüzyon tekniği son derece hassas bir metod olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yapısal Kimya

X-ışınları kırınımının kimyaya katkısı sayılamayacak kadar çoktur. Başarılı bir X-ışınları kristal yapı analizi sadece incelenen bileşikte hangi atomun hangisine bağlı olduğunu vermekle kalmamakta, aynı zamanda bağ uzunluk ve açılarını da büyük hassasiyetle vererek, moleküler paketlenme ve molekül-içi etkileşimlere de ışık tutmakta, bağ yapan elektronların dağılımı da hesaplanabilmektedir.

Biyolojik Makromoleküller

Son otuz yılda x-ışınları kırınımı biyolojik bilimlerde yeni bir çağ açmıştır. Bu gerçek sadece Crick, Watson ve Wilkins'e DNA yapı tayini ve Perutz ve Kendrew'a ilk protein yapısını çözdükleri ve Karlo Hauptman'a faz problemini yaptıkları katkı için verilen Nobel ödülleriyle değil, aynı zamanda moleküler biyoloji bi-

lim dalının doğuşuyla da kanıtlanmıştır. X-ışınları kırınımı biyolojik makromoleküllerin üç boyutlu yapısını tayin edebilen yegane yöntemdir. NMR, UV, IR, ESR ve kütle spektroskopisi gibi yöntemler x-ışınları kırınımının vermediği bazı bilgileri sağlasalar bile, yapıyı bilinmeyen makromoleküllere bu yöntemlerin uygulanması olanaksız denecek kadar zordur.

Yerbilimleri

X-ışınları özellikle mineraloji ve jeokimyanın gelişmesinde tarihi rol oynamıştır. 1960'lı yıllardan bu yana yerbilimlerinde x-ışınları araştırmaları kristal yapılarıyla ilgilenmiş ve bunların kimyasal çevre, termal geçmiş ve oluşum mekanizmalarıyla ilişkilerini araştırmaya başlamıştır. Halen birçok okyanus yatağı projesinde deniz dibi örnekleri için x-ışınları cihazları kullanılmaktadır. 1950'li yıllara kadar birçok temel silikatin yapısı çözülmüştür. Bu çalışmaların ortaya koyduğu yapısal karmaşıklıkta içinde yer kimyasının temellerini anlamamıza yarayacak bilgilerin gizlendiğini ancak bugün anlayabiliyoruz. Ay'dan gelen örneklerin yapısal analizleri de x-ışınlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Malzeme Araştırması

Malzeme araştırmalarına x-ışınlarının iki temel katkısı olmuştur; a) malzeme yapısının atomik düzeyde incelenmesini sağlayarak yeni bir yaklaşım getirmesi, b) bütün malzeme araştırmalarında ortak prensipleri ortaya koyarak, daha önce farklı disiplinler şeklinde çalışan araştırmacıların birbirlerine yaklaşımlarını ve bunları değerlendirmelerini sağlamıştır. Malzemenin temelinden anlaşılmasında x-ışınları başrolü oynamaya devam edecektir. Zira malzeme içindeki atomların statik ve dinamik düzenlenmeleri ile bu düzenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerle olan ilişkisini açıklayabilen bir yöntemdir.

rum çizgisinin frekansının kareköküyle, atom numarası arasında lineer bir değişim saptadı. Bundan bir yıl önce Niels Bohr, elektronların daha düşük enerji düzeylerine geçerken yaydıkları ışının frekansını hesaplamıştı. Moseley, alüminyumdan (Atom numarası 13) çinkoya (Atom numarası 30) kadar olan elementlerin spektrum çizgilerinin frekanslarını ölçtü ve bu değerlerin Bohr'un hesapladığı değerlere çok yakın olduğunu gördü. Böylece Ernst Rutherford tarafından ortaya atılan ve Bohr tarafından geliştirilen atom modelini doğrulayan ilk kanıt elde edilmiş oldu. Bu, aynı zamanda atom dünyasının anlaşılmasında atılan en önemli adımlardan biri olmuştur.

Moseley'in atomları numaralandırma sistemi, atom çekirdeğindeki pozitif yüklerin göstergesi olduğundan, daha önceden atom ağırlıklarına göre yapılmış numaralandırmadan daha önemliydi ve bugünkü periyodik cetvelin temellerini atıyordu.

