Hızlandırıcı ve parçacık fiziğinin **tıptaki yeri**

Maddeyi oluşturan temel parçacıkları inceleyen parçacık fiziği bilimi, deneysel çalışmalar vasıtasıyla önemli gelişmelere sahne oluyor. Sağlık sektöründe de sadece tanı koyarken değil, tedavide de hızlandırıcı ve parçacık fiziği çok önemli bir yere sahip. CERN'de temel bilimlerin yanı sıra, sağlık konusunda yapılan araştırmalar da hızla devam ediyor.



Hastaları sağlıklarına kavuşturmada sorunun teşhisini doğru yapma ve ardından doğru tedaviyi uygulayabilme iki önemli adım olarak biliniyor. Uygarlığın ilk çağlarından beri bu iki çalışma el ele yürütülerek, teknik olanakların artmasıyla da hastalar kırık çıkıkçılardan ortopedistlere, şifacılardan doktorlara yöneldi. Bu iki konunun 21. yüzyılın başında bulunduğu konuma baktığımızda, son dönemdeki ilerlemelerin büyük oranda hızlandırıcı ve parçacık fiziği sayesinde olduğu görülüyor.

TEŞHİS KOYARKEN

X-Işınları: 19. yüzyılın sonuna doğru iki büyük keşif yapıldı: X-ışınları (1895) ve elektron (1897). O günkü adıyla katot ışınlarını, yani hızlandırılmış elektronları, tungsten bir bloka çarptırarak X-ışınları elde ediliyordu. Görünür ışıktan daha yüksek enerjili fotonlardan oluşan x-ışınları, insan vücudunun içini görmeye, örneğin kemiklerin durumunu incelemeye olanak veriyor. Bu buluş

Dr. Ali BOZBEY
TOBB ETÜ Elektrik Elektronik Bölümü
Dr. Serkant Ali ÇETİN
Doğuş Üniversitesi Fizik Bölümü
Dr. Gökhan ÜNEL
Univ. Calif. Irvine, Fizik ve Astronomi Bölümü / CERN

hızla günlük hayata dâhil oldu. Birinci Dünya Savaşı'nda cankurtaranların bir kısmı gezici röntgen makinesi haline geldi, ameliyatlar daha bilinçli yapılmaya başlandı.

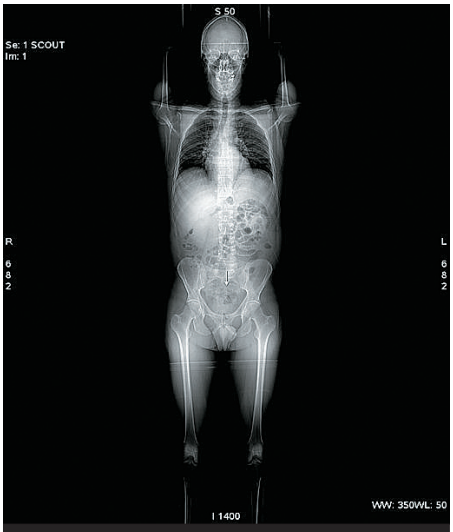
Bu gelişme, 20. yüzyılın başında çığır açan bir devrim, hızlandırıcı ve parçacık fiziğindeki buluşları birleştiren bir teknolojiydi. Yenilikleri takip eden firmalar hemen bu teknolojik devrim sürecine katıldı. Örneğin, röntgen ışınları üretmek için gerekli tüpleri ya da filmleri yapan şirketler değer kazandı. Bunlardan Philips bir dünya devi haline geldi.

Bilgisayarlı Tomografi: Farklı açılardan aynı anda çekilen röntgen görüntüleri bilgisayar yardımıyla bir araya getirilirse, üç boyutlu bir görüntü elde ediliyor. Bu yönteme de Bilgisayarlı Tomografi (BT) adı veriliyor. Üç boyutlu BT görüntüleri doktorlara hastayı daha ayrıntılı bir şekilde inceleme ve daha doğru teşhis koyma olanağı tanıyor.

Bütün bu yenilikler veya ilerlemeler, elektronun ve fotonun bilimsel olarak anlaşılması, bunların ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılabilmesi sayesinde oldu. Sanayide ve tıpta görülen bu gelişmeler, temel bilimlere yatırım yapan ülkelerde başladı ve tüm dünyaya yayıldı. Bu yeni ürünler, üretici ülkelerin önemli ihracat kalemleri haline geldi.



İnsan vücudunun bir kısmının ilk x-ışını görüntüsü. 22 Aralık 1895, Wilhelm Röntgen.



