

GERÇEKTEN BİLMENİZ GEREKEN

50

FİZİK

FİKRİ

JOANNE BAKER

Çeviri: Çağlar Sunay

domingo

İçindekiler

Giriş 3

HAREKET HALİNDEKİ MADDE

- 01 Mach İlkesi 4
- 02 Newton'ın Hareket Yasaları 8
- 03 Kepler Yasaları 12
- 04 Newton'ın Kütleçekim Yasası 16
- 05 Enerjinin Korunumu 20
- 06 Basit Harmonik Hareket 24
- 07 Hooke Yasası 28
- 08 İdeal Gaz Yasası 32
- 09 Termodinamiğin İkinci Yasası 36
- 10 Mutlak Sıfır 40
- 11 Brown Hareketi 44
- 12 Kaos Kuramı 48
- 13 Bernoulli Denklemi 52

DALGALARIN ALTINDA

- 14 Newton'ın Renk Kuramı 56
- 15 Huygens İlkesi 60
- 16 Snell Yasası 64
- 17 Bragg Yasası 68
- 18 Fraunhofer Kırınımı 72
- 19 Doppler Etkisi 76
- 20 Ohm Yasası 80
- 21 Fleming'in Sağ El Kuralı 84
- 22 Maxwell Denklemleri 88

KUANTUM MUAMMALARINI

- 23 Planck Yasası 92
- 24 Fotoelektrik Etki 96
- 25 Schrödinger Dalga Denklemi 100

- 26 Heisenberg Belirsizlik İlkesi 104

- 27 Kopenhag Yorumu 108
- 28 Schrödinger'in Kedisi 112
- 29 EPR Paradoksu 116
- 30 Pauli Dışlama İlkesi 120
- 31 Süper İletkenlik 124

ATOMU PARÇALAMAK

- 32 Rutherford Atomu 128
- 33 Antimadde 132
- 34 Nükleer Fisyon 136
- 35 Nükleer Füzyon 140
- 36 Standart Model 144
- 37 Feynman Diyagramları 148
- 38 Tanrı Parçacığı 152
- 39 Sicim Kuramı 156

UZAY VE ZAMAN

- 40 Özel Görelilik 160
- 41 Genel Görelilik 164
- 42 Kara Delikler 168
- 43 Olbers Paradoksu 172
- 44 Hubble Yasası 176
- 45 Büyük Patlama 180
- 46 Kozmik Şişme 184
- 47 Karanlık Madde 188
- 48 Kozmolojik Sabit 192
- 49 Fermi Paradoksu 196
- 50 Antropi İlkesi 200

Terimler Sözlüğü 204

Dizin 206

Giriş

Arkadaşlarıma bu kitaptan söz ettiğimde “Fizik hakkında gerçekten bilmen gereken ilk şey zor olduğudur” diyerek dalga geçtiler. Buna rağmen fiziği hepimiz her gün kullanırız. Aynaya baktığımızda ya da gözlüğümüzü taktığımızda ışığın fiziğinden yararlanırız. Çalar saatimizi kurduğumuzda zamanı ölçeriz. Bir haritaya bakarken geometrik uzayda dolaşırız. Cep telefonlarımız bizi başımızın üzerinde yörüngede dönen uydulara görünmez elektromanyetik dalgalarla bağlar. Sırf teknolojiyle de ilgili değildir fizik. Damarlarımızda akan kan bile fiziksel dünyanın bilimine, fizik yasalarına uyar.

Modern fizik sürprizlerle doludur. Kuantum fiziği nesnelere var olup olmadığını sorgulayarak dünyamızı tepetaklak etmiştir. Kozmoloji evrenin ne olduğunu araştırır. Evren nasıl oluşmuştur? Neden buradayız? Evrenimiz özel midir, yoksa kaçınılmaz bir sonuç mudur? Atomun içini dikkatle inceleyen fizikçiler orada gizli bir temel parçacıklar dünyasının varlığını ortaya çıkarmıştır. En sert maun masanın bile aslında çok büyük bölümü boşluktan ibarettir. Atomlarını nükleer kuvvetler ayakta tutar. Fizik felsefeden çıkmıştır ve günlük deneyimlerimizi aşan, hiç beklenmedik yeni dünya görüşleri sağlayarak bir bakıma ona geri dönmektedir.

Ne var ki fizik hayal ürünü birtakım fikirlerin toplamı da değildir. Gerçekler ve deneyler üzerine inşa edilmiştir. Ve tıpkı bilgisayar yazılımlarında hataların düzeltilip yeni modüllerin eklenmesi gibi, fizik de bilimsel yöntem sayesinde yasalarını sürekli iyileştirip geliştirir. Kanıtların gerektirmesi durumunda düşünce şekillerinde önemli kaymalar yaşanabilir ama bunların benimsenmesi zaman alır. Kopernik’in Dünya’nın Güneş’in çevresinde döndüğü fikrinin genel kabul görmesi için bir kuşaktan uzun zaman geçmesi gerekmiştir. Ama bu süreç de zamanla hızlanmış, kuantum fiziği ve göreliliğin fiziğe eklenmesi için on yıl yeterli olmuştur. Kuantum fiziği ve göreliliğin kabulleri, en başarılı fizik yasalarının bile sürekli sınamalardan geçtiğini gösterir.