Bütün bu gelişmeler olurken, 1923 yılında A.H. Compton, x-ışınları yardımıyla saçılım olayını açıklıyordu. Bu tarihten önce fizikçiler, elektronlar üzerine elektromanyetik bir ışınım gönderildiğinde elektronların da bir ışınım yayacağını düşünüyordu. Saçılan ışınımın frekansının ise iki ayrı olaya göre belirleneceği ileri sürülüyordu. Bu olaylardan birincisi, floresans olarak adlandırılır. Atom üzerine bir ışınım gönderildiğinde elektronlar, atom içinde "uyarılmış hal" denilen geçici bir dinamik yapı oluştururlar. Daha sonra düşük enerji düzeylerine geçerken kaybettikleri enerji, ışınım şeklinde ortaya çıkar. Elektronlar, kuantum teorisine göre yalnızca belli enerji düzeylerinde yer alabileceklerinden, yaydıkları ışınımın frekansları da belirli değerlere sahip olacaktır.

İkinci olayda ise, yayılan ışınımın frekansının gelen ışınım frekansıyla aynı değerde olacağı düşünülüyordu. Ancak 1920 yılında Gray, saçılım olarak adlandırılan bu olayın düşünülmediği gibi gerçekleşmediğini gördü. Gray, deneyinde, karbon (C) atomlarından saçılan x-ışınlarının, gelen ışınlardan daha kolay soğurulduğunu farketmişti. Compton

da 1923'te bu olayı açıklayan bir teori geliştirdi. Compton, ışınların enerjisinin bir dalga aracılığıyla değil, parçacıklarla (foton) taşındığını varsaymıştı. Fotonlar elektronlarla esnek çarpıştıklarında, enerjilerinin bir kısmının, geri çekilen elektronlara aktarıldığını düşündü. Deneyler sonucunda, bir madde üzerine gönderilen x-ışınlarının spektrumunun büyük dalga boylarına doğru kaydığı gözlenmesi ve elektronların daha önce hesaplanmış hızlarla öngörülen yönlerde geri çekildiğinin saptanması, Compton'un teorisini kanıtlar nitelikteydi. Böylece ışınımın yalnızca dalga özellikleri değil, parçacık özellikleri de kullanılarak deneyler yapılabileceği kanıtlanmış oldu.



Güneş (x-ışını görüntüsü)

Kullanım Alanları

X-ışınları üzerine yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgilerle, x-ışınlarının dalgaboyları ve diğer özellikleri belirlendikten kısa bir süre sonra bu ışınlardan pratikte yararlanmanın yolları açılmış oldu. Bugün bilinen en önemli uygulamaları, bilimsel araştırmaların önemli üç dalını oluşturuyor: Fizikte x-ışını kristalografisi; astronomide x-ışını astronomisi ve nihayet hepimize çok tanıdık gelen x-ışını (Röntgen ışını) tedavi yöntemleri ya da geniş anlamıyla radyoloji uygulamaları.

X-ışını Kırınımı

Ender olarak bir kristalin yapısının doğrudan mikroskop görüntüsünü oluşturmak mümkündür. Örneğin, ayırma gücü 2 \AA olan bir elektron mikroskobu, grafit gibi katmanlı bir kristalin asal düzlemlerini ayırt edebilir; ancak elektron mikroskobunun bu ayırma gücü bile bilinmeyen kristal yapıların doğrudan, tam olarak bulunması için yeterli değildir. Bu nedenle, kristal yapısının araştırılmasında, dalgaboyu atomlararası uzaklık dolayında olan ve atomlarla etkileşen x-ışınlarının kırınımını kullanmak iyi bir yöntemdir.

Kristalografi çalışmalarında katıhal fiziğinin en önemli araçlarından birini oluşturan x-



X-ışınlarının bir kristal yardımıyla kırınımı

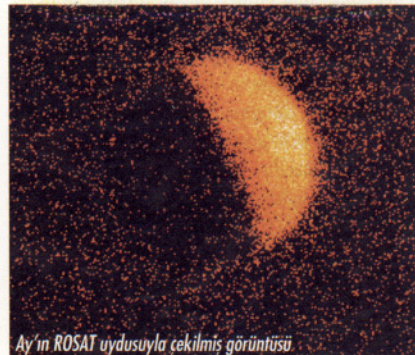
ışını kırınımı basitçe (von Laue ve Bragg'lerin çalışmalarından da hatırlayacağımız gibi), x-ışınlarının bir kristal tarafından çeşitli yönlerde ve farklı şiddetlerde kırınımına uğratılmasıdır. Bu yöntem, bir atom içindeki elektronların nasıl dizildiğinin anlaşılmasından, herhangi bir katı kristal yapısındaki düzensizliklerin ve bozuklukların bulunmasına kadar çok çeşitli araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda da eskiden beri kullanılan üç basit yöntemden yararlanılıyor: Bunlar; x-ışını kırınımının öncülerinden von Laue'nin bulunduğu ve kendi adıyla anılan Laue yöntemi, kristalin Bragg yasasına uygun bir hızla açılacak olarak döndürülmesi tekniğine dayanan döner kristal yöntemi ve birden fazla kristalin kullanıldığı toz kırınım yöntemidir.

X-ışını Astronomisi ve Türkiye

Astronominin, son yıllarda önem kazanan çalışma alanlarından birisini x-ışını yayan gök cisimlerinin belirlenmesi oluşturuyor. Bu yöntemle, günümüze kadar x-ışını kaynakları olarak adlandırılan bu gök cisimlerinden binlercesinin varlığı belirlendi. X-ışını kaynaklarından yayımlanan x-ışınlarını algılamak ve çözümlemede x-ışını teleskobu kullanılır. Atmosfer, x-ışınlarını büyük ölçüde soğurduğu için bu teleskopların roketler ya da balonlar aracılığıyla atmosfer dışına yükseltilmesi ya da atmosfer dışı bir yörüngede dolanan bir yapay uyduya yerleştirilmesi gerekmektedir. 1960'lardaki balon çalışmalarından sonra ilk kez 1970'te Uhuru uydusuyla başlayan bu araştırmalar hemen her tür yıldızın x-ışını yaydığı, bunlar arasında genç ve büyük kütleli yıldızların yanı sıra, en güçlü kaynaklar olarak çökmüş yıldızların, yani nötron yıldızı ve kara deliklerin bulunduğunu gösterdi. X-ışınları yıldızlardan başka, aktif galaksiler, kuasarlar ve galaksilerarası ortamlardan da gözlenmekte ve ilk kara delik adaylarından evrenin yapısına kadar çeşitli ilginç problemlerin çözümüne ilişkin ipucu vermektedir. Uhuru'yu izleyen Einstein Gözlemevi, EXOSAT, ROSAT, Ginga, Asca gibi uluslararası x-ışını uydularına, yeni atılacak XTE, SAX ve Spektrum X-Gama uyduları da eklenecektir. Spektrum X-Gama uy-



Spektrum X-Gama gözlem uydusunun bir modeli



Ay'ın ROSAT uydusuyla çekilmiş görüntüsü



dusu, ilk kez, Türkiye'nin de TÜBİTAK kanalıyla yer alacağı bir bilimsel işbirliğidir.

Bugün çok çeşitli yöntemler uygulanan astronomik çalışmalarda x-ışını astronomisi, bilimin en eski alanlarından biri olan astronomiye yeni bir çok katkı sağlamaktadır.

Radyoloji

Röntgen'in buluşuyla insanlık, tıp tarihindeki en önemli aracını elde etmiş oluyordu. Cerrahi müdahalelere gerek kalmadan insan vücudunun içine ulaşılması, doktorlara tanı ve tedavide önemli ölçüde kolaylık sağladı. X-ışınlarının tıptaki kullanımı radyoloji olarak adlandırıldı ve daha sonraki yıllarda sesüstü (ultrasonik) dalgaların ve radyoaktif izotopların kullanımını da kapsayacak şekilde genişletildi.

X-ışınları içine girdikleri dokularda, dozu yoğunluğuna göre emildiklerinden film veya floresans ekran üzerinde farklı yoğun-

luklar oluşturur. Bu sayede vücut içinde kemikler veya mermi gibi yabancı maddeler rahatlıkla tespit edilebilir. Bu yöntem özellikle I. Dünya Savaşı'ndan itibaren ortopedide kırık ve çıkık tespiti için yaygın olarak kullanılmaya başladı. Kısa bir süre sonra geliştirilen yöntemle de, hastaya baryum sülfat içirilerek bu sıvının, film üzerinde kontrastlı bir görüntü yarattığı gözlemlendi. Böylece sindirim sistemindeki tıkanıklıklar ve tümörler rahatlıkla tespit edilebilir hale geldi. Günümüzde benzer bir yöntem dolaşım sistemine, böbreklere, beyin ve çeşitli yumuşak dokulara uygulanıyor. Bu araştırmalarda kontrast olarak, ağır metaller içeren maddeler kullanılır. Bu maddelerin tipik bir bileşeni suda ve yağda kolayca çözünen iyottur. Bu maddeler vücut içinde zehirlenmelere neden olmaz ve doğal yollarla vücuttan atılır.

Kalbe giden toplardamarlara suda çözünen kontrast madde verildiğinde kalp odacıkları ve kalp atardamarları görülebilmektedir. Eskiden doktorlar, stetoskopla dinledikleri kalbin çalışma şeklini kafalarında canlandırırken, artık çalışan kalbin ritmik hareket-

lerini ekran üzerinde inceleyebilmektedir. Dolaşım sisteminde birçok damara kontrast madde enjekte ederek tıkanıklıklar, yapı bozuklukları ve ırların yanısıra, böbrek veya safra kesesindeki taşlar ve bunlara bağlı kistler, enfeksiyon ya da su birikimleri de rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Benzer bir yolla rahim incelendiğinde, rahim yapısındaki bozukluklar ile rahim şeklinin doğuma uygun olup olmadığı ya da ana karnındaki çocuğun organlarındaki bozukluklar da ortaya çıkmaktadır.

Tıpta, x-ışınlarının önemli uygulamalarından biri olan bilgisayarlı tomografi de 1970 yılında geliştirildi. Bu aletin çalışması, vücuda çeşitli açılardan giren x-ışınlarının dokulardan geçtikçe şiddetlerinin azalması temeline dayanır. Bu yöntem sayesinde vücudun herhangi bir bölümü dilimlere ayrılmış şekilde görüntülenebilir. Böylece karaciğer ve böbrek gibi yumuşak dokular birbirinden ayırılabilir, hatta bir organ içindeki farklı yapılar gözlenebilir.

Gelişen teknolojiyle birlikte, hastalara güçlü bir manyetik alan altında, x-ışınları

Bir Buluşun Öyküsü



"Yaşamım, bir film şeridi gibi gözlerimin önünden geçti." İnsanın, yaşamla ölüm arasında sıkışıp kalmış anlarını tanımlamak için bulunmuş en iyi söylem olsa gerek. Daha çok, umutsuzluğu çağırıyor insana. Birkaç film karesi-

ne sığdırılmış koca bir yaşam öyküsü... Ya da yaşam ve film kareleri. İçinde bulunduğumuz yıl, fotoğrafı bir yana bırakırsak, yaşam ve film kareleri ilişkisi açısından iki büyük buluşun da 100'üncü yıldönümü; Sinema ve Röntgen... Biri insanı ne denli abartılı anlatıyorsa öteki o denli yalın ve doğal gösteren film kareleri. Biri yaşamın öyküsü, öteki yaşamın kendisi. Yeşilçam filmlerini anımsayınca hastalık, röntgen filmlerini düşününce sağlık. Ama, ne garip rastlantıdır ki, ikisi de aynı gün tarih sahnesine çıkıyor. 28 Aralık 1895... Aslında, sahipleri tarafından keşfedilişleri biraz daha eski. Ancak, kamuoyuna sunum ve açıklama aynı güne rastlıyor.

28 Aralık 1895. Bir Paris Cumartesi'si. Yüzyıl önce ve kışın ortası da olsa doyumsuz. Capucines Bulvarı'nda bir kahve. Lumière Kardeşler, sinema filminin ilk paralı gösterimini yapıyor. 33 izleyici var kahvede. Kısa birkaç filmden

birinin adı Fabrika Çıkışı...