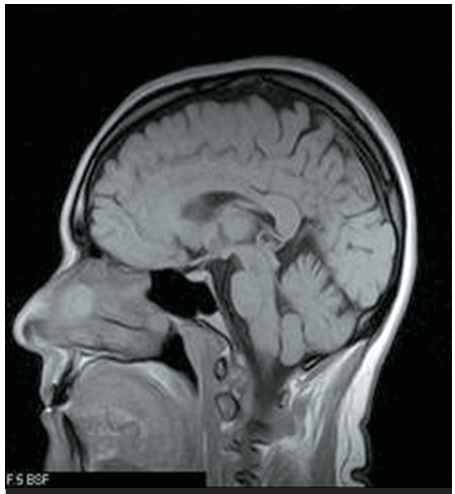
Muayene için kullanılan tipik bir BT keşif görüntüsü.

YETERLİ Mİ?

Ne var ki, ne teknolojik açıdan ne de bilimsel açıdan gelinen nokta yeterli değildi. Elektron ve fotonu öğrenerek üretilen aletler bazı riskleri de beraberinde getirdi. BT, iyonlaştıran bir ışınım (radyasyon) kullanarak tarama yapar ve resim üretir. Kullanılan X-ışınları hücrelerdeki DNA yapısını bozarak kansere yol açabilir. Yani BT taramalarının, küçük de olsa, kansere yol açma olasılığı bulundu. ABD'de yapılan araştırmalarda görülen kanser vakalarının %0,4'ünün BT taramalarından kaynaklandığı ortaya çıktı. Bu oranın BT kullanımının yaygınlaşmasıyla %1,5-2 seviyesine çıkmasından endişe edildi. Sorunun yanıtı yine temel bilim araştırmalarından ve bunların uygulamalarından geldi.

MR-EMAR

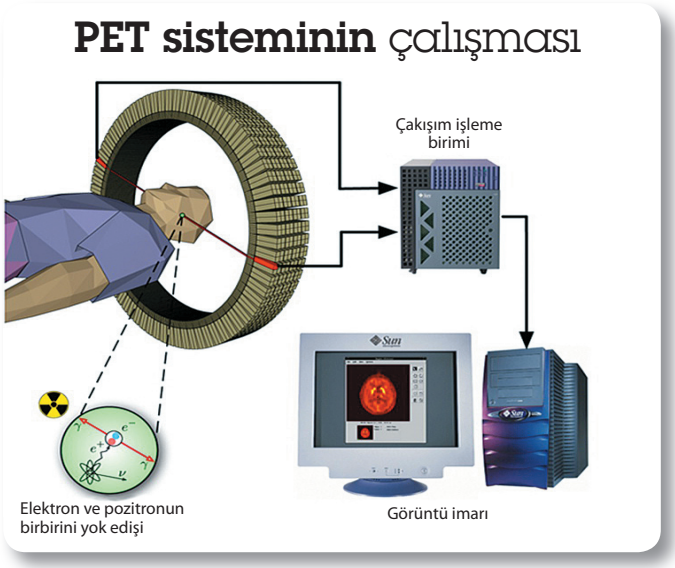
Parçacık fiziği araştırmaları sayesinde atom çekirdeğinin yapısı anlaşılınca, öncekilere göre vücuda daha az zararlı ve daha ayrıntılı tanı yöntemleri geliştirildi. Bu yöntemlerden en çok bilineni ve günlük dile "emar" diye geçen, "nükleer manyetik rezonans", vücudun iç yapısının ayrıntılarıyla görülmesini sağlıyor. Nükleer



MR, vücudun iç yapısının kesitler halinde ayrıntılarıyla görüntülenmesini sağlar.

sözünün halkta uyandırdığı rahatsızlıktan kaçınmak için kısaca MR denilen bu yöntem, insan vücudunda büyük bir oranda su olmasına ve suyun da hidrojen atomu içermesine dayanıyor. En basit atom olan hidrojen atomunun çekirdeği yüksek bir manyetik alan sayesinde uyarıldığında, çekirdeğin bulunabileceği enerji seviyesi ikiye ayrılır. Bu ayrılma kuantum fiziğinin doğrudan bir öngörüsü ve uygulamasıdır. Hidrojen çekirdeklerine, uygun frenkansta yani rezonans frekansında elektromanyetik dalga verilirse, çekirdekler bir üst enerji seviyesine geçer. Manyetik alanın kapatılmasından kısa bir süre sonra ise çekirdekler daha düşük seviyeli ilk hallerine geri düşerken, daha önce aldıkları ek enerjiyi bir foton olarak dışarı verir. Yine parçacık fiziğinin gereksinimleri doğrultusunda geliştirilen algıçlar, dışarı çıkan fotonların, geliş yönlerini ve zamanlarını ölçer. Toplanan bilgiler daha sonra bilgisayar yardımı ile 3 boyutlu bir resme dönüştürülür. Ölçümlerdeki zaman bilgisi özellikle önemlidir, algıçlar fotonları ilk aşamada yüzeydeki dokudan, daha sonra derindeki dokudan algılar. Aradaki bu fark derinlik bilgisine erişilmesini sağlar. Bu sayede ilgili bölgenin görüntüsü kesitler halinde alınır. Zaten tomografi sözündeki "tomo" kesit, "grafi" de resim anlamına geliyor.

Anlatılan bu yöntemden de anlaşılacağı üzere MR, BT'den farklı olarak, iyonlaştıran ışınım kullanmaz ancak başka riskler içerir. Kullanılan yüksek kuvvette manyetik alan, hastada olabilecek demir içeren implantları hareket ettirebilir veya vücutta olabilecek başka metallerin (piercing) aşırı ısınmasına neden olabilir.



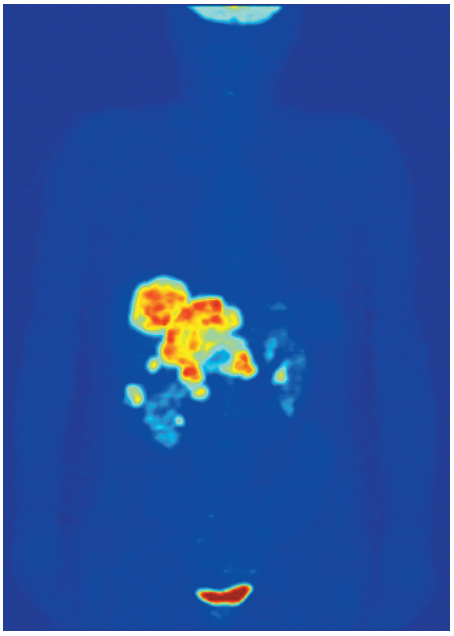
KARŞI ELEKTRONLAR VE PET

Parçacık fiziğindeki ilerlemeler insanlığa yeni bilgilerin yanı sıra, yeni teknolojiler dolayısıyla da yeni tanı yöntemleri getirmeye devam etti. Evrende madde dışında, karşı maddenin de var olduğunun keşfedilmesi ve karşı maddenin nasıl etkileştiğinin anlaşılması, hem bilimde hem de teknolojide yepyeni ufuklar açtı. Karşı maddeye en basit örnek olarak, elektronla neredeyse aynı özellikleri taşıyan ancak elektrik yükü eksi değil artı olan pozitron verilebilir. Elektron ve pozitron (genel olarak madde ve karşı madde) bir araya geldiğinde birbirlerini yok ederek enerjiiye dönüşür. Bu keşif yeni tanı ve tedavi yöntemlerini doğurdu.

Pozitron kaynağı olarak kullanılabilecek çok kısa ömürlü yapay atomlardan oluşan radyoaktif bir madde insan vücuduna verildiğinde, bu atomlardan yayılan her bir pozitron ulaştığı yerdeki elektronlarla etkileşip birbirini yok ederek, birbirine ters yönde giden iki fotona dönüşür. Dışarı çıkan bu fotonları algılayabilecek bir düzenek ve fotonların ölçülen özelliklerinden yola çıkarak pozitronu yayan atomun yerini bulabilecek bilgisayar programı da kurulduğunda bir PET yani pozitron yayınım (emisyon) tomografisi aleti elde edilir. Pozitronların herhangi bir yere değil, görüntü alınması amaçlanan organa gönderilebilmesi için, yapay atomlar o organın beslenmek için kullandığı moleküllere eklenir. Örneğin, beyin resimlenmek isteniyorsa, pozitron kaynağı olacak yapay atomlar, beyinde kullanılan şeker moleküllerine eklenir.

Bu alet (ve benzerleri) büyük şirketlerin Ar-Ge laboratuvarlarından çıkmadı. Gereken bilgi zaten temel fizik araştırmalarında üretilmişti. Foton algıçları, fotonların yolunu takip eden bilgisayar programı gibi gereken parçalar da parçacık fiziği deneylerinin gerekleri için zaten üretilmişti. Geriye bu teknolojileri yakından takip eden bir şirketin, bu ürünleri tıp konusuna uyarlaması ve fizikçilerin değil doktorların kullanabileceği bir hale getirmesi kalmıştı. Siemens ve Philips gibi yeni teknolojiye yatırım yapan şirketler bunu başardı ve PET tarama aletleri üreticisi haline geldi.

PET tarama aletlerinde çok kısa ömürlü radyoaktif malzeme olarak en sık Flor-18 kullanılır. Bu yapay atomun yarı ömrü yaklaşık 110 dakikadır. Flor-18 bozularak oksijene dönüşür. Bu da üretildikten 110 dakika sonra, üründen geriye sadece yarısı kalır anlamına geliyor. PET tarayıcısı sahibi laboratuvarlar, ürün kendi kendine bozulduğu yani depolanamadığı için, devamlı olarak Flor-18 üretmek veya satın almak zorunda kalır. Flor-18, parçacık hızlandırıcıları kullanılarak üretilir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) kayıtlarına göre Türkiye'de yüklü parçacık demetlerinin hızlandırılması teknolojisine dayalı 224 hızlandırıcı (Doğrusal Hızlandırıcı-Linear Accelerator/ LINAC) bulunuyor. Bu hızlandırıcıların da (Türkiye'de henüz üretilmediği için) satın alınmasının yaklaşık maliyeti (bakım masrafları hariç) toplam 350 milyon dolar. Yani endüstriyel hızlandırıcılar, yatırım yapılması gereken bir başka konu olarak öne çıkıyor. TAEK bu konuda çalışmaları başlattı ve tıbbi amaçlı kısa yarı ömürlü radyoizotop üretmek için kurduğu proton hızlandırıcı tesisi, Başbakan Recep Tayyip Erdoğan tarafından 30 Mayıs 2012 tarihinde açıldı, tesis deneme üretimi aşamasında bulunuyor.



Flor-18 kullanılarak yapılmış bir tam vücut PET taraması.

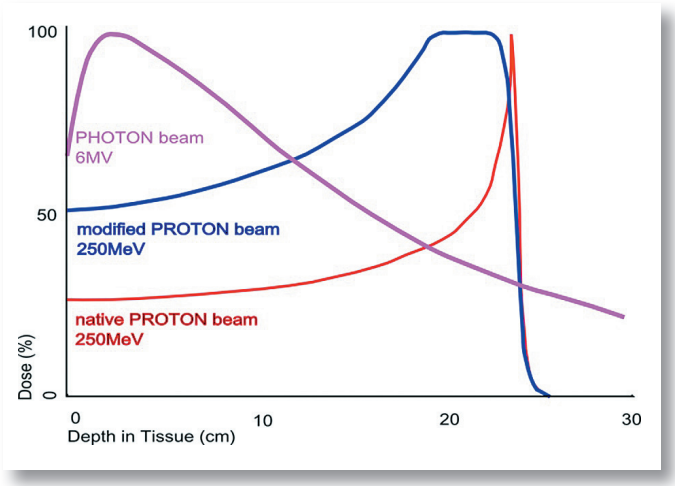
TEDAVİ YAPARKEN

Sadece tanı koyarken değil, tedavide de hızlandırıcı ve parçacık fiziği çok önemli bir yere sahip. Örneğin ışık parçacığı olan fotonlarla üretilen lazerlerin kullanıldığı göz bozuklukları tedavisi artık basit bir uygulama olarak görülüyor. Yeni çalışmalar, kanserli hücrelerin hızlandırılmış yüklü parçacıklarla yok edilmesi yönünde gelişiyor.

HADRON TERAPİ

Yüklü parçacıklar elektrik alanlarla hızlandırılabilir ve manyetik alanlarla saptırılabilir veya bir noktaya odaklanabilir. Yaptıkları elektromanyetik etkileşmeler sayesinde enerjilerinin bir kısmını da geçtikleri ortamdaki atomlara aktarır. Bu da kanserli hücreleri parçalayıp yok etmenin etkin bir yöntemidir.

Peki, ama hangi parçacıklar kullanılmalı? Duruma göre de-



Foton ile protonun dokudan geçerken bıraktıkları enerji karşılaştırması.

