

# ELEKTRON VE POZİTRONLAR İÇİN KRİSTALİÇİ KANALLAR

*Yazımızın bu bölümünde, kristaliçi kanal oluşumu olayının kuantum mekaniksel anlatımı, görelilik kuramı incelikleri ve bazı uygulamaları tartışılacaktır.*

Allan H.SØRENSEN ve Erik UGGERHØJ

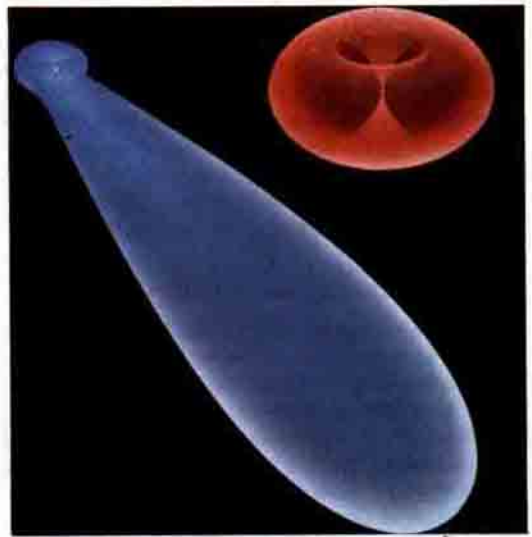
(Geçen sayıdan devam.)

## KUANTUM MEKANİKSEL ANLATIM

**K**anal oluşumu olayının top-ve-oluk modeli, parçacıkların kristaldeki atom düzlemleri ile nasıl etkileştiğini açıklarken iyi bir sezgisel anlayış sağlıyorsa da, tam doğru değildir. Çünkü yüklü parçacıklarla atom çekirdeklerinin mikroskopik dünyası, klâsik fizikten çok kuantum mekaniği ile anlaşılabilir. Genel olarak, yüklü parçacıklar, atom düzlemleri arasında ileri geri slalom yapabilecek kadar iyice yerleşmiş (localized) nesnelere değildir; bunun yerine, boyuna ve enine enerjilerin özel değerlerine karşılık gelen kuantum durumlarında bulunurlar.

Protonlar ya da alfa parçacıkları gibi ağır parçacıklar için, klâsik fizik, kanal oluşumu olayını oldukça iyi açıklar. Kuantum durumları arasındaki uzaklık kütle ile ters orantılı olduğundan, aynı boyutlardaki bir uzay bölgesine, hafif parçacıklarınkinden göre, ağır parçacık kuantum durumlarından daha çok sığar. Örneğin, bir proton ve bir karşıtprotondan oluşan bir atomun yarıçapı, standart hidrojen atomununkinin binde biri basamağındadır; ayrıca, en alt elektron enerji düzeyi yarıçapı içine proton-karşıtproton sisteminin 30'dan fazla enerji düzeyi sığar. Çok sayıda yakın aralıklı kuantum düzeyi bulunan sistemler, klâsik fiziksel davranış gösterirler: Kuantum sistemlerinde, yüksek enerji düzeylerinin davranışı klâsik fizik sonuçları ile uyumlu olup, yakın kuantum durumları arasındaki geçişler süreklidir; bu, Niels Bohr'un ünlü **karşılık gelme ilkesidir**.

Atomlar için geçerli olan düşünceler, kristaliçi kanallarda yol alan mermi parçacıklar için de geçer-