Bu kitap fizik dünyasında, kütleçekim, ışık ve enerji gibi temel kavramlardan kuantum kuramı, kaos ve karanlık enerji gibi modern fikirlere kadar kısacık bir tur sunuyor. Umarım her iyi turistik gezi kılavuzu gibi aklınızı çelip sizi daha da çok öğrenmeye yönlendirir. Fizik, gerekli ve önemli olduğu kadar eğlencelidir de...

01 Mach İlkesi

Atlıkarıncada dönen bir çocuk uzaktaki yıldızlar tarafından yukarı doğru çekilir. Bu Mach ilkesidir: Oradaki kütle buradaki eylemsizliği etkiler. Kütleçekim etkisiyle, uzaktaki nesnelere yakındaki nesnelere hareketlerini ve dönüşlerini etkiler. Peki bunun sebebi nedir ve bir şeyin hareket edip etmediğini nasıl anlayabiliriz?

Tren istasyonunda bir trene bindiğinizde şöyle bir şey muhtemelen sizin de başınıza gelmiştir: Yan perondaki tren hareket ettiğinde bir an için kendi treninizin mi yoksa yandaki trenin mi hareket ettiğini bilemeyip karıştırmışsınızdır. Hangisinin hareket ettiğini kesin olarak bilmenin bir yolu var mıdır?

Avusturyalı fizikçi ve düşünür Ernst Mach 19. yüzyılda kafasını bu soruya takmıştı. Mach büyük Isaac Newton'ın izinden gidiyordu ama Mach'ın tersine Newton uzayın mutlak bir arkaplan oluşturduğuna inanıyordu. Newton'ın uzayı, tıpkı grafik kağıdı gibi ızgara şeklinde bir koordinat sistemi içeriyordu. O da bütün hareketleri bu sabit ızgara sistemine göre ifade ediyordu. Ancak Mach buna katılmıyor, hareketin bir ızgara sistemine göre değil, ancak bir başka nesneye göre ölçülmesinin anlamlı olduğunu ileri sürüyordu. Bir başka nesneye göre olmayan hareketin ne anlamı olabilirdi? Newton'ın rakibi Gottfried Leibniz'in eski fikirlerinden etkilenen Mach, yalnızca görelî hareketin bir anlamı olduğunu düşünme konusunda Albert Einstein'ın öncüsüydü. Mach'a göre bir top Fransa'da da olsa, Avustralya'da da olsa hep aynı şekilde yuvarlanacağına göre, uzayın ızgara sisteminin konuyla ilgisi yoktu. Topun yuvarlanmasına etki edebilecek tek şey kütleçekimdi. Top Ay'dayken farklı yuvarlanabilir, çünkü orada topun kütleçekim kuvveti daha zayıftır. Evren'deki her nesne diğer tüm nesnelere kütleçekim kuvveti uyguladığından, tüm nesnelere diğerlerinin varlığını bu karşılıklı etkileşim aracılığıyla hisseder. Bu nedenle hareket

dönem

İÖ ~385

Aristoteles nesnelere kuvvetin etkisi yüzünden hareket ettiğini ifade eder.

1640

Galileo eylemsizlik ilkesini formüle eder.

“Mutlak uzay, doğası gereği kendi dışında hiçbir şeye referansı olmadığından, her zaman homojendir ve kıpırdamaz.”

Isaac Newton, 1687

en nihayetinde uzayın kendi özelliklerine değil, maddenin, yani kütlelin dağılımına bağlı olmalıdır.

Kütle Kütle tam olarak nedir? Bir nesnenin içerdiği madde miktarının ölçüsüdür. Bir parça metalin kütlesi, o metal parçasını oluşturan tüm atomların kütlelerinin toplamına eşittir. Kütle, ağırlıkla aynı şey değildir. Ağırlık, bir kütleli aşığı çeken kütleçekim kuvvetinin bir ölçüsüdür. Bir astronotun Ay’daki ağırlığı Dünya’dakinden azdır, çünkü daha küçük olan Ay’ın astronota uyguladığı kütleçekim kuvveti daha düşüktür. Ama astronotun kütlesi Ay’da da, Dünya’da da aynıdır, çünkü içerdiği atomların sayısı değişmemiştir. Madde ile enerjinin birbirinin yerine konabileceğini gösteren Albert Einstein’a göre kütle saf enerjiye dönüştürülebilir. Yani kütle de sonuçta enerjidir.

Eylemsizlik Eylemsizlik (inertia) sözcüğü “tembellik” anlamındaki Latince bir sözcükten gelir. Kütleyle çok benzer ama aynı şey değildir; kuvvet uygulanan bir nesnenin hareket etmesindeki güçlüğü anlatır. Eylemsizliği büyük olan bir nesne hareketini değiştirmeye direnir. Uzayda bile, durmakta olan büyük kütleli bir nesneyi, hareket ettirmek için büyük bir kuvvet gerekir. Dünya’ya doğru ilerleyen dev bir asteroidin çarpmasını engellemek için devasa miktarlarda itirmek gerekir. Böyle bir itiriş nükleer bir patlamayla sağlanabileceği gibi, küçük ama çok daha uzun süre uygulanan bir kuvvetle de sağlanabilir. Eylemsizliği asteroitten çok daha az olan bir uzay aracına minicik jet motorlarıyla kolayca manevra yaptırılabilir.

Eylemsizlik ilkesini İtalyan gökbilimci Galileo Galilei 17. yüzyılda bulmuştur. Buna göre bir nesne kendi başına bırakılır ve ona hiçbir kuvvet

1687

Newton kova argümanını yayımlar.

1893

Mach *The Science of Mechanics*’i [*Mekanik Bilim*] yayımlar.

1905

Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

uygulanmazsa, hareketinde bir değişiklik olmaz. Yani hareket halindeyse aynı yönde ve aynı hızla ilerlemesini sürdürür, hareketsizse durmaya devam eder. Newton bu fikri geliştirmiş ve kendi hareket yasalarının ilkinin oluşturmuştur.

Newton'ın kovası Newton kütleçekimi de formüle dökmüştür. Kütlelerin birbirini çektiğini görmüştü. Elma ağaçtan yere düşer çünkü Dünya'nın kütlesi tarafından çekilir. Aynı şekilde Dünya da elmanın kütlesi tarafından çekilir ama Dünya'nın elmaya doğru mikroskobik kaymasını ölçmemiz o kadar kolay değildir.

Newton kütleçekim etkisinin uzaklıkla birlikte hızla azaldığını kanıtlamıştır. Örneğin Dünya'dan uzaklaştıkça kütleçekim kuvvetinin etkisi büyük bir hızla azalır. Ama hiçbir zaman tam olarak sıfırlanmaz. Dolayısıyla hareketimizin üzerinde hep bir etkisi olur. Aslında Evren'deki her nesnenin hareketlerimiz üzerinde –fark edilemeyecek denli az da olsa– bir kütleçekim etkisi vardır.

Newton topaç gibi dönmekte olan bir kova su düşünerek nesnelere hareket arasındaki ilişkiyi anlamaya çalıştı. Kova döndürülmeye başladığında su sabit kalır. Sonra su da dönmeye başlar. Sıvı kenara sürünerek kaçmaya çalıştıkça yüzeyi çukurlaşır ama kovanın sınırlayıcı kuvvetiyle yerinde kalır. Newton suyun dönüşünün yalnızca mutlak uzayın sabit referans sistemi içinde –onun ızgara sistemine göre– ele alındığında anlaşılabilirliğini ileri sürer. Bu sistemde, kovanın dönüp dönmediğini yalnızca kovaya bakarak söyleyebiliriz ve suyun yüzeyini içbükey yapan kuvvetleri iş başındayken görebiliriz.

Yüzyıllar sonra Mach bu argümanı baştan ele aldı. Peki ya Evren'deki tek şey su dolu kova olsaydı ne olurdu? Dönenin kova olduğunu nasıl bilebilirdik? Dönenin kova değil de su olduğunu da iddia edemez miydik? Ayrımı görmenin tek yolu kovanın evrenine bir başka nesne daha yerleştirmektir. Örneğin bir oda duvarı veya uzakta bir yıldız. O zaman kovanın ona göre dönüyor olduğu açıkça anlaşılacaktır. Ama duran odanın ya da sabit yıldızların referans çerçevesi olmaksızın, dönenin kova mı yoksa su mu olduğunu kim söyleyebilir? Gökyüzünde ilerleyen Güneş'e ve yıldızlara baktığımızda da aynı şeyi yaşarız. Dönen yıldızlar mı, yoksa Dünya mıdır? Nasıl bilebiliriz?

Ernst Mach 1838–1916

Avusturyalı fizikçi Ernst Mach, Mach ilkesinin yanında optik, akustik, duyuşsal algı fizyolojisi, bilim felsefesi ve özellikle ses-üstü hızlara yönelik çalışmalarıyla bilinir. 1877’de sesteki hızlı ilerleyen bir cismin nasıl girdaba benzer bir şok dalgası oluşturacağını anlattığı etkili

bir makale yayımlamıştır. Sesten hızlı giden uçakların ses dalgasının patlamasına neden olan şey de havadaki bu şok dalgasıdır. Bir merminin ya da jet uçağının hızının ses hızına oranına günümüzde Mach sayısı denir. Örneğin Mach 2, ses hızının iki katı hızda demektir.

Mach ve Leibniz’e göre hareketi anlayabilmemiz için referans alabileceğimiz başka nesnelere bulunması gerekir. Bu nedenle eylemsizlik kavramı, içinde tek bir nesne bulunan bir evrende anlamsızdır. Yani Evren’de hiç yıldız olmasaydı, Dünya’nın döndüğünü anlayamazdık. Yıldızlar bize kendilerine göre dönüyor olduğumuzu söyler.

Mach ilkesinde ifade edilen mutlak hareket ve görelilik hareket fikirleri başta Einstein olmak üzere –ki “Mach ilkesi” adını o koymuştur– birçok fizikçiye esin kaynağı olmuştur. Einstein tüm hareketlerin görelilik olduğu fikrini alarak özel ve genel görelilik kuramlarını oluşturmuştur. Ayrıca Mach’ın fikirlerinden yararlanarak güneşin yanıtlanmamış sorulardan birini de çözmüştür: Dönmenin ve ivmelenmenin ek kuvvetler yaratması gerekir. Peki bunlar nerededir? Einstein’ın gösterdiği üzere, Evren’deki her şey Dünya’nın çevresinde dönüyor olsaydı, gezegenimizin belli bir şekilde yalpalamasına neden olan küçük bir kuvvetin hissedilebiliyor olması gerekirdi.

Uzayın doğası biliminsanlarını binlerce yıldır şaşırtmayı sürdürmektedir. Modern parçacık fizikçileri bu doğayı atomaltı parçacıkların sürekli yaratılıp yok edildiği, kaynağan bir kazana benzetir. Kütle, eylemsizlik, kuvvetler ve hareket, hepsi en nihayetinde fukurdayan bu kuantum çorbasının dışavurumları olabilir.

» fikrin özü
Hareket için kütle önemlidir

02 Newton'ın Hareket Yasaları

Isaac Newton tüm zamanların en önemli, en etkili ve en kavgacı bilim insanlarından biridir. Kalkülüsün icat edilmesini sağlamış, kütleçekimi açıklamış ve beyaz ışığın içerdiği renkleri tanımlamıştır. Golf topunun izlediği eğik rota, viraj alan bir otomobilde kapıya doğru savrulmuşumuz ve beyzbol sopası topa çarptığında hissettiğimiz kuvvet onun ortaya koyduğu üç hareket yasasıyla açıklanır.

Her ne kadar Newton'ın zamanında motosiklet daha icat edilmemiş olsa da, motosiklet kullanan dublörlerin düşey ölüm duvarına nasıl çıktığını ve olimpiyatlarda bisikletçilerin eğimli bir parkurda nasıl yarıştığını onun hareket yasalarıyla açıklarız.

17. yüzyılda yaşayan Newton, bilimin en önde gelen dehalarından biri kabul edilir. Fırlatılan bir topun havada nasıl bir eğik rota izlediği, nesnelere neden yukarı değil de aşağı düştüğü ve gezegenlerin Güneş'in çevresinde nasıl döndüğü gibi çok basit görünen ama aslında çok temel ve derin olan bazı gerçekleri anlamamız, onun aşırı meraklı kişiliği sayesinde olmuştur.

1660'lı yıllarda Cambridge Üniversitesi'nde sıradan bir öğrenci olan Newton, matematiğin büyük eserlerini okumaya başladı. Ve okudukça hukuk yasalarından fizik yasalarına doğru sürüklendi. Veba salgını nedeniyle üniversitenin kapalı olması yüzünden çalışmalarını evinde sürdürdüğü bir dönemde, hareketin üç yasasını geliştirmeye yönelik ilk adımları attı.

Kuvvetler Newton ilk hareket yasasını Galileo'nun eylemsizlik ilkesine dayanarak formüle etti. Bu yasaya göre cisimler kendilerine kuvvet

dönem

İÖ ~350

Aristoteles *Fizik* adlı eserinde hareketin süregiden değişimlerden dolayı olduğunu ileri sürer.

1640

Galileo eylemsizlik ilkesini formüle eder.

Newton'ın hareket yasaları

Birinci yasa Cisimler, hareketlerinin hızını ya da yönünü değiştirecek bir kuvvet uygulanmadıkça, sabit bir hızla dümdüz gider ya da oldukları yerde durmaya devam ederler.

İkinci yasa Her kuvvet, uygulandığı cismin kütlesiyle orantılı bir ivme yaratır ($F = ma$).

Üçüncü yasa Her etki kuvveti, aynı büyüklükte ama ters yönde bir tepki kuvveti yaratır.

uygulanmadıkça hareket etmeye başlamazlar veya hızlarını değiştirmezler. Hareketsiz duran nesnelere, bir kuvvet uygulanmadıkça hareketsizliklerini sürdürürler. Sabit hızla ilerleyen nesnelere ise bir kuvvet uygulanmadıkça aynı hızla ilerlemeyi sürdürürler. Bir kuvvet (örneğin itme) nesneye ivme verir ve nesnenin hızı değişir. Hızın zamanla değişimine ivme denir.

Bunu kendi hayatımızdaki örneklerden takdir etmemiz zordur. Bir hokey topuna vurulduğunda, top buzda kayarak ilerler ama buza sürtünmesinden dolayı en sonunda durur. Sürtünme, topun ters yönde ivmelenmesine, yani yavaşlamasına yol açan bir kuvvet uygular. Newton'ın ilk yasası, ortamda hiçbir sürtünmenin olmadığı özel bir durum olarak görülebilir. Buna en çok yaklaşabileceğimiz ortam uzaydır ama orada bile kütleçekim gibi kuvvetler işbaşındadır. Sonuç olarak bu ilk yasa kuvvet ve hareketi anlamak için temel bir mihenk taşı oluşturur.

İvme Newton'ın ikinci hareket yasası, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ile yarattığı ivmelenme arasındaki ilişkiyi kurar. Bir nesneye belli bir ivme vermek için gereken kuvvet, nesnenin kütlesiyle orantılıdır. Ağır nesnelere –daha doğrusu eylemsizliği büyük olanları– ivmelendirmek için gereken

1687

Newton'ın ünlü eseri
Principia'yı yayımlar.

1905

Einstein'ın özel görelilik
kuramını yayımlar.

kuvvet, hafif nesnelerekinden daha büyük olur. Yasaya göre, örneğin duran bir arabayı bir dakikada 100 km/saat hıza çıkarmak için gereken kuvvet, arabanın kütlesiyle ivmesinin çarpımına eşittir.

Newton'ın ikinci yasası cebirsel olarak $F = ma$ şeklinde ifade edilir. Yani kuvvet (F) eşittir kütle (m) çarpı ivme (a). Kütle (m) eşitliğin karşı tarafına atıldığında ikinci yasa, ivmenin birim kütleye düşen kuvvete eşit olduğunu söyler. İvme sabitse, kütle başına uygulanan kuvvet de sabittir. Dolayısıyla bir kilogramlık bir kütleli hareket ettirmek için, küçük bir cismin parçası da olsa, büyük bir cismin parçası da olsa, aynı miktarda kuvvet gerekir. Bu da Galileo'nun "Aynı yükseklikten bırakılan tüy mü, yoksa gülle mi yere önce ulaşır?" sorusunu yanıtlar. Gözümüzde canlandırdığımızda güllenin tüyden önce ulaşacağını düşünebiliriz. Ama bunun nedeni tüyün hızını azaltan hava direncinden başka bir şey değildir. Ortamda hiç hava olmasaydı, ikisi de aynı hızla düşecek ve yere aynı anda ulaşacaklardı. İkisine etki eden ivme aynı ivme olduğundan (yerçekimi ivmesi), tam aynı anda düşeceklerdi. 1971'de *Apollo 15* astronotları, tüyün hızını kesecek bir atmosferin bulunmadığı Ay'da, tüy ile ağır bir çekicinin aynı hızla düştüğünü göstermişlerdir.

Etki tepkiye eşittir Newton'ın üçüncü yasasına göre bir cisme uygulanan kuvvet, kuvveti uygulayan cisimde eşit büyüklükte ve ters yönde bir tepki kuvveti yaratır. Bir başka deyişle, her etki bir tepki doğurur. Tepki kuvveti geri tepme şeklinde hissedilir. Bir patenci bir diğerini iterse, kendi de ters yöne gider. Tüfekle atış yapan biri ateş ettiği anda tüfeğin geri tepmesini omzunda hisseder. Tepme kuvveti mermiyi ileri iten kuvvetle eşit büyüklüktedir. Polisiye filmlerde vurulan kişiler merminin uyguladığı kuvvetle geriye savrulur. Bu aslında abartıdır. Kuvvet gerçekten bu denli büyükse, ateş eden kişinin de silahın geri tepmesiyle aynı şekilde geri savrulması gerekirdi. Yerde zıpladığımızda Dünya'ya aşağı doğru küçük bir kuvvet uygularız. Ama Dünya o kadar büyüktür ki bunun etkisi fark edilmez bile.

Bu üç yasa artı kütleçekimle Newton, ağaçlardan düşen palamutlardan top mermilerine kadar her nesnenin hareketini açıklayabiliyordu. Newton bu üç denklemin çıkarımlarının verdiği güvenle bir motosiklete atlayıp düz ölüm duvarını motosikletiyle döne döne çıkabilirdi, tabii o devirde böyle bir şey olsaydı. Newton'ın yasalarına ne kadar güvenebiliriz? Birinci yasa motosikletin ve sürücününün sabit bir hızda dümdüz gitmek istediğini söyler. İkinci yasaya göre motosikletin çember çizmesini sağlamak için yönünü sürekli değiştirecek sınırlayıcı bir kuvvetin uygulanması gerekir. Bu kuvveti

Isaac Newton 1643–1727

Isaac Newton, Britanya'da şövalye ünvanı verilen ilk bilim insanıdır. Okulda “dalgın” ve “avare” bir çocuk, Cambridge Üniversitesi'nde pek dikkat çekmeyen bir öğrenci olmasına karşın Newton, üniversitenin veba yüzünden kapandığı 1665 yazında birden parlayıverdi. Lincolnshire'daki evine dönünce Newton kendini matematiğe, fiziğe ve gökbilime verdi. Orada hareket yasalarının ilk biçimlerini oluşturdu, kütleçekimin ters kare yasasını buldu ve kalkülüsün temellerini attı. Bu olağanüstü buluşlarının sonucunda 1669'da, daha 27 yaşındayken Lucas Matematik Kürsüsü'ne seçildi. Daha sonra ilgisini optiğe çeviren Newton, bir prizma kullanarak beyaz ışığın

gökkuşağının renklerindeki ışıklardan oluştuğunu keşfetti. Işık konusunda Robert Hooke ve Christiaan Huygens ile ünlü bir tartışmaya girdi. İki büyük yapıtı ortaya koydu: *Philosophiae naturalis Principia mathematica* ya da kısaca *Principia* ve *Opticks*. Akademik kariyerinin sonlarına doğru politikayla ilgilendi. Kral II. James'in üniversite atamalarına müdahale etmesi üzerine akademik bağımsızlığı savundu ve 1689'da parlamentoya girdi. Bir yandan ilgi meraklısı, bir yandan içine kapanık ve eleştiriye tahammül edemeyen biri olan Newton, bulunduğu konumun gücünü bilimsel rakiplerine karşı hiç çekinmeden kullandı ve ölene kadar kavgacı biri olarak kaldı.

uygulayan şey, motosikletin tekerlerinin değmekte olduğu duvardır. Gereken kuvvetin büyüklüğü ise motosiklet ve sürücünün toplam kütlesi ile ivmelerinin çarpımı kadardır. Üçüncü yasaya göre, duvar motosikletin kıvrılmasına yol açan bir kuvvet uyguladığına göre, motosiklet de duvara eşit bir kuvvet uygulayacaktır. Sürücüyü ve motosikleti dönmekte olan duvara tutturun şey işte bu basınçtır. Motosiklet yeterince hızlıysa düşey bir duvarda bile gidebilir.

Bugün bile arabayla hızla bir dönemeci dönerken ya da aman diyelim, bir yere çarptığınızda, işin içinde hangi kuvvetlerin olduğunu açıklamak için ihtiyacınız olan neredeyse tek şey Newton'ın yasalarıdır. Newton'ın yasalarının geçerli olmadığı durumlar, çok küçük kütleli nesnelerin bulunduğu ya da ışık hızına yakın hızlarla gidilen durumlardır. Bu uç durumlarda kuantum mekaniği ve Einstein'ın görelilik kuramı devreye girer.

» fikrin özü
Hareketi yakalamak

03 Kepler Yasaları

Johannes Kepler her şeyde kalıplar bulmaya çalışırdı. Mars'ın gökyüzünde yaptığı ilmekli hareketi sayılara döken astronomi tablolarını incelerken, gezegenlerin yörüngelerini açıklayan üç yasayı keşfetti. Kepler gezegenlerin yörüngelerinin elips olduğunu ve uzaktaki gezegenlerin Güneş'in çevresinde daha yavaş döndüğünü açıkladı. Kepler'in yasaları hem gökbilimi dönüştürmüş hem de Newton'ın kütleçekim yasasının temellerini atmıştır.

Gezegenler Güneş'in çevresinde dönerken, yakın olanlar uzak olanlara göre daha hızlı ilerler. Merkür, Güneş'in çevresini yalnızca 80 Dünya gününde döner. Eğer Jüpiter aynı hızla dönseydi, yörüngesini tamamlaması yalnızca 3,5 Dünya yılı sürerdi. Halbuki 12 Dünya yılı sürmektedir. Gezegenlerin hızları aynı olmadığı için arada birbirlerinin yanından geçip giderler. Dünya'dan bakıldığında yanından geçilen gezegen bir süreliğine gökyüzünde geri gidiyormuş gibi görünür. Kepler'in zamanında bu "gerileme" hareketleri büyük bir muammaydı. Kepler bu muammayı çözerken kazandığı içgörü sayesinde kendi adıyla anılan üç yasayı geliştirdi.

“O küçük, sevimli, mavi bezelyenin Dünya oluşu beni aniden çok sarstı. Başparmağımı kaldırıp bir gözümü kapadım. Başparmağım Dünya'yı örttü. Kendimi bir dev gibi hissetmedim. Çok, çok küçük hissettim.”

Neil Armstrong,
1930–2012

Çokgenlerdeki kalıplar Alman matematikçi Johannes Kepler doğada kalıplar bulma peşindeydi. 16. yüzyılın sonlarıyla 17. yüzyılın başları arasında, astrolojinin çok ciddiye alındığı ve gökbilimin bir doğa bilimi olarak henüz emekleme döneminde olduğu bir çağda yaşadı. O zamanlar doğanın yasalarını ortaya çıkarma uğraşısında gözlem kadar dini ve batıl inançlar da önemliydi. Evren'in temelindeki yapının kusursuz geometrik şekillerden oluştuğuna inanan Kepler, yaşamını doğada gizli olan bu kusursuz, hayali çokgenleri ortaya çıkarmaya adanmıştı.

dönem

iÖ ~580

Pisagor gezegenlerin mükemmel kristal kürelerin içinde turladığını belirtir.

~150

Batlamyus gezegenlerin gerileme hareketlerini kaydeder ve ilmek hareketi yaptıklarını ileri sürer.

1543

Kopernik gezegenlerin Güneş'in çevresinde döndüğünü ileri sürer.

Johannes Kepler 1571–1630

Johannes Kepler gökbilime küçük yaşlarda sevdalanmış, on yaşına gelmeden günlüğüne gördüğü bir Ay tutulmasına ve bir kuyruklu yıldızla ilişkin notlar almıştı. Graz'da ders verirken bir kozmoloji kuramı geliştirdi. Bu kuram *Mysterium Cosmographicum*'da (*Kozmosun Kutsal Gizemi*) yayımlandı. Daha sonra gökbilimci Tycho Brahe'nin Prag dışındaki gözlemevinde asistanlık yaptı. 1601'de İmparatorluk Matematikçisi konumunu ondan devraldı. Burada Kepler bir yandan imparator

için burç haritaları hazırlıyor, bir yandan da Brahe'nin gökbilim tablolarını inceliyordu. *Astronomia Nova*'da (*Yeni Astronomi*) dairesel olmayan yörüngeler kuramı ve gezegen hareketlerinin birinci ve ikinci yasalarını yayımladı. Otacılık yapan annesi 1620'de cadılıkla suçlanıp hapsedilince ancak Kepler'in yasal çabalarıyla kurtulabildi. Çalışmalarını sürdüren Kepler, gezegen hareketlerinin üçüncü yasasını da *Harmonices Mund*'de (*Dünyaların Ahengi*) yayımladı.

Kepler'in çalışmaları, Polonyalı gökbilimci Nikolas Kopernik'in sıra dışı iddialarından yüz yıl sonra gelmişti. Kopernik'e göre Evren'in merkezinde Dünya değil, Güneş yer alıyor ve Güneş Dünya'nın çevresinde değil, Dünya Güneş'in çevresinde dönüyordu. O güne dek, Yunan düşünür Batlamyus'tan beri, Güneş'in ve yıldızların Dünya'nın çevresindeki kristal küreler üzerinde taşındığı düşünülüyordu. Kopernik yaşamı boyunca bu radikal düşüncelerini yayımlamayı göze alamadı. Kilise'nin doktrinine ters düşmekten çekiniyordu. Bu işi o ölüm döşegindeyken arkadaşları gerçekleştirdi. Kopernik'in görüşleri yine de çalkantıya yol açtı. Çünkü Dünya'nın Evren'in merkezinde olmadığı görüşü, insanı en yüce varlık olarak yaratıp Evren'in merkezine koyan bir Tanrı fikriyle bağdaşmıyordu.

Kepler, Kopernik'in Güneş merkezli fikrini benimsedi. Ama hâlâ gezegenlerin Güneş çevresindeki yörüngelerinin dairesel olduğuna inanıyordu. Aklında gezegen yörüngelerinin iç içe geçmiş bir dizi kürenin üzerinde olduğu bir sistem kurdu. Kürelerin aralarındaki uzaklıklar da düzgün çokyüzlülerin oranlarıyla belirleniyordu. Örneğin bir küre düzgün bir küpün içine tam sığacak büyüklükteyse, bir sonraki küre küpün köşelerine değerek onu tam kapsayacak büyüklükteydi. Doğa yasalarının temel geometrik oranlara uyduğu fikri ise Eski Yunanlardan kaynaklanıyordu.

1576

Tycho Brahe gezegenlerin konumlarının haritasını çıkarır.

1609

Kepler gezegenlerin eliptik yörüngelerde hareket ettiğini keşfeder.

1687

Newton kendi kütleçekim yasasıyla Kepler yasalarını açıklar.

“Bizler oldukça sıradan bir yıldızın ufak bir gezegenindeki gelişmiş bir maymun türüüz. Ama Evren’i anlayabiliyoruz. Bu da bizi çok özel yapıyor.”

Stephen Hawking, 1989

Gezegen, Yunanca “gezin” sözcüğünden gelir. Güneş Sistemi’imizdeki gezegenler uzak yıldızlara oranla Dünya’ya çok daha yakın olduğundan, gökyüzünde geziniyormuş gibi görünürler. Her gece yıldızların arasında belli bir yol izlerler. Ama arada bir izledikleri yol tersine döner ve geriye doğru küçük bir ilmek yapar. Bir zamanlar bu geri gitme hareketlerinin kötü işaretler olduğu düşünülürdü. Batlamyus’un gezegen modelinde bu durumu anlamlandırmak imkânsızdı. Bu nedenle gökbilimciler bu şekilde hareket eden gezegenlerin yörüngesine dış çemberler, yani “ilmekler” eklediler. Ama bu ilmekler çok iyi işlemiyordu. Kopernik’in Güneş merkezli evreni, Dünya merkezli eski evrene göre daha az ilmeğe gerek duyuyordu ama hâlâ ince ayrıntıları açıklayamıyordu.

Kepler geometrik düşüncelerini destekleyecek şekilde gezegenlerin yörüngelerini modellemeye çalışırken, Tycho Brahe tarafından titizlikle hazırlanmış olan tabloları kullandı. Bunlar gezegenlerin gökyüzündeki hareketlerine dair o günkü en doğru verilerdi. Kepler sayıları incelerken çeşitli kalıplar fark ederek, adıyla anılan üç yasayı buldu.

Kepler yasaları

Birinci yasa Gezegenlerin yörüngeleri elips şeklindedir ve Güneş elipsin odaklarından birinde yer alır.

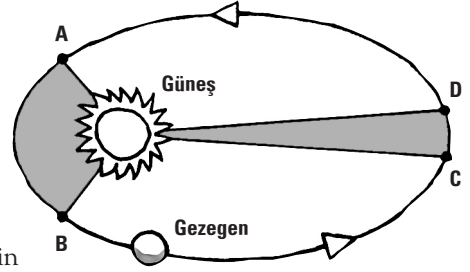
İkinci yasa Bir gezegen Güneş’in çevresindeki yörüngesinde ilerlerken eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar.

Üçüncü yasa Yörünge periyodu elipsin büyüklüğüyle orantılıdır. Öyle ki periyodun karesi, yarı büyük eksen uzunluğunun küpüyle orantılıdır.

Kepler ilk büyük buluşunu Mars’ın gerilemelerini çözerek yaptı. Gezegenlerin Güneş’in çevresindeki yörüngeleri, daha önce düşünüldüğü gibi dairesel değil de elips şeklinde olursa, hareketlerini açıklamak için bu ilmeğe gerek kalmayacağını fark etti. İşin ironik yanı, bu durum doğanın kusursuz şekiller izlemediği anlamına geliyordu. Kepler bu başarısına fazlasıyla sevinmiş olmalı. Ama saf geometriye dayanan bütün felsefesinin yanlış olduğu anlamına geldiği için aynı zamanda sarsılmıştır herhalde.

Yörüngeler Kepler ilk yasasında gezegenlerin eliptik, yani elips şeklindeki yörüngelerde ilerlediğini ve Güneş’in bu elipsin iki odağından birinde yer aldığını söyler. Kepler’in ikinci yasası, bir

gezegenin yörüngesinde ne kadar hızlı döndüğünü söyler. Gezegen yörüngesinde ilerlerken eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar. Birer pasta dilimini andıran bu alanlar, Güneş ile gezegenin iki konumu kullanılarak (AB ya da CD) çizilen açıyla ölçülür. Yörünge elips şeklinde olduğundan, gezegenin Güneş'e yakın olduğu dönemde uzak olduğu dönemdeki kadar alanı taraması için daha uzun mesafe katetmesi gerekir. Bu yüzden gezegen Güneş'e yakınken daha hızlı ilerler. Kepler'in ikinci yasası, gezegenin hızıyla Güneş'e olan uzaklığını ilişkilendirir. Kepler o zamanlar farkına varamamış olsa da, bu davranış, kütleçekimin gezegeni Güneş'e daha yakın olduğunda daha hızlı ivmelendirmesinden kaynaklanır.



Kepler'in üçüncü yasası bir adım daha ileri gider ve Güneş'ten çeşitli uzaklıklarda ve farklı büyüklüklerdeki elips yörüngelerin periyotlarının nasıl değiştiğini söyler. Bu yasa, yörünge periyodunun karesinin, eliptik yörüngenin uzun ekseninin küpüyle ters orantılı olduğunu belirtir. Eliptik yörünge büyüdükçe periyot, yani bir turun tamamlanması için geçen süre uzar. Güneş'ten uzaklığı Dünya'nın iki katı olan bir gezegenin bir tur atma süresi, Dünya'dan sekiz kat daha uzundur. Dolayısıyla daha uzak olan gezegenler daha yavaş turlar. Mars'ın Güneş'in çevresinde bir tam turu, yaklaşık 2 Dünya yılı sürer. Bu süre Satürn için 29 Dünya yılı, Neptün içinse 165 Dünya yılıdır.

Bu üç yasayla Kepler, Güneş Sistemi'mizdeki tüm gezegenlerin yörüngelerini tarif etmeyi başarmıştır. Bu yasalar Güneş Sistemi'mizdeki kuyrukluyıldızlara, asteroitlere ve uydulara uygulanabildiği gibi, başka bir gökcisminin yörüngesinde dönen herhangi bir cisim, örneğin yıldızların çevresinde dönen gezegenlere ve hatta Dünya'nın etrafında vızır vızır dolaşan uydulara da aynı şekilde uygulanabilir. Kepler, ilkelerini geometrik yasalarla ifade etmede başarılı olmuştu ama bu yasaların neden geçerli olduğunu bilmiyordu. O bunların, doğanın temelinde yatan geometrik örüntülerden kaynaklandığına inanıyordu. Bu yasaları evrensel bir kütleçekim kuramı olarak birleştiren kişi Newton oldu.

**“Gökyüzünü ölçerdim,
şimdi gölgeleri
ölçüyorum,
Aklım gökyüzüne aitti,
Dünya'ya ait bedenim
dinleniyor.”**

**Kepler'in mezar taşı
yazısı, 1630**

» **fikrin özü**
Dünyaların yasası