

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

KURMACA

Galileo'dan Cern'e Fizik

Emre Kolay



$$E=mc^2$$



otonom

fen isleri



KURMACA

Emre Kolay

Otonom 42

Fen İşleri Dizisi 1

Kurmaca
Galileo'dan Cern'e Fizik
Emre Kolay

ISBN 978-975-6056-44-8

1. Basım Ağustos 2012, İstanbul (1000 adet)

© Türkçe yayım hakları Otonom Yayıncılık, 2012

İlk Okuma
Gizem Şengör

Yayıma Hazırlayan
Barış Eroğlu

Düzeltili
Melis İnan

Kapak ve İç Tasarım
Mert İnan

Baskı ve Cilt
Kayhan Matbaacılık Sanayi Tic. Ltd. Şti.
Tel (0212) 576 01 36



Yayınevi Sertifika no: 11821

Otonom Yayıncılık
Firuzağa Mah. Çukurcuma Cad. Yazıcı Çıkmaızı No:2
Beyoğlu - İSTANBUL
Tel 0 212 244 87 09
Faks 0 212 244 87 88
e-posta: iletisim@otonomyayincilik.com
www.otonomyayincilik.com

KURMACA

Galileo'dan Cern'e Fizik

Emre Kolay



İÇİNDEKİLER

Önsöz	7
Dünya Dönüyor - I	13
Dünya Dönüyor - II	23
Kafama Bir Elma Düştü	33
Dünyamızın Jeopolitik Önemi	47
Saatimiz Şaştı	53
Kurmaca	65
İpin Ucuna Bağlı Bir Taşın Küçücük Gelgitlerle Dolu Yaşamı	77
Bağlanma	95
Kozmoloji I: Ne Var Ne Yok?	105
Kozmoloji II: Temel Denkliklerin Çıkartılması	111
Işık Ve Elektronun Parçalı Bulutlu İlişkisi	131
Dalga Mı Parçacık Mı?	141
Yüzyılın Derbisi Fc Kopenhagspor - Harbispor	151
Ne Parçacıkmış!	163
Meşhur Higgs Bozonu	169
Sorularla Higgs	179

ÖNSÖZ

Eski Yunancada fizik, doğa demektir. Eski dönemlerden beri insan türü olarak doğa üzerine düşünmekteyiz. Doğanın neyi nasıl yaptığını insan aklımızla mana vermeye ve neyi nasıl yapacağını tahmin etmeye çalışmaktayız. Doğa yasaları, bu çalışmaların ürünüdür.

Maddenin yapısı, mekan ve zaman kavramları yaklaşık dört bin yıldır sürmekte olan doğa üzerine tartışmalardır. Bu kavramlar üzerine kafa patlatanlara *doğa düşünürleri* diyebiliriz. Bu düşünürler, dönemlerine kıyasla üstün matematik bilgisine sahip kişilerdir. Aristo'dan Descartes, Newton, Leibniz ve Spinoza'ya kadar hemen hemen her düşünür üstün matematik bilgisine sahiptir. Başka bir şekilde ifade edecek olursak, doğa düşüncesinin bugün ayrı birer disiplin olarak görülen üç uğrağı olduğunu söyleyebiliriz: felsefe, matematik ve fizik.

Yaklaşık iki yüzyıldır, doğanın işleyişini inceleyenlere fizikçi sıfatı verilmektedir. Bu niteleme, fizikçilerin hem matematik hem de felsefe konusunda çok yetenekli insanlar olmaları dolayısıyla değil, modernizmle hayatımıza giren bir nitelemedir. Bugünün yaygın öğrenim kurumu üniversitelerin 19. yüzyılın başında kurulmasıyla akademik anlamda uzmanlaşmaya gidilmiştir. Böylece farklı disiplinler meydana gelmiştir. Bu disiplinlerin birbirlerinden ne kadar farklı olduğu ayrı bir tartışma konusudur.

Fizik, doğanın seyrinde neyin nasıl olduğunu ve neyin nasıl olabileceğini tahmin ettiğimiz bir oyundur. Çoğunlukla çuvallanan bu oyunda, doğada nasıl bir işleyişin olduğunu tahmin etmek zordur. İşte fizikçiler de ölçülemez nitelikte bir emekle doğanın nasıl işlediğini incelerler.

Bundan yaklaşık 400 yıl önce Galileo bu oyuna bugün hâlâ kullandığımız bir hamlede bulundu: doğanın dili matematiktir. Doğrudur ya da yanlıştır, ama bu şekilde düşünerek bu oyunda çok fazla hamle yapabilmekteyiz. Newton'un hareket yasalarından, elektromanyetizmaya, kuantum mekaniğine bütün doğa anlayışımızı bu matematiksel temel üzerine oturtabilmekteyiz. Bir anlamda da bunu yapmak zorundayız.

Galileo'nun açtığı bu matematiksel yolda fizikçiler, çözümsüz kaldıkları noktalarda kendilerine yeni matematiksel yapılar uydurarak ilerlemeye devam ettiler. Gauss ve Newton bu yeni matematik uydurmalarında ileri gelenlerdendir. Bu bakımdan bu yüzyıl hariç gelmiş geçmiş tüm fizikçilerle matematikçileri bugünkü kadar rahat sınıflandıramayız.

Matematiksel anlamda fiziğe baktığımızda, kurmaca bir edebi esere benzer bir manzarayla karşı karşıyayız. Birçok fizikçi, kuramını ortaya koyarken kafasından *bu*

böyle olsa şu da şöyle olmamalıdır diyerek kurmaca bir şeyler söyler. Bunları matematikle en iyi şekilde ifade eder. Sonra bunlar, bilimsel olsun diye de sınanır. Deneyler sonucunda matematiksel tutarlılığa sahip bir kurmacanın muhakkak geçerli olduğu bir fiziksel uzay vardır.

Kepler, yıldızların beşgen ve altıgensel bir müzikal uyumda olduğuna inanıyordu. Matematiksel açıdan da tutarlı kurmacasını bu inancının üzerine kurmuştu. Nitekim Newton, Kepler'in çalışmalarına fiziksel bir açıklama getirirken Kepler'in öngördüğü ters kare yasasının matematiksel güzelliğinden yararlanmıştı. İlginç bir kurmaca örneği olan *Lorentz Dönüşümleri*, matematiksel tutarlılığa sahip olmasına karşın insanlığın binlerce yıllık mutlak zaman algısına ters düştüğünden Lorentz tarafından saçma bulunmuştu. Einstein bu matematiksel dönüşümleri Özel Görelilik'te kullanmış ve insanlığın binlerce yıllık mutlak zaman algısında şaşkınlığa sebep olmuştu.

Aslında fizikçiler ve falcılar bir bakıma benzer işler yaparlar. Birileri matematiksel tutarlılık içeren yapılar içerisinde düşünce dünyalarında uçarken, diğerleri ya gökyüzünde ya kahve fincanında gördüklerine göre hoş bir anlatıya dalarlar. Fal bakmak da fizik de güzel oyunlardır. Arşimet, yeterince uzun bir sopayla dünyayı yerinden oynatabileceğini iddia ederken kaldırıp sistemlerini matematiksel olarak açıklayabilmesine güvenmiş olabilir. Dünyayı yerinden oynatabilme fikri basbayağı büyük bir iddia, değil mi?

Bu kurgu tarihini klasik ve kuantum mekaniği diye iki döneme ayırabiliriz. Klasik dönemde bir sistemin dünyanın, bugününün ve yarınının şeceresini dökmek mümkündür. Yapmamız gereken tek şey, sistemin bir anının

fiziksel bilgisine sahip olmaktır. Bu anlamda klasik mekanik belirlemecidir. Ne var ki doğada, fiziksel bilgisiyle ilgili kesin konuşamadığımız birçok madde var ve bunların içinde bulunduğu sistemleri belirlemeye çalışmak evreni algılamayı zorlaştırmaktadır. Kuantum mekaniği, özellikle de bunun Kopenhag yorumu, ölçüm yapıldığı anda ölçülenle ölçenin fiziksel anlamda ilişkilendiğini ve ölçüm değerimizin ölçümüzle değiştiğini, böylece doğada kesin bir ölçüm yapabilmenin, ölçümün doğası gereği imkansız olduğunu ortaya koydu. Diğer bir deyişle ölçüm açısından doğada bir belirsizlik oluşmaktadır.

Her hangi bir kavramın ya da konunun sulandırılmadığı konuşulabileceğine inanmaktayım. Bunun için uzman olmaya gerek yok. İstek ve çalışmayla herkes birçok şey hakkında kulaktan dolma bilgilerin çok ötesinde fikre sahip olabilir. Popüler fizik bu anlamda, fazla teknik ayrıntılara olabildiğince uzak durarak temel fiziksel kavramları bizlere sunabilmektedir.

Herkesin okuyabileceğine inandığım bu kitabın, özellikle de doğa bilimlerinden bir şekilde uzak durmuş kişiler için anlamlı olduğunu hissediyorum. Gençlerin de bu ve bu tür kitapları okumaları onlara bambaşka ufuklar açacaktır. Çünkü birçok okulda gerek sistemsal nedenlerden (not vs.) gerekse de öğretmenlerin yetersizliklerinden dolayı (sadece fizik için geçerli olmayan bir durum) konular bir papağana ezberletilir gibi gösterilmektedir.

Kurmaca da bir popüler fizik metnidir. Dört yıldır *Otonom Dergisi*'nde yayınlanan popüler fizik yazılarıma

yeni metinler ekleyerek bu kitabı oluşturdum. Kitaptaki hataları *emrekolay@otonomyayincilik.com* adresine gönderirseniz sevinirim. Konuları elimden geldiğince ve konu elverdiğince açık ve net bir dille anlatmaya çalıştım. Size fazla matematiksel gelen yazıları (üç ya da dört tane) atlayarak kitabı okumaya devam edebilirsiniz. Bu yazıların eksikliği kitabın akışını bozmayacaktır.

Herkese keyifli okumalar.

.

DÜNYA DÖNÜYOR - I

Doğanın bir parçası olduğundan beri insanlar ve doğa arasında, Newton'un diliyle kabaca açıklayacak olursak, bir ilişki var: Etki-tepki.¹ Biz insanlar, bu ilişkiden çok fazla bilgi edindik, ediniyoruz ve edineceğiz. Öğrendiklerimizle beraber halen hayatımızda birçok şeyi değiştirmekteyiz.

Her anı bir olay, her olayı da bir bilgi olarak tanımlarsak, yaşadıklarımızın hesabını tutmaya çalışmanın akla yatkın hiçbir yanı yok. Ancak doğayı anlamaya² koyulduğumuz bu yolda da öyle anlara şahit olduk ki, bu anlar bildiğimiz tüm toplumsal ilişkiler üzerinde büyük etkiler yarattı. Bu yüzden bu anları göz ardı edemeyiz. İnsanlığın, doğayı anlama yolunda bugünlerinin önünü açan böyle bir ana, bir olaya geçen ay³ arkadaşım Gizem'le tanıklık ettik:

1 Anlatım, insana doğanın bir parçası olmadığını çağırıştırıyor.

2 "Doğayı anlamak" mı? Yazar, çok iddialı.

3 Geçen aydan kasıt, 2008 Ağustos'udur.

Dünya dönüyor! Bu yazıda bu konuyu aktarmaya çalışacağım. Ancak, ilk kez Kopernik tarafından gözlemlenen⁴ “Dünya’nın dönüşüne” geçmeden önce biraz Dünya’nın şeklinden ve Kopernik’ten bahsedelim.

Top mu Tepsi mi?

Bir dönem, Dünya’nın şekli üzerine iki karşıt görüş mevcuttu: Dünya düz bir tepsi mi yoksa topa benzer bir yapı mı? Bu önemli tartışmanın toplumsal arka planına giremeyeceğim. Dilerim ki bir gün onları da yazabilirim, kısmet.⁵

Dünya’nın şekliyle ilgili çoğumuzun bildiği o ilkokul gözlemine geçelim. Hiçbir engel olmaksızın açık bir havada ufka doğru özgürce baktığımızı düşünelim. Hayallere kısıtlama mı gelecek? İsteyenler yüzlerini hafif bir rüzgârın okşadığını da düşünebilirler. Deneye dönelim. İddia şu: Eğer Dünya düz ise, uzaktan gelen bir vapuru bir bütün olarak görmemiz gerekir. Fakat vapuru gözlemlediğimizde, önce dumanını, sonra bacasını, sonra da gövdesini görürüz. Sonuç: Dünya düz değildir.

Peki Dünya’nın şekli nedir? Aynı gözlemi başka bir cisim üzerinde yapalım. Bu sefer deney aygıtlarımız, çoğumuzun müptelası olduğu bir futbol topu ile gemi yerine kullanacağımız ucu pamuklu bir kibrit olsun. Pamuklu kibriti topun sibobuna saplayıp pamuklu kısmı yakalım ve topu döndürelim. Yanan kibrit uzaklaşırken en son dumanını ve yaklaşırken de ilk olarak dumanını gözlemliyoruz.

4 “Gözlem” kelimesi çok önemli çünkü Dünya’nın evrenin merkezinde olmamasının matematiksel kanıtı milattan öncelere dayanmaktadır. Aristarkhos’un bu durumu gayet iyi açıklayan geometrik bir kuramı mevcuttur.

5 İşin felsefesi bir yana dünyanın tepsi olması fikri sınanabilirlik açısından gayet bilimseldir.

Bulduğumuz sonuçların aynı olması, Dünya'nın yuvarlağa benzer bir şey olduğunu ortaya koyuyor.

Tabii şu soru hala aklımı kurcalıyor: Dünya düz görünüyor mu? Mesela, uzaktan gelen bir arkadaşımızın önce yüzünü, sonra bedenini, sonra da bacaklarını görmeyiz, onu bir bütün olarak görürüz. Bunun nedeni nedir? Eğer yer küremsi bir şey ise bu nasıl olur? Yanıtını bulmaya çalışalım.

Elimizde kağıda sarılı bir limonumuz ve bir futbol topumuz olsun. Limonun üstündeki kağıdı çıkarıp meşin yuvarlağımızın üstüne saralım. Gözlem: Daha önce limon gibi yuvarlağa benzer bir şekil alan kağıdımız, şu anda kağıt bir mendili andırmaktadır. O halde şöyle bir sonuç çıkarabiliriz: Küremsi bir şeklin boyutu büyüdükçe, algılanabilir yuvarlaklık⁶ azalmaktadır. Dünya'mız da görece bayağı büyük bir cisim olduğundan, etrafımızı düz olarak algılayabilmekteyiz.

Dünya'nın büyüklüğünü gözümüzün önüne getirmeye çalışalım. Çapı yaklaşık 13.500 km olan bir toptur ki bu dört kez Kars-Edirne gidiş dönüş yoluna tekabül ediyor.

Mikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus) 1473-1543

Aristoteles'e göre Dünya, evrenin merkezinde sabit bir şekilde durmakta ve diğer gök cisimleri de Dünya etrafında dönmekteydi. Aristoteles evreni de, Hristiyanlık anlayışına göre sorgulanamayacak bir tabuydu. Ancak MÖ. 3. asırda, sonraları tabu olacak bu inanışa kuşkuyla bakabilen birisi vardı: Samoslu Aristarkhos. Ona göre Dünya kendi eksenini etrafında dönüyordu ve Güneş de evrenin merkezindeydi.

6 "Algılanabilir yuvarlaklık" olan İngilizce "curvature" kelimesinin "eğrilme derecesi" gibi bir anlamı var. "Kıvrıklık" diye de kullanabiliriz.

Samoslu Aristarkhos'dan 17 asır sonra Kopernik dünyaya gözlerini açtığı anda insanlık, Dünya'nın evrenin merkezinde sabit olduğuna inanıyordu. Zaman ve mekânın Avrupa'da Rönesans'ı göstermesine karşın doğanın bu sıralanışını sorgulamak hiç de kolay değildi. Böyle bir devirde Torun'da (Polonya) doğan Kopernik'in düşünce yapısına, Einstein ve daha nice dâhilde de olduğu gibi, amcası büyük etkide bulundu. Bir kilise papazı olan amcası, Kopernik'in çocukluğunda dini, gençliğinde de bilimsel bir öğrenim görmesinde büyük rol oynadı. Memleketinde üniversite okuyan Kopernik, tıp, astronomi, hukuk ve matematik öğrenmek üzere çeşitli İtalyan üniversitelerine de gitti. Uzun bir süre İtalya'da öğrencilik yaptı ve sonra matematik profesörü olarak çalıştı.

Kopernik çalışmalarına başladığında, ortaçağ skolastik düşüncesini sorgulamak gibi bir niyeti yoktu. Tek amacı Ptolemy'nin teorisini matematiksel olarak anlaşılır bir hale koymaktı. Ptolemy teorisine göre, gökyüzü yıldızların "çakılı" olduğu dönen bir küreydi; Dünya bu kürenin merkezinde sabit bir konuma sahipti, çevresinde ise ay, güneş ve gezegenleri taşıyan iç içe bir dizi kristal küre vardı. "Tanrısal bir düzen" diye imgelenen bu sistem, ayrıca insana, evrenin merkezinde olma onur ve gururunu da sağlamaktaydı.

Gözlemlerinde bu sistemin birçok tutarsızlığını gören Kopernik, yaptığı çalışmalar sonucunda kendince doğru bulgular elde etti. Lakin bunların yayınlanması kilise tarafından kesinlikle yasaklanmıştı. Kendisi de bir dönem papazlık yapmış olan Kopernik, inandıklarından hiçbir zaman vazgeçecek birisi değildi. Düşündüklerinin savsata olduğu yönündeki bağınazlığa karşı gözlemleriyle birlikte

cevap için her zaman hazırды. Ona göre iki temel şey vardı: Gezegenler ve yıldızlar Dünya'nın değil Güneş'in etrafında dönmekteydiler ve Dünya da, kendinin ve Güneş'in etrafında dönmekteydi.

Yaşlandıkça kiliseye duyduğu korku azalan Kopernik, Papa'ya şu mektubu yazarak bütün hayat mücadelesini özetliyordu: "Aziz Peder, kitapta yazılanları okuyanların hemen reddedeceklerini biliyorum. Ben ömrüm boyunca çevremin düşüncelerine aldırmayan, kendi fikirlerimi savunan biri olamamışımdır. Etrafın tepkisinden, başladığım hususlardan vazgeçmeye niyetlendiğim olmuştur. Fakat çekingenliği üzerimden atarak çalışmalara devam ettim. Yazdıklarımı tenkit edenler olursa onlara aldırma-yacağım ve saçma kabul edeceğim..."

Bu satırları yazdıktan sonra bir iki yıl içerisinde vefat eden Kopernik'in çalışmaları, Galilei ve Kepler'in doğayı anlama çabalarına yardımcı olmuştu. Yazdıklarını özgürce yayınlatabilmek için birçok zorluk çekerek Kopernik'le aynı kaderi paylaşan Galilei, bir seferinde Kopernik'in doğa üzerine çalışmalarını yayımlama konusundaki sabrı ve inadı üzerine şunları yazmıştır: "Geleneksel teorileri çürütecek birçok kanıt topladım. Ancak, bazı kimselerin gözünde ölümsüz bir ün kazanmış olan, ama birçok kişi için de alay ve aşağılama konusu olan üstadımız Kopernik'in yazgısını paylaşmaktan korktuğum için bunları günışığına çıkaramıyorum..."

Dünya, Kilisede de Dönüyor!

Kopernik, gözlemleriyle tabuları yıkmaya, doğanın basit sırlarını anlamaya çalıştı. Bu gözlemlerinin (çalışmalarının) en önemlilerinden biri de bizzat kendisi-

nin yapmış olduğu basit sarkaçtır. Bu sarkaç yardımıyla Dünya'nın kendi etrafında döndüğünü gözlemledi. Bugün, haftanın belli günlerinde Krakov'daki bir kilisede bu deney yapılıyor. Bir anlamda kilise, bir zamanlar yasakladığı Kopernik'in teorisine "zorunlu bir şekilde" değer veriyor. Yaşasın mücadele! İsterseniz Gizem'le birlikte büyük bir coşkuyla tanıklık ettiğimiz bu deneye geçelim.

Duvar ya da başka bir yerde sabit duran bir çivi veya çengelin ucuna bağlanmış bir ip ve ipin ucuna bağlanmış bir ağırlıktan oluşan düzeneğe basit sarkaç diyoruz. Bu deneyde, basit bir sarkacın yapmış olduğu hareketi (salınımı) inceleyeceğiz. Salınma süresini (periyodu), yani sarkacın bir uçtan başka bir uca gidip gelme süresini belirleyeceğiz. Bu periyodun zamanla değişmediğini, fakat salınım yolunda bir takım değişiklikler olduğunu saptamaya ve buradan da bazı sonuçlar çıkarmaya çalışacağız.

Öncelikle ben gördüklerimi şöyle bir anlatayım. Gizem'le deneyin yapılacağı kiliseye gittik. Deneyin başlamasına daha on dakika vardı. Hemen kalem kağıt çıkartıp periyodu hesaplamaya başladık. Hesabımız yüzde elli oranında yanlış çıktı. Bunun nedenine birazdan geleceğim. Sonra deneyi yapacak olan amca geldi. Deney hakkında bir iki dakika İngilizce konuştuktan sonra başladı Lehçe'ye. Bir daha da bize bir şeyler anlatmadı. Şaşırdık, çünkü bizim memlekette, misafire hürmetten olsa gerek, konu hep misafirlere anlatılır.

Neyse, deneye dönersek... Deneyci amca kilisenin tavanına tutturulmuş olan basit sarkacın ağırlığını kendine doğru çekti, sonra sarkacı serbest bıraktı ve basit sarkaç hareket geçti. Sarkacın topuzuna bağlanmış lazer yardımıyla da sarkacın salınımı rahatça gözlenebiliyordu. Ko-

pernik, hareketin yolunu izlemek için sarkacın topuzuna mürekkep koymuştu. Zemine döşenen kağıt üzerine dökülen mürekkep izi sayesinde sarkacın yörüngesi hakkında veri alabiliyordu.

Periyodun formülünü okurken sıkılabilecekler olabilir. Periyot, bir olayın tekrar etme süresi olarak düşünülüp, bu ve bir sonraki paragrafın okunmadan geçilmesi yazının anlaşılabilirliği açısından bir sorun yaratmamaktadır. Şimdi periyodu hesaplayalım. Bir basit sarkacın periyodu, ipin uzunluğuna ve yerçekimi ivmesine bağlıdır. İpin ucuna ister bir elma isterse de bir gülle bağlansın, periyot değişmez. Bu size ilginç gelebilir. Kütlenin periyoda etki etmeyişi ve periyodun matematiksel çıkarımı aşağıda gösterilmektedir.⁷

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

T: Periyot

L: İpin uzunluğu

g: Yerçekimi ivmesi

Bu formülle periyodu hesaplayabiliriz. İki önceki paragrafta belirttiğim bizim yapmış olduğumuz hataya gelecek olursak... Biz, ipin uzunluluğunu göz kararıyla 15 m almıştık. Periyodu saatle ölçtüğümüzde aldığımız veriyi görünce çok şaşırdık. Bizim hesapta yüzde elli hata payı vardı. Yer çekimi ivmesinin yaklaşık 10m/sn^2 ve π sayısının da 3 gibi bir şey olması kesin olduğuna göre hatayı

⁷ İpin Ucuna Bağlı Bir Taşın Gelgitlerle Dolu Yaşamı adlı yazıda bu periyot hesabı ayrıntılarıyla anlatılmaktadır.

bulmuştuk. Biz ipin uzunluğunu hatalı hesaplamıştık. Bu sefer periyodu bildiğimize göre ipin uzunluğunu hesaplamak çok kolaydı. Yaklaşık olarak değeri bulduk ve deneyci amcaya ipin uzunluğunu sorduk. İp 47 m idi. Periyot ise yaklaşık 14 saniye idi. Aslında göz kararı hesaplarımız iyidir ama bu sefer fena çuvallamıştık.⁸

Periyodu hesapladıktan sonra hareketin yörüngesini inceleyelim. Zemine döşenen çizgili bir defteri andıran kağıdın üzerinde lazerin çizmiş olduğu yörüngeye bakalım. İlk olarak bir-iki dakika boyunca lazer, kağıt üzerine bırakıldığı gibi sanki tek bir hat üzerinde salınımına devam etti. Aradan dört-beş dakika geçtikten sonra, lazerin ilk hattının açık bir şekilde değiştiğini gördük. İlk zamanlar tek bir çizgi üstünde salınan lazerimiz artık sekizler çizmeye başlamıştı. Lazerin kağıt üzerinde bıraktığı uç noktalarını (ki bu noktaları bundan sonra yön değiştirme noktaları olarak da tanımlayacağız) birbirlerine eklemlediğimizde ise git gide çemberimsi bir şekil oluşmaktaydı. Laboratuvarlarda salınım hareketi üzerine birkaç kez deney yapmış olanların bunları okurken tüylerinin diken diken oluşunu hissetmekteyim. Neyse, yörüngedeki değişimin neler ifade ettiğine dikkat çekelim. Eğer Dünya dönmeseydi ve biz, bu basit sarkacı aynı doğrultuda bırakmış olsaydık, lazer izinin düz bir çizgi olan ilk yörüngesinin hiç değişmediğini görecektik. Çünkü Dünya'nın ve cismin hareket doğrultusu sabit olacaktı. Bu durumda bizim lazerimiz, Kopernik'inse mürekkebi, basit sarkacın salınımını

8 Aslında bir çuvallamadan bahsetmek yersiz. Yüzde elli doğruluk, kabaca bir hesap için oldukça iyidir. Fizikçiler tahminlerindeki doğruluk mertebelerini onar onar yaparlar. Ve ilk iki mertebeden yaklaşım gayet iyidir. Bu bağlamda 3,14... olan pi sayısını 100 diye bile alabilirsiniz. Kaba hesaplarda ben 1 diye alıyorum.

bize yansıtmaktaydı. Dikkat ettiysek, bizim deneyimizde lazer düz bir çizgiden öte sekizler yapmayı uygun gördü. Ayrıca salınımın yön değiştirme noktalarının da değiştiğini ve bunların birbirlerine eklemlenmeleriyle oluşan şeklin de bir çembere benzediğini saptamıştık.

Bu noktada verilerimize bazı sorular yöneltip bu sorulara cevaplar bulmaya çalışalım. İlk olarak, kağıttaki bu yön değişikliğinin nedeni ne olabilirdi? Bir cismin hareket yönünü ancak ve ancak bir kuvvetin değiştirebileceğini Newton 17. asırda açıklamıştı. Ortalıkta tanrısal bir şeyler yoksa yön değişmemişti. Tanrısal mucize gerçekleşene kadar, bir fani olan Newton'la idare ederek ikinci soruya geçelim (çok şükür Newton hâlâ pek çok işimizi görmekte). O halde hareket eden başka bir şey mi vardı? Biraz tekrar olacak ama olaylarımızı gözden geçirirsek; basit sarkacın hareketinin kağıttaki yansıması düz bir çizgiydi, sarkaca cismin ağırlığı dışında etki eden bir kuvvet yoktu, cismin yörüngesi sekize benzer hatlar çizmekteydi ve yön değiştirme noktalarının birbirlerine eklemlenmeleri çemberimsi bir şey yaratmaktaydı. Bu bilgiler ışığında ikinci sorunun cevabı: Evet, Dünya hareket etmekteydi.

Evet, Dünya'nın hareket ettiğini gözlemlerimizden çıkardık. Geriye, Dünya'nın nasıl hareket ettiğini belirlemek kaldı. Sarkacın yalnızca yön değiştirme noktalarındaki konumlarını işaretleyelim. Eğer Dünya hareketsiz (sabit) dursaydı, lazer, yalnızca iki nokta oluşturabilirdi. Oysa bizim lazerimiz, yön değiştirme noktalarında çemberimsi bir şekil çizmişti. Buradan gözlemsel ve biraz da sezgisel olarak Dünya'nın dönme hareketine sahip olduğunu çıkardık.

Kopernik, dönemin teknolojik yetersizