

TANITIM

Elektrodinamik nedir ve fiziğin genel plânı içinde nerede bulunur? Mekaniğin Dört Alanı

Aşağıdaki çizgede mekaniğin dört büyük alanını özetlersek:

Klasik Mekanik (Newton)	Kuantum Mekaniği (Bohr, Heisehberg, Schrödinger ve diğerleri)
Özel Görelilik (Einstein)	Kuantumlu Alanlar Teorisi (Dirac, Pauli, Feynman, Schwinger ve diğerleri)

Newton mekaniği bu yüzyılın ilk yıllarında yetersiz bulunmuştu.Bu mekanik "günlük hayatta" doğrudur fakat yüksek hızlarda (ışık

hızına yakın hızlarda) hareket eden cisimler için yanlıştır ve özel görelilik (1905 de Einstein tarafından getirilen teori) ile değiştirilmelidir; son derece küçük cisimler (atomların boyutuna yakın) için ise başka sebeplerden dolayı yürümez ve yerini **kuantum mekaniğine** (Bohr, Schrödinger, Heisenberg ve başka birçokları tarafından çoğunlukla yirmili yıllarda geliştirilen) **bırakır**. Hem çok hızlı ve hem de çok küçük olan cisimler(modern parçacık fiziğinde yaygın olduğu gibi) için göreliliği ve kuantum ilkelerini birleştiren bir mekanik vardır: bu görelili kuantum mekaniği kuantumlu alan teorisi olarak bilinir. Otuzlu ve kırklı yıllarda geliştirilmiş olan bu teori bugün dahi tamamen doyurucu bir sistem olduğunu savunamaz Her ne

kadar elektrodinamik eşsiz basitlikle diğer üç alanın içlerine kadar uzansa da, bu kitapta, son bölüm dışında, yalnızca klâsik mekanik bölgesinde çalışacağız. Gerçekte, teori çoğu bakımlardan özel görelilikle otomatik olarak uyumludur ve göreliliğin gelişmesinde, tarihsel olarak, esas uyarıcı olmuştur.

Dört Çeşit Kuvvet

Mekanik bize bir cismin, verilen bir kuvvetin etkisi altında bırakıldığında nasıl davranacağını söyler. Fizikte bilinen tam dört temel kuvvet vardır: Bunları azalan şiddet sırasına göre listeleyelim.

1.Kuvvetli

2.Elektromagnetik

3.Zayıf

4.Kütle çekimsel

Bu listenin kısalığı sizi hayrete düşürebilir. Sürtünme nerededir? Sizin zeminden aşağı düşmenizi engelleyen "normal kuvvet" nerededir? Molekülleri bir araya bağlayan kimyasal kuvvetler nerededir? Çarpışan iki bilardo topu arasındaki çarpma kuvveti nerededir? Yanıt bütün bu kuvvetlerin **elektromagnetik** olmasıdır. Gerçekten, elektromagnetik bir dünyada yaşadığımızı söylersek çok az abartma yapmış oluruz. Çünkü **kütle çekimi dışında**, günlük yaşamımızda karşılaştığımız kuvvetlerin hemen hemen hepsi **elektromagnetik** kökenlidir.

Atom çekirdeğindeki proton ve nötronları bir arada tutan **kuvvetli kuvvetler** son derece kısa

erişimlidir, bu yüzden elektrik kuvvetlerden yüz misli daha güçlü oldukları halde biz onları hissetmeyiz. Belirli tip radyoaktif parçalanmaya yol açan **zayıf kuvvetler** ise yalnızca kısa erişimli olmayıp aynı zamanda elektromagnetik kuvvetlerden çok daha zayıf olduklarından dikkate almaya değmez. Kütle çekimine gelince, son derece zayıftır ve çok büyük kütlelerin bir araya yığılması durumunda ancak biz bu çeşit kuvvetlerin farkına varabiliriz. İki elektron arasındaki elektrik itmesi bunların kütle çekiminden 10^2 kat daha büyüktür ve atomları kütle çekimsel (elektriksel yerine) kuvvetlerle bir arada tutulmuş olsaydı, bir tek hidrojen atomu bilinen evrenden çok daha büyük olurdu.

Elektromagnetik kuvvetler günlük yaşamımızda yalnızca ezici şekilde baskın kuvvetler olmayıp aynı zamanda şimdilik tam olarak anlaşılmış olan tek kuvvet çeşididir. Elbette kütle çekiminin bir klâsik teorisi (Newton'un evrensel kütle çekim yasası) ve bir de görelî teorisi (Einstein'in genel göreliliği) vardır, fakat kütle çekiminin tam olarak doyurucu bir kuantum mekaniksel teorisi (üzerinde birçok kişi çalışmakta ise de) kurulmamıştır. Şimdiki halde zayıf etkileşimler için çok başarılı bir teori vardır ve kuvvetli etkileşmeler için ise çarpıcı şekilde ilgi çekici bir aday (**kromodinamik** denilen) vardır. Tüm bu teoriler elektrodinamikten esinlenerek oluşturulmuş olup şimdiki aşamada hiçbiri deneysel olarak doğrulandığını savunacak halde

değildir. Böylece, tam ve başarılı bir teori olan **elektrodinamik** fizikçiler için bir çeşit örnek haline gelmiştir: diğer teorilerin benzemeye çalıştığı ideal bir model.

Klâsik elektrodinamiğin yasaları kısımlar ve parçalar halinde Franklin, Coulomb, Ampere, Faraday ve diğerleri tarafından keşfedilmiştir, fakat işlemi tamamlayan ve onu bugünkü derli toplu ve tutarlı biçime sokan kişi James Clark Maxwell idi.

Fiziksel Teorilerin Birleştirilmesi

Başlangıçta, elektrik ve magnetizma tamamen ayrı konulardı. Bir tanesi cam çubuklar ve kedi postu, bitki özü yuvarlığı, bataryalar, akımlar ve yıldırımlarla diğeri ise çubuk mıknatıslar, demir dolgular, pusula iğneleri ve Kuzey Kutbu ile

ilgilileniyordu. Fakat 1820'de Oersted bir elektrik akımının mıknatıslı bir pusula iğnesini saptırabildiğini fark etti. Hemen sonrasında, Ampere doğru olarak tüm magnetik olayların hareketli elektrik yüklerinden kaynaklandığını postüla etti. Daha sonra 1831'de Faraday hareket eden bir mıknatısın elektrik akımı ürettiğini keşfetti. Maxwell ve Lorentz'in teoriye son şeklini verdiği sıralarda, elektrik ve magnetizma grift şekilde birbirine girmişti. Daha fazla ayrı konular şeklinde düşünülemezlerdi, fakat bir tek konunun iki farklı görünümü olabilirlerdi: **elektromagnetizma**.

Faraday ışığın da elektriksel yapıda olduğunu tahmin etti. Maxwell teorisi bu hipotezin çarpıcı şekilde doğrulanmasını sağladı ve hemen sonra

elektromagnetizmanın içine optik-mercekler, aynalar, prizmalar, girişim ve saçılma incelemeleri katıldı. 1888'de Maxwell teorisinin kesin deneysel doğrulamasını ortaya koyan Hertz şöyle dedi: "Şimdi ışıkla elektrik olayları arasındaki bağlantı kurulmuştur... Her alevde, her bir ışıklı tanecikte elektriksel bir işlem görürüz... Böylece, elektrik bölgesi doğanın tamamına uzanır. Hatta kendimizi de çok yakından etkiler: onu algılarız ve işleriz... elektriksel bir organımız sayesinde-görürüz." 1900'lere gelindiğinde fiziğin üç büyük kolu, **elektrik**, **magnetizma** ve **optik** birleştirilmiş bir tek teori içine sokulmuştu. (Kısa bir zaman sonra görünür ışığın radyo dalgaları ve mikrodalgalar ile kızılötesi ve morötesinden x-ışınları ve gama

ışınlarına kadar olan çok geniş elektromagnetik spektrumdaki yalnızca çok küçük bir pencereyi temsil ettiği açıkça ortaya çıktı).

Einstein bir asır önce aynen elektrik ve magnetizmanın birleştirilmesine benzer bir şekilde kütle çekimi ile elektrodinamiği birleştirecek daha öte bir birleşmeyi hayal etti. Onun birleştirilmiş alan teorisi fazla başarılı değildi, fakat son yıllarda aynı şevk gittikçe artan şekilde istekli bir dizi birleştirme plânlarını doğurdu. Bunlar 1960'larda **Glas-how**, **Weinberg** ve **Salam**'ın (zayıf ve elektromagnetik kuvvetleri birleştiren) elektrozayıf teorisinden başlayarak 1980'lerdeki (teklifi yapanlara göre, dört kuvvetin hepsini "**herşeyin teorisi**" anlamına gelen bir tek teoride birleştiren) **üstün sicim**

teorisiyle doruk noktasına varmıştır. Bu dizideki her bir adımda matematiksel güçlükler üst üste yığılır ve öngörülen tahminle deneysel doğrulama arasındaki açıklık artar: bununla birlikte, elektrodinamik tarafından başlatılan kuvvetlerin birleştirilmesi fiziğin gelişmesindeki ana temalardan biri haline gelmiştir.

Elektrodinamiğin Alan Formüllendirmesi

Bir elektromagnetizma teorisinin çözmeyi amaçladığı temel problem şudur: burada bir elektrik yükleri topluluğunu tutuyorum (onları etrafa doğru çalkalıyor da olabilirim) -ötede bir yerdeki bir takım elektrik yüklerine ne olur? Klâsik çözüm bir **alan teorisi** biçimini alır: Bir elektrik yükünün etrafındaki uzayın elektrik ve magnetik **alanlar** tarafından (sanki yükün,

elektromagnetik "kokusu" gibi) doldurulduğunu söyleriz. Bu alanların var olduğu yerdeki ikinci bir yük bir kuvvetin etkisi altında kalır; böylece alanlar etkiyi bir yükten diğerine göndermiş olur- yani etkileşmeye aracılık ederler.

Bir yük ivmelendiğinde, alanın bir kısmı bir bakıma kendini "ayırarak" ışık hızında hareket eder ve kendisiyle birlikte enerji, momentum ve açısal momentum taşır. Biz bunu **elektromagnetik ışıma** diye adlandırırız. Bunun varlığı bizi alanları, her bir parçası atomlar ve beyzbol topu gibi "gerçek" olan, kendi başlarına bağımsız birer büyüklük olarak kabullenmeye çağırır (zorlamasa bile). Buna göre ilgimiz yükler arasındaki kuvvetleri incelemekten alanların kendisinin teorisine doğru kayar. Fakat

bir elektromagnetik alanı üretmek bir yük ister ve bu alanı algılamak için de diğer bir yük gereklidir; bu yüzden elektrik yükünün en temel özelliklerini yeniden gözden geçirerek başlamamızda yarar vardır.

Elektrik Yüğü

1. İki çeşit yük vardır, etkileri birbirini yok etmeye çalıştığından dolayı bunlara "artı" ve "eksi" deriz (aynı noktada $+q$ ve $-q$ bulunursa, elektriksel olarak hiç yük bulunmamasıyla eş değerdedir). Bu yorum gerektirmeyecek kadar açık gözükebilir, fakat diğer olasılıkları düşünmenizi salık veririm: 8 veya 10 çeşit farklı yük olsaydı ne olurdu? (Kromodinamikte, aslında, elektrik yükünün benzeri üç nicelik vardır ve her biri pozitif veya negatif olabilir.)

Ya da iki çeşit birbirini yok etmeye çalışmasaydı ne olurdu? Olağan dışı bir gerçeklik vardır ve artı ve eksi yükler, yığın maddede şaşırtıcı kesinlikle tam olarak eşit miktarlarda bulunurlar, böylece ikisinin etkileri hemen hemen tam olarak nötürleştirilirler. Bu böyle olmasaydı, çok büyük kuvvetlerin etkisinde kalıyor olacaktık: birbirini yok etmekteki mükemmellikten sapma 10^{10} 'da bir kadar bile küçük olsa bir patates şiddetli şekilde patlardı.

2.Yük korunumludur: yaratılamaz veya yok edilemez -şimdi ne varsa, bu daima olagelmıştır. (Bir artı yük eşit miktardaki bir eksi yükü "yok edebilir" fakat bir pozitif yük basitçe kendi kendine ortalıktan kaybolamaz- bu elektrik yükünden bir şey sorumlu olmalıdır). Bu yüzden

evrenin toplam yükü tüm zamanlar için sabittir. Buna **global** yük korunum denir. Aslında bundan çok daha kuvvetli birşey söyleyebilirim: Global korunum New York'da bir yükün kaybolmasına ve San Francisco'da anında yeniden gözükmesine izin verirdi (bu toplamı etkilemezdi) ve yine de bunun gerçekleşmediğini biliyoruz. Yük New York'da idiyse ve San Francisco'ya gittiyse, bu takdirde biryerden diğerine olan sürekli bir yol boyunca geçmiş olmalıdır. Buna yerel yük korunumu denir. Daha sonra yerel yük korunumunu ifade eden kesin bir matematiksel yasanın nasıl formüle edildiğini göreceğiz -buna **süreklilik denklemi** adı verilir.

3. ***Yük quantumlanmıştır:*** Klâsik elektrodinamikteki hiçbir şey bunun böyle

olmasını gerektirmese de, gerçek elektrik yükünün yalnız kesikli parçalar halinde ortaya çıktığıdır-temel yük biriminin tam katları. Proton üzerindeki yüke $+e$ dersek, o zaman elektron $-e$ yükünü taşır, nötron sıfır, pi mezonları $+e$, 0 ve $-e$, karbon çekirdeği $+6e$ ve böyle devam eder (asla $7,392e$ veya hatta $1/2e$ değil). Bu temel yük birimi son derece küçüktür, bu sebeple pratik maksatlar için quantumlamanın tamamen yok sayılması uygundur. Su da "gerçekte" kesinlikle parçalardan (moleküller) oluşmuştur, fakat oldukça büyük miktarlardaki su ile ilgileniyorsak suyu sürekli bir akışkan olarak ele alabiliriz. Bu gerçekten Maxwell'in kendi görüşüne çok daha yakındır; onun elektronlar

ve protonlar hakkında bir bilgisi yoktu-bu yüzden yükü istenilen her boydaki parçalara bölünebilen ve istenildiğinde yayılabilen bir çeşit "pelte" gibi algılamış olmalıdır.

Yükün temel özellikleri işte bunlardır. Yükler arasındaki kuvvetleri tartışmadan önce bazı matematiksel araçlar gereklidir; Bölüm 1 'de bunların tanıtımı ile uğraşacağız.

Birimler

Elektrodinamik konusu yarışan birim sistemleri tarafından sıkıntıya sokulur bazen bu fizikçilerin birbiriyle iletişim kurmasını zorlaştırır. Problem mekanitekinden çok daha kötüdür, Neanderthal soyundan olanlar halen daha pound'dan ve ayak'tan bahsederler, fakat mekanikte en azından nicelikleri ölçmek için kullanılan birimlerden

bağımsız olarak bütün denklemler aynı görünür. Birimlerin ayak-pound-saniye, kilogram-metre-saniye, veya başka bir şey mi olduğuna bakmaksızın Newton'un ikinci yasası $\vec{F} = m\vec{a}$ şeklinde kalır. Fakat elektromagnetizmada durum böyle değildir, burada Coulomb yasası

$$\frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} (\text{Gauss}), \text{veya} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} (\text{SI}), \text{veya} \frac{1}{4\pi} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} (\text{HL})$$

şeklinde değişmiş olarak gözükebilir. Yaygın kullanımda olan sistemlerden en popüler olan ikisi **Gaussları** (gs) ve SI (mks)'dir. Temel parçacık teorikçileri de üçüncü bir sistemi tercih ederler. **Heaviside-Lorentz**. Gauss birimleri ayrıcalıklı teorik artılar sunsa da, çoğu lisans öğrencilerinin SI'yı tercih ettikleri

anlaşılmaktadır, sanıyorum bunun sebebi evlerde kullanılan tanıdık birimlerin içerilmesidir (volt, amper ve watt). Bu yüzden bu kitapta SI birimleri kullanıldı.