*Görelî demet oluşumu, kristaliçi kanalda ilerleyen parçacığın yayınladığı ışımın deseninde değişikliğe yol açar. Fotonlar, parçacığa eşlik eden gözlem çerçevesinde her doğrultuda (tam yukarı ve tam aşağı doğrultular dışında) yayımlanırken, laboratuvar çerçevesindeki ışımın, başlıca, parçacığın hareket doğrultusu boyunca uzanan dar koni içinde yayımlandığı görülür. Doppler kayması, bu koni içinde yayımlanmış bulunan fotonların gözlenen enerjisini artırır.*

lidir: Ağır mermi parçacıkların hareketi, klâsik mekanik yasalarına uyar; kütleleri büyük olduğundan, enine uzayda daha çok kuantum durumları bulunur. Ayrıca da, daha önce gördüğümüz gibi, ağır parçacıklar genellikle artı yüklü oldukları için, çekirdek dizileri ya da düzlemleri arasında; oysa, eksi yüklü parçacıklar, çekirdek dizileri yakınındaki çok dar bölgede yol alırlar. Öyleyse, artı yüklü parçacıkların geniş uzayları da, onlara daha çok kuantum durumu sağlamaktadır.

Bunun tersine olarak, bir silikon kristalindeki çizgisel kanalda yol alan birkaç MeV'lik enerjili bir elektronun seçebileceği 10 ya da daha az kuantum durumu bulunur; bu durumlar, elektronun enine hareketinin gösterimini oluştururlar. Düzlemsel kanalda ilerleme olayında ise, oluk daha yüzeysel olduğundan, elektronun enine hareketi bir tek kuantum durumuna kısıtlanmıştır. Kuantum durumları sayısının kısıtlı olmasının, birçok sezgikarşıtı sonucu vardır. Örneğin, alt enerji durumlarının olasılık yoğunluğu (elektronu, kanal içinde belirli bir konumda bulma şansı), klâsik öngörülerden çok farklıdır. Kuantum fiziksel yapı, kanal içinde giden elektronların yayınladığı ışımın spektrumlarında da görülür. Kanal içinde ilerleyen elektronlar, enine enerji durumlarının birinden öbürüne geçiş yaparlarken, özel dalgaboylarında ışım yayınlırlar.

Belirtilmesi gereken bir başka nokta da, elektronun, az sayıda kuantum durumuna kısıtlanmış ol-

duğu zaman bile, bazı davranışlarının klâsik fizikle açıklanabildiğidir. Örneğin, elektronun çekirdeklerle yakın karşılaşma durumundaki saçılması ile ilgili klâsik ve kuantum mekaniksel öngörüler birbirleriyle iyi uyuşur. Bu saçılma olaylarında, elektronlar ana yollarından kanal oluşumu kritik açısından daha büyük bir açı kadar saparlar. Demek ki, ele aldığımız olaylarda, kuantum etkileri egemense de, klâsik mekanik de bazen model kurmak için kullanılabilir.

## GÖRELLİK ETKİLERİ

Orta enerjilerdeki kanal oluşumu olayını açıklayanlarla aynı temel ilkeler, mermi parçacıkların yüksek enerjilerinde de geçerlidir; ancak bu enerjilerde, görellilik etkileri önem kazanır. Görellilik etkileri, bir parçacık ışık hızına yakın hızlarla hareket ettiği zaman ortaya çıkar. Bu hızlarda, mermi parçacığın kinetik enerjisi, kendi durgun enerjisine (durgun külesine eşdeğer olan enerjiye) yakın ya da ondan büyük olur. Görellilik etkilerinin ortaya çıkma eşiği, protonlar için milyar elektron volt (GeV) basamağındadır; elektronlar için ise, yaklaşık 500.000 eV'dir.

Bir kristalin içinden görelî hızlarla geçen bir parçacığın enine kuantum durumlarının sayısı, görelî büyüme yüzünden de, enerji düzeylerinin yaklaşması ile artar. Bu nedenle, elektronlar için bile, yine kuantum mekaniksel anlatım geçerli olabilir.

Görellilik, yalnızca kuantum durumlarının aralığını değil, parçacığın bir kuantum durumundan öbürüne geçerken yayınladığı ışınımı da etkiler. Sonuç olarak, birkaç MeV'lik bir elektronun enine geçişlerde yayınladığı görünür ya da kırmızıaltı bölgedeki ışının frekansı, spektrumun X-ışınları bölgesine kayar.

## POZİTRON KANALLARI

Yüksek enerjili (GeV basamağında) pozitronların yer aldığı bir süreçte yayınlanan ışınım da fizikçilerin ilgisini çekmektedir; çünkü süreci açıklayan model çok basittir ve ışınımın kendisi hemen hemen kusursuzca tekrenk (monokromatik)tir. Bir kristal düzlemleri takımı ile pozitron arasındaki kuvvet, pozitronun kanal merkezine uzaklığına çizgisel olarak bağlıdır. Geriçatırma kuvveti, frekansı enine enerjiden tümüyle bağımsız olan, düzgün bir enine salınım oluşturur. Demek ki, pozitronlar ufak sarkaçlar gibi hareket ederler. Küçük salınımlar yaklaşımı geçerli olduğundan, ileri doğrultuda yayınlanan tüm fotonların enerjileri birbirlerine hemen hemen tam eşittir: Silikon kristalinde, 1-10 GeV'lik pozitronlar için, 10-100 MeV kadardır.

## KRİSTALİÇİ KANALLARDA PARÇACIK KARŞITPARÇACIK ÇİFTLERİ OLUŞTURULMASI

Kristaliçi kanallarda yol alan yüksek-enerjili bir parçacığın, tüm kinetik enerjisini bir tek foton olarak ışıyabilmesi, düşük-enerjilerde görülmeyen bir etki ortaya çıkar: Fotonlarla, bol miktarda parçacık-karşıtparçacık çifti oluşturulması. Foton enerjisinin 1 MeV'lik bölümü çiftin kütlelerinin oluşturulmasına gider; kalanı ise, elektron ve pozitrona kinetik enerji sağlar. Bol miktarda çift üretimi olayı, kanal oluşumunun görüldüğü kristale bağlı olan bir eşik enerji değerinin üzerinde ortaya çıkar; örneğin, germanyum kristalindeki en etkin eksen için, bu eşik değer 40 GeV'dir.

## KANAL IŞINIMININ UYGULAMALARI

Kanal ışınımı, katıhal yapılarını incelemek için bir gereç oluşturur. Kanal oluşumunun gerçekleştiği kristaldeki mermi-parçacığın hareketinin kuantum durumları yardımı ile, kristalin iç yapısı araştırılabilir. Kanal ışınımının spektroskopisinden yararlanarak, hedef atomların ısı (termal) titreşimleri ve bunların düzensiz mi, bağıllılaşmış mı oldukları incelenebilir.

Kanal ışınımı olayının, belki de en umut verici uygulaması, şiddetli ve ayarlanabilir bir X-ışını ya da gamma ışınımı kaynağı oluşturmasıdır. Elde edilen gamma ışınlarını kullanarak, bölünebilir ağır çekirdeklerin enerji düzeyleri belirlenebilir. Ayrıca bu ışınlar, döteryum ve berilyum gibi hafif elementleri uyatarak, onların yüksek verimle nötron salmalarını da sağlayabilirler.

Ekleme gerekir ki, düzlemsel kanallarda yollan alan parçacıklar, yalnızca kanal düzlemine dik olarak titreştiklerinden, elde edilen ışınım iyice kutuplanmış olur ve böylece kutuplanmaya bağlı süreçlerin incelenmesinde kullanılabilir.

Başka bir uygulama alanı da, laser ışınları için kanal oluşturmaktır. Kristaliçi kanalda ilerleyen laser yayınları, X-ışınları bölgesinde yer alırlar.

## SONUÇ

Şimdilik, deneysel veriler çok az olduğundan, kristaliçi kanallar kuramı tam sınanmış durumda değildir. Ancak, fiziğin ilginç ve öğretici bir araştırma alanını oluşturmaktadır.

Scientific American'dan çev.:  
Yard.Doç.Dr. Hanaslı GÜR

**KENDİLERİNİ BEĞENENLER, BAŞKASININ TUZAĞINA APTALLAR KADAR KOLAY DÜŞERLER.**

Florian