

Quantum Mekanigi

Isaac Newton'un 1687'de yayınlanan çalışması modern fizik biliminin başlangıcı olarak kabul edilebilir. Newton sadece hareket ve yerçekimi ile ilgili temel yasaları tanımlamakla kalmadı, aynı zamanda yaklaşık iki yüzyıl sonra tüm bilimsel teorileri de içine alan genel bir felsefi dünya görüşü oluşturdu ve bu düşünce sistemi "Klasik Fizik" olarak bilinir. En dikkat çekici özelliği neden sonuç ilişkisidir. Evrenin bir kısmının mevcut durumu hakkında yeterli bilgi verildiğinde, en azından prensipte gelecekteki davranışını tahmin etmek mümkündür. Örneğin, güneş ve ay tutulmaları yüzyıllar öncesinden çok küçük hatalarla tahmin edilebiliyordu. Klasik fiziğin diğer büyük temel kavramlarından birisi ise Maxwell'in elektromanyetizma teorisidir.

19. yüzyılın sonuna kadar bilim insanları deneysel olarak radyasyon/ışık ve madde hakkında önemli ölçüde bir bilgi birikimine sahip oldular fakat bu deneysel gözlemleri klasik fizik yasalarıyla açıklamakta başarısız olunmuşlardır. Örneğin, belli bir termodinamik dengede tutulan bir siyah cismin yaydığı radyasyonun spektrumu deneysel olarak başarılı bir şekilde ölçülmesine rağmen ışık ve sıcaklık arasındaki ilişki klasik fizik ve termodinamik yasalarıyla açıklanamamıştır. Çünkü spektral çizgilerin nasıl oluştuğu ve ışığın uzayda parçacık yada dalga olarak nasıl yayıldığı bilinmiyordu. Başka bir örnek ise, farklı elementlerin sahip olduğu farklı özellikleri veya neyin radyasyon ve flüoresansa sebep olduğu açıklanamamaktaydı.

20. Yüzyılda tüm bu problemleri açıklamak için bilinen yasaları kullanılarak mikroskobik sistemlerin tüm özelliklerinin açıklanamayacağı anlaşıldı ve bunun için kuantum mekaniği adı verilen yeni bir bilim dalının doğmasına neden olmuştur. Bu bilim dalı mikroskobik sistemler için uygulanabilecek birtakım yeni fizik yasaları geliştirmiş olup evren anlayışımızı kökten değiştirmiştir. Kuantum mekaniğinin felsefi sonuçları o kadar geniş ve karmaşıktır ki hala tam olarak anlaşılammıştır. Tüm bu karmaşıklığa rağmen, kuantum mekaniğinin benzersiz tahminlerinin hiçbir zaman yanlış olduğu kanıtlanmamış olmakla birlikte bilinen tüm atom altı parçacıkların ve yerçekimi dışındaki tüm kuvvetlerin davranışları dahil olmak üzere çok çeşitli fenomenleri açıklamak için kullanılmaktadır. Kuantum mekaniği, fizikte olduğu gibi kimya ve biyolojideki diğer şeylerin yanı sıra, beynimizin farklı kokuları nasıl yorumladığını ve fotosentezin nasıl çalıştığını açıklamak için de kullanılmıştır. Hemen hemen tüm modern

teknolojiler, transistörler, mikroçipler ve lazerler de dahil olmak üzere kuantum mekaniğinin yasalarına dayanır.

Kuantum teorisinin kökeni, klasik fizik yöntemleriyle yeterince açıklanamayan elektromanyetik radyasyon içeren üç farklı olaya dayanır. Bunlardan birincisi, 1900 yılında Max Planck'ın katkısına yol açan siyah cisim radyasyonu, ikincisi 1905'te Albert Einstein tarafından incelen fotoelektrik etki, ve üçüncüsü ise 1913'te Neils Bohr tarafından açıklanan hidrojen atomunun çizgi spektrumları. Bu üç olay eski kuantum teorisi olarak da bilinir. 1920 lerin ortalarında mikroskobik sistemlerin davranışlarını daha tutarlı bir matematiksel formülasyon ile ifade edilmesiyle modern kuantum mekaniği ortaya çıkmıştır. Modern kuantum mekaniğine katkıda bulunan önemli bilim insanlarından bazıları: Max Born, Paul Dirac, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli ve Erwin Schrödinger'dir.

Siyah Cisim Işması

Mutlak sıfırın üzerindeki sıcaklıklarda tüm normal maddeler elektromanyetik radyasyon yayar. Bu durum maddenin iç termal enerjisinin elektromanyetik enerjiye dönüştürülmesinin bir kanıtı olup ve termal radyasyon olarak da adlandırılır. Tersine, normal maddeler yalnızca belli dalgaboyuna veya frekansa sahip elektromanyetik radyasyonu emerken, bir siyah cisim üzerine düşen tüm dalga boylarındaki radyasyonu absorplayan/emen cisimdir.

Siyah cisim radyasyonu, Planck spektrumu veya Planck yasası olarak adlandırılan, yalnızca siyah cismin sıcaklığına bağlı olan karakteristik, sürekli bir frekans spektrumuna sahiptir.

Spektrum, karakteristik bir frekansta maksimuma ulaşır ve artan sıcaklık ile bu maksimum noktası yüksek frekanslara doğru kayar. Oda sıcaklığında siyah cismin emisyonu çoğu elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinde olup sıcaklık yaklaşık 500 santigrat dereceyi geçtiğinde ise siyah cisimler belirgin miktarda görünür ışık yaymaya başlar.

Karanlıkta, ilk soluk gri olarak görünür. Artan sıcaklıkla birlikte, önce donuk kırmızı, sarı ve sonra göz kamaştırıcı mavimsi-beyaz görünür. Siyah cisim beyaz görüldüğünde, ultraviyole radyasyon olarak enerjisinin önemli bir kısmını yayar. Örneğin, güneş (etkili sıcaklığı yaklaşık 5800 K), bir siyah cisim gibi davranır ve spektrumunun görünür bölgede (sarı-yeşil bölgesinde) maksimuma ulaşır, ancak ultraviyolede de önemli bir güce sahiptir.

Doğada bulunan cisimlerin hiç biri siyah cisim gibi davranamazlar. Çünkü gerçek cisimler üzerine yalnızca belli bir enerjiye sahip olan ışığı soğura bilir veya emisyon yapabilir. Her şeye rağmen, siyah cisim ışması birçok sıradan nesne tarafından kendiliğinden yayılan termal radyasyonu açıklamada iyi bir model olabilir. Siyah cisim için yaklaşık bir model olarak, içi

boş mükemmel bir şekilde yalıtılmış ve duvarında termal dengeyi etkilemeyecek şekilde küçük bir delik açılmış bir cisim düşünülebilir. Bu cisim içerisinde birçok kez soğurulmuş ve yayılan elektromanyetik enerjinin (aynı zamanda cismin duvarlarıyla termal dengede) çok küçük bir kısmı cismin üzerindeki delikten sızar. Sızan bu radyasyon (ışın/elektromanyetik enerji) kayıt edilerek siyah cisim yapmış olduğu emisyon/ışıma spektrumu elde edilebilir. J. Stefan (1879) da deneysel olarak bir cismin termal denge sıcaklığını (T) cismin yaptığı toplam emisyon gücüne (birim alan başına saniyede yayılan enerji, $J/(m^2 \cdot s) = W/m^2$ cinsinden) bağlayan bir deneysel bağıntı buldu ($P = \sigma T^4$, burada σ bir sabit) ve Stefan yasası olarak adlandırıldı. Ludwig Boltzmann bu yasayı teorik olarak açıklamasıyla da Stefan-Boltzmann yasası olarak da bilinir ve eşitlikteki sabitede (σ) Stefan-Boltzmann sabiti denir değeri ise $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$.

Örnek: Güneşin yüzey sıcaklığı 5700 K olduğuna göre a) Güneşin yaydığı güç ne kadardır?

b) Güneşin yaydığı mümkün olan maksimum güç ne kadardır?

Çözüm : (a) Güneşten yayılan birim yüzey alını başına güç Stefan-Boltzmann Yasası ile verilir: $P = \sigma T^4 = (5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4) (5700 K)^4 = 5.98 \times 10^7 W/m^2$

(b) Güneşin yaydığı toplam gücü (P(top)): $P(\text{top}) = (\text{Güneşin metrekaresi başına yaydığı güç})(\text{Güneşin yüzey alanı})$ ile hesaplanabilir. Güneş yarıçapı $6,96 \times 10^8 m$ ise alanı $A = 4\pi R^2 = 4 (3,1416) (6.96 \times 10^8 m)^2 = 6.08 \times 10^{18} m^2$ dir.

$P(\text{top}) = P \cdot A = (5.98 \times 10^7 W/m^2)(6.08 \times 10^{18} m^2) = 3,6 \times 10^{26} W$

Siyah cisim deneyinden elde edilen ikinci önemli sonuç Wien tarafından yapılmış olup ve Wien kayma yasasıdır. Wien yasası, belirli bir sıcaklıkta bir cisimden gelen emisyon spektrumunun noktasına karşılık gelen dalgaboyu ile cismin termal denge mutlak sıcaklığı ters orantılıdır ve şu eşitlik ile verilir:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b = 2.89 \times 10^{-3} m \cdot K$$

Bu eşitlikteki sabit, Wien kayma sabiti olarak bilinir.

Örnek: Güneş'in yüzey sıcaklığı 5700 K ise, güneş radyasyonunun maksimum yoğunluğuna karşılık gelen ışığın dalgaboyu nedir?

Çözüm: Yukarıdaki denklemde T yerine 5700 K koyarsak, $\lambda_{\max} = 0.0029 m \cdot K / 5700 K = 5.1 \times 10^{-7} m = 510 nm$ olarak bulunur.

Örnek:

Yüzey sıcaklığı 32 °C olan bir cisim:

a) Ne kadarlık bir güç (W/m^2 cinsinden) yayar?

b) Yaydığı emisyon spektrumunun maksimum noktasına karşılık gelen radyasyonun

dalgaboyu nedir?

$$\text{Çözüm: a) } P = \sigma \cdot T^4 = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(305\text{K})^4 = 491 \text{ W/m}^2$$

b) Maksimum pike karşılık gelen ışığın dalgaboyu:

$$\lambda_{\text{max}} = (2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}) / T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} / 305\text{K} = 9.5 \times 10^{-6} \text{ m} = 9500 \text{ nm.}$$

Wien Dağıtım Yasası

William Wien termodinamiği kullanarak ideal bir siyah cismin $d\lambda$ dalgaboyu aralığındaki spektral enerji yoğunluğu için şu eşitliği elde etti:

$$u(\lambda, T)d\lambda = Af(\lambda, T)d\lambda/\lambda^5$$

Wien $f(\lambda, T)$ fonksiyonun davranış şeklini bulmak için siyah cisim emisyon spektrumu ile Maxwell'in enerji dağıtım fonksiyonunu karşılaştırarak $f(\lambda, T)$ fonksiyonun $\exp(-a/\lambda T)$ şeklinde olduğu sonucuna vardı. Böylece, Wien siyah cismin yayımladığı spektral enerji yoğunluğu için aşağıdaki eşitliğini elde etti.

$$u(\lambda, T)d\lambda = A \cdot \exp(-a/\lambda T)d\lambda/\lambda^5$$

Bu eşitlik aynı zamanda Wien dağıtım yasası olarak da bilinir. Bu eşitlikteki küçük- a ve büyük- A birer sabittirler. Wienin bu eşitliği deneysel olarak elde edilen enerji yoğunluğu spektrumunun kısa dalga boylarındaki kısmı ile iyi uyum sağlarken, uzun dalga boylarında önemli ölçüde sapma gösterir.