Aynı gün ve hemen hemen aynı saatler. Almanya'da Würzburg Enstitüsü. Bir bilim adamı, 7 haftadır üzerinde çalıştığı büyük bir buluşu, heyecanla çalışma arkadaşlarına açıklıyor. Adı, Wilhelm Conrad Röntgen. Buluşun öyküsüne geline...

8 Kasım 1895 Cuma günü akşam saatlerinde, evinin bir odasını laboratuvar olarak kullanan Röntgen yorgunluk atmaya çalışmaktadır. Yarı karanlık odada birden bir şey dikkatini çeker. Az ötesinde duran baryum siyanür kaplı bir deney ekranından solgun ve cızlı bir ışık yayılmaktadır. Röntgen, floresan özelliği olan baryum siyanürün, üzerine uygulanan aydınlatma sona erdikten sonra da bir süre ışık yaymaya devam ettiğini bilmektedir. Ama ilginç olanı, bilim adamı bu ekrana uzun süredir aydınlatma uygulamamıştır. Şaşkınlık ve heyecan karışımı bir duygu içinde etrafa bakınırken Crookes tüpünün prize takılı olduğunu görür. Fişten çeker. Ölgün ışık kaybolmuştur. Takar ve ışık yeniden belirir. Crookes tüpünün ekranla hiçbir

bağlantısı yoktur. Ekranla tüp arasında yaklaşık bir metre mesafe vardır. Ve tüp, saydam olmayan siyah bir karton kılıf içindedir. Demek ki tüp çalıştığı zaman, aralarında hiçbir bağlantı olmayan bir ekranın ışıldamasına yol açmaktadır.

Wilhelm Conrad Röntgen, aslında bir süredir bu Crookes tüpü üzerinde çalışmaktadır. O andan itibaren, bu çalışmaları bir kenara bırakarak, tanık olduğu yeni oluşum üzerine düşünmeye başlar. Ve deyim yerindeyse, yaklaşık 50 gün bazı ihtiyaçları dışında, laboratuvarından dışarı çıkmaz. 50 gün, 50 gece bu bilinmeyen ve "x ışınları" adını verdiği oluşum üzerinde çalışır.

Würzburg Fizik Enstitüsü'nün, ünlü ama alçak gönüllü yöneticisi Wilhelm Conrad Röntgen'in, x ışınlarını bir rastlantı sonucu bulduğu söylenir. Bu görüşe katılan bilim adamı da vardır, katılmayan da. Ama bir gerçek var ki, Röntgen, o gün tanık olduğu ışınları hemen tanımlamaya girişen, tanımlayan ve mümkün olan en ayrıntılı açıklamayı getiren bilim adamıdır. Yeni oluşuma tanık olduğu andan itibaren deneylere girişir. Crookes tüpü ile ekran arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak amacıyla, bu iki cihazın birbirine konum ve uzaklıklarıyla başlayan binlerce deneme yapar. Tüpü, çok değişik maddelerle örter. Ama hep aynı sonucu elde etmektedir. Işınının delip geçmediği madde yok gibidir. Ancak ışınların geçişiminin, maddenin yapısı ve kalınlığıyla bağlantılı olduğunu da anlamıştır. Anladığı bir başka nokta ise, bu ışınların elektrik ya da manyetik alandan etkilenmediğidir. Wilhelm Conrad Röntgen, araştırmasında epeyce yol al-





Üstte, Türkiye'de x-ışınlarının üretilmesinde kullanılan ilk Crookes tüpü yanında da Esad Fevzi'nin kitabındaki şematik çizimi



yerine radyo dalgaları gönderilmektedir. Manyetik rezonans olarak bilinen bu yöntem, farklı atomların manyetik alan etkisi altında farklı frekanslardaki radyo dalgalarını soğurması esasına dayanır ve bilgisayar yardımıyla elde edilen veriler görüntü haline dönüştürülür

Türkiye'de Radyoloji

Röntgen'in deneylerinden kısa bir süre sonra ülkemizde de x-ışınlarından yararlanılmıştır. Esad Fevzi Bey adında, tıbbiye mezunu genç bir yüzbaşı, 1896'da ilk kez arkadaşlarının el radyografilerini çekmeyi başardı. Ancak, Türkiye'de röntgen uygulamasını başaran ilk kişi olarak bilinen Esad Fevzi Bey'den önce Galatasaray Lisesi fizik ve matematik öğretmeni Mösyö İzuar, x-ışınlarını üretmeyi başarmıştı.

madır ama neredeyse yemeden-içmeden kesilmiş, yan odadaki kasını günlerce görmediği olmuştur. Karısı Bertha, bir gün merak edip laboratuvara girdiğinde, kendisini apar-topar Crookes tüpünün karşısında bulur. "15 dakika elini hareket etmeden şöyle tutmalısın." demektedir heyecanlı eşi. Bilim adamı, 15 dakika kadar sonra, ekranda oluşan görüntünün fotoğrafını çeker. Fotoğrafta bir elin parmaklarının kemikleri ve yüzük parmağındaki takı çok açık biçimde görülmektedir. Deriyi ve eti geçebilen ışınlar kemikten geçememekte, ekrana yansıtıkları görüntü de, bu delip geçemedikleri maddelerin şekillerinden oluşmaktadır. Wilhelm Conrad Röntgen'in eşi Bertha'nın bu deneyi, tarihte çekilmiş ilk röntgen filmidir. Bilim adamı buluşundan emindir ve artık tarih sahnesine çıkmanın zamanı gelmiştir. 28 Aralık 1895 günü, Würzburg Enstitüsü'ndeki çalışma arkadaşlarını etrafına toplar ve buluşunu açıklar. Sert mizaçlı ama alçak gönüllü bilim adamının, dönemin basın-yayın organlarında birkaç gün içinde baş gösterecek "medyatik sansasyonel yarıştan" haberi bile yoktu. Aslında bu, pek umurunda da değildi. O, buluşunu, lüzumlu lüzumsuz takdire mazhar olmak için değil, insanın sağlık ve mutluluğuna katkı için yapmıştı. Ama, tıpkı bugün gibi, 1895'lerde de çoğu kesim ve özellikle de basın, yüce değerlerle "yükselen değerleri" birbirine karıştırıyordu. Ve yine, tıpkı bugünkü gibi, basın-yayın organlarının önemli bölümü, gazetecilikte "asparagas" adı verilen "masa başında uydurma haber" in belki de ilk örneklerini, birinci sayfadan sekiz sütuna manşet veriyorlardı; "Artık insanın aklından geçenler okunabile-

Esad Fevzi Bey ve arkadaşı Rifat Osman, 1897'de başlayan Osmanlı-Yunan Savaşı sırasında röntgen çalışmaları yapmak için görevlendirilmişlerdi. Alman teknisyen Hermann Kunter ile yaptıkları çalışmalar sonucunda, dünya tıp tarihinde ilk kez yaralı askerlerin vücutlarındaki kurşunlar radyografisi ile tespit edildi. Esad Fevzi Bey bu çalışmalarını "Röntgen Şu'a'at-ı ve Tatbikatı Tıbbiye ve Cerrahisi" adlı el yazmalarında toplamıştır. Ülkemizdeki ilk özel radyoloji laboratuvarı ise 1905'de Polonyalı bir Musevi olan Engender tarafından İstanbul'da kuruldu. O yıllarda İstanbul'da elektrik kullanımı yasak olduğundan, gerekli elektrik, bir dinamodan sağlanmaktaydı. 1924 yılında da bugünkü adı Türk Radyoloji Derneği olan Türk Elektrofizyoloji Cemiyeti kuruldu.

Cumhuriyet'in ilk yıllarında her alanda olduğu gibi tıp alanında da altyapı eksiklikleri bulunduğu için, o yıllarda sadece birkaç büyük hastanede iyi çalışan röntgen makineleri vardı. Hatta Atatürk'ün 1928'de geçirdiği bir rahatsızlık üzerine Gülhane Askeri



cekl!" ya da "Dikkat!.. Röntgen ışınları, dört duvar arasındaki mahremiyeti de gösterebilecek!.." vs. gibi. Sadece basın mı?.. Hayır, bu kervana Rus Çarı ile Çariçesi'nden sokaktaki insana, büyük ticari kuruluşlardan "girişimci ruhu" güçlü küçük iş adamlarına kadar herkes katıldı. Hepsini, hatıra fotoğrafı gibi el ya da başka bir organının röntgenini istiyordu! Ve sonuçta röntgen ışınları bu pazarın acımasız kuralına tutsak düşüp, kısa süre için de olsa fuarlarda ve panayirlarda para kazanma aracına dönüştü.

O günlerde, mağrur ve konuşmayı pek sevmeyen Wilhelm Conrad Röntgen ise, meraklıları ve gazeteci ordusunu, evinin önünden uzaklaştırmaya çalışıyordu. Dünya'nın en önde gelen şirket ve kuruluşlarının tekliflerini reddediyor, özel laboratuvarlarla çalışmayı ve buluşu için önerilen büyük paraları kabul etmiyordu. Röntgen "Buluşum, insanlığın malıdır" diyordu. Wilhelm Conrad Röntgen, bir gün buluşunu adadığı insanlığın üyelerinden birinden bir telgraf aldı. Adı açıklanmayan, ama muhtemelen ünlü biri olan muhatabı, bilim adamından, göğüs kafesinin filmi görmek istediğini, bunun için kendisine bir miktar x ışını göndermesini rica etmektedir. Wilhelm Conrad Röntgen'in cevabı nettir; "Siz bana göğüs kafesinizi gönderin, ben hallederim."



Üstte görülen fotoğraflar, Osmanlı-Rus savaşı sırasında çekilmiş ilk Röntgen görüntüleridir. Renkli çini ve suluboya ile yapılmış yanındaki resim ise Esad Fevzi Bey'in kitabında yer alıyor ve radyoskopi tekniğini anlatıyor. Sağdaki fotoğrafta da Türkiye'de kullanılan ilk röntgen cihazı görülüyor.



Tıp Akademisi için alınmış olan ve gümrüğe bekletilen bir cihaz Ankara'ya getirtmişti.

1926 yılında Dr. Selahattin Erk, ilk radyoloji derslerini İstanbul Haydarpaşa Tıbbiye Okulu'nda vermeye başladı. 1933 yılındaki Üniversite Reformuyla birlikte ilk radyoloji kürsüsü Şişli'deki Çocuk Hastanesi'nde kuruldu. Alman Nazizminden kaçan profesörlerin ülkemize yerleşmesiyle de radyoloji alanında daha önemli gelişmeler kaydedildi.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ülkemize ilk ultrasonografi 1972 yılında getirildi. İlk bilgisayarlı tomografi ise 1986 yılında hizmete girdi. Radyolojinin kullandığı en gelişmiş araç olan manyetik rezonansın Türkiye'de kullanıma girmesi ise 1989 yılına rastlıyor.

Radyolojinin ülkemizde önemli başarılarla başlayan serüveni, x-ışınlarının bulunuşunun 100. yılında pek de parlak bir görünüm sergilemiyor. Toplam 1537 uzmanın 3500 adet röntgen cihazıyla verdiği hizmet yeterli değil. Gelişmiş ülkelerde, bir milyon kişiye 250 cihaz düşerken, Türkiye'de bu sayı 60'ı geçmiyor. Aynı şekilde bu ülkelerde bir milyon kişiye 7 tomografi düşerken, bizde bu oran kişi başına 2.9 adet!

X-ışınları, 100 yıllık yaşamı boyunca çok önemli bilimsel gelişmelere tanık oldu. Röntgen'in 100 yıl önce, laboratuvarında farkında olmadan ürettiği ışınlar, bilime önemli katkılar sağlayan çalışmaların önünü açmış oldu. Bugün, bu alanlarda süren çalışmalar da, x-ışınlarının geleceğinin, en az geçmiş kadar parlak olacağını müjdeliyor.

İlhami Buğdaycı

Kaynaklar:
Encyclopedia Americana, Xrays, vol.29, New York, 1966
<http://xray.uu.se/>
Pinar, T., Dicle, O., Başlangıcından Günümüze Türk Radyolojisi, 1995