ğişir. Foton gibi kütlesiz veya elektron gibi çok çok hafif olan parçacıklar enerjilerini vücuda daha ilk girdikleri yerde bırakır. Yani daha çok yüzeysel tümörlerin yok edilmesinde veya ameliyatla içi açılan hastalarda kullanılıyor. Karbon iyonu veya proton gibi daha ağır parçacıkların ise enerjilerinin en büyük kısmını girişte değil, hesaplanabilen bir derinlikte bıraktıklarını Avustralyalı fizikçi Bragg gösterdi. Üstteki grafikte kırmızı çizgiyle gösterilen dağılımdaki en yüksek doz elde edilen derinliğe Bragg tepesi adı verildi. Bu da daha derindeki tümörlerin üst dokuya çok zarar vermeden yok edilebilmesi anlamına geliyor. Bu yönteme Yunanca "ağır" anlamına gelen "hadros" sözünden türetilen Hadron Terapi adı verildi.

HIZLANDIRICI FİZİĞİ VE STERİLİZASYON

Hadron terapide sözü geçen enerjiler, parçacıkların 200 milyon voltluk bir gerilim altında hızlandırılmışcasına kazandıkları enerjilerdir. Parçacıkların istenilen şekilde (enerji, odaklama gibi özellikler) hazırlanması konusunda çalışan bilim, Türkiye'de çok yeni olan, hızlandırıcı fiziğidir. Türkiye'de parçacık hızlandırıcılarına dayalı temel fizik araştırmalarının ve diğer uygulamaların gerçekleştirilebileceği bir hızlandırıcı kompleksi kurulması 1990'ların ortalarında önerildi*. O zamanlar başlayan çalışmalar bugün bu kompleksin, yani Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin (THM), teknik tasarımının yapıldığı bir projeyle sürdürülüyor.

Hızlandırıcıların başka bir uygulaması da sterilizasyon konusundadır. Elektron hızlandırıcısından elde edilen demetlerin sterilize ettiği yiyecekler, bağışıklık sistemi çökmüş hastalara veya görevleri boyunca kesinlikle sağlam kalmaları gereken astronotlara verilecek kadar temizdir. Bu yöntemde, elektron demetiyle bakteri ve virüs gibi zararlıların DNA'ları bozularak kesin sterilizasyon sağlanıyor.

BİTMEYEN YENİLİK KAYNAĞI CERN

Hızlandırıcı ve parçacık fiziğinin tıp alanına getirdiği yenilikler burada bitmiyor. CERN'de temel bilimlerin yanı sıra, sağlık konusunda yapılan araştırmalar da hızla devam ediyor. Bu araştırmalardan biri Hadron tedavisinde protonlar yerine karşı protonlar kullanılmasıyla ilgili. Karşı protonlar, vücut içinde hızlarını kaybederek ilerleyip, enerjileri tükendiğinde bile, protonlarla birbirlerini yok ederek enerji bırakır (madde ve karşı madde birbirini yok eder). Bu da tümörlerin daha az radyasyonla ve daha hızlı yok edilebilmesi anlamına geliyor. Bir diğer araştırma konusu olan IPSA (Imaging Pixel Silicon Array), bir ucunda fotonlardan elektron üretmeye yarayan fotokatot yüzey, diğer ucunda da elektronları ölçmeye yarayan silikon algıç olan 3 santimetre uzunluğunda bir tüptür. Bu alet sayesinde bugünkünden çok daha iyi kalitede görüntü elde etmek için çok daha az foton gerekiyor. Bu da insanlar için çok daha az radyasyon almak anlamına geliyor.

Bu yeni teknolojiler 1900'lerin başındaki röntgen teknolojisine benzetilebilir. Zamanla bu yeniliklerin kullanıma gireceği ve ilgili sanayinin de aynı başarı dalgasını yakalayacağı ortada.

SONUÇ

Genel olarak hastalıkları en çabuk ve en doğru şekilde teşhis ve tedavi etmek hedefi, teknolojinin en ileri noktasında yer alabilmeyi gerektiriyor. O en ileri noktaya da ürün satın alarak erişmenin ekonomik olarak verimli olmadığı açık (bkz Ekonomik Forum Ağustos 2012 sayısı, Teknoloji sayfası). İnsanlık için bilimin gittiği en uç noktada, araştırma geliştirme yaparak bulunmak, gerek yeni iş alanları yaratılması, gerek hızlı geri dönüm olanakları ve gerek ek getirisiyle birçok yarar sağlıyor.

Kaynakça

[1] http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920563295800506

[2] http://www.engr.psu.edu/antimatter/Papers/pbar_med.pdf



** S. Sultansoy, "Regional project for elementary particle physics: Linac-ring type c-τ factory", Turkish Journal of Physics 17 (1993) 591.*