Rayleigh-Jeans Yasası

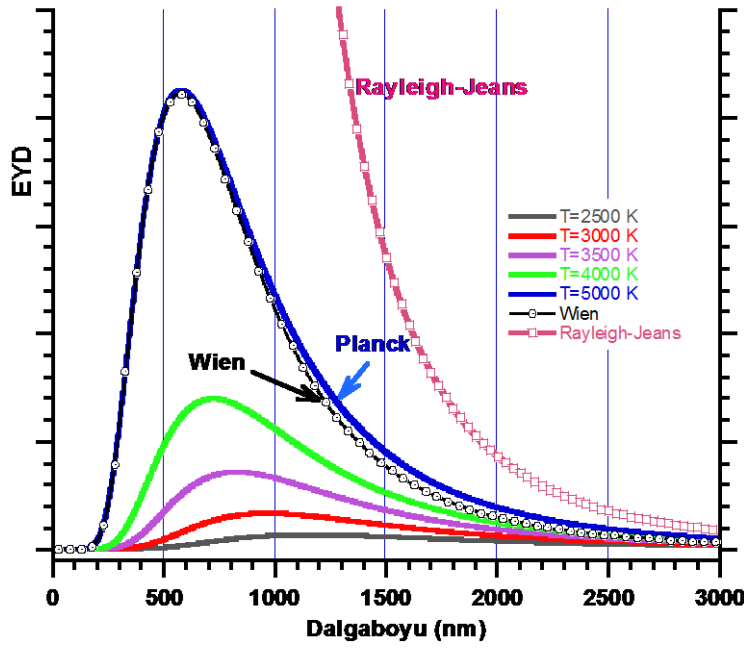
Lord Rayleigh ve J.H. Jeans klasik fizik yasalarını kullanarak siyah cisim $d\lambda$ dalgaboyu aralığındaki spektral enerji yoğunluğu için denklem türetiler.

$$u(\lambda, T)d\lambda = 8\pi kT d\lambda/\lambda^4$$

Bu eşitlik uzun dalgaboylarında deneysel verilerle oldukça uyumlu iken kısa dalga boylarında belirgin bir uyumsuzluk göstermektedir.

Rayleigh-Jeans yasasının teorik öngörüsü ile birlikte siyah cisim ışınım spektrumunun deneysel bir grafiği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Uzun dalga boylarında Rayleigh-Jeans

yasası deneysel verilerle oldukça uyumlu iken kısa dalga boylarında belirgin bir uyumsuzluk vardır. Bu uyumsuzluğu λ sıfıra yaklaşırken $u(\lambda, T)$ fonksiyonunun sonsuza gitmektedir. Sonuç olarak siyah cisim spektrumunda kısa dalga boylarının baskın olmasının yanı sıra, siyah cismin ışıdığı enerji de sıfır dalgaboyu limitinde sonsuz olmalıdır. Bu öngörü ile çelişkili olarak Şekilde çizilen deneysel veriler λ sıfıra yaklaştığında $u(\lambda, T)$ nin de sıfıra yaklaştığını gösterir. Teori ile deney arasındaki bu tutarsızlık öyle şaşırtıcı bir haldedir ki, bilim adamları ona morötesi felaket adını verdiler,



Şekil-1. Siyah cisim ışıması için 2500-5000 K aralığında Planck'ın kanatlaşma hipotezi ile elde edilen enerji yoğunluğu dağılımı ($EYD = u(\lambda, T)$) ile T= 5000 K de Wien ve Rayleigh-Jeans enerji yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Planck'ın dağılımı deneysel sonuçları çok iyi bir şekilde açıklarken, Wien dağılımı kısa dalga boylarında deneyle iyi uyum içerisinde iken uzun dalga boylarında önemli sapmalar göstermektedir. Rayleigh-Jeans dağılımı ise uzun dalga boylarında enerji yoğunluğu dağılımını açıklamaktadır. Deneysel sonuçlar Planck formülasyonu ile aynıdır.

Kaynaklar

- [1] Prof. Dr. Fevzi KÖKSAL, Doç. Dr. Rahmi KÖSEOĞLU, "Kuantum Kimyası", Nobel Yayınları, 2012
- [2] Prof. Dr. Fevzi KÖKSAL, "Kuantum Kimyası ve Fiziğinde Problemler ve Çözümleri", Nobel Yayınları, 2012
- [3] Prof. Dr. Mustafa Cebe, "Kuantum Kimyası", Dora Yayıncılık, 2012
- [4] Cemil Şenvar, "Atom, Molekül ve Çekirdek", Hacettepe Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1982.
- [5] John R. Taylor, Chris Zafaritos,(Çeviri editörü; Bekir Karaoğlu), "Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik", ARTe Güven Yayınları, İstanbul, 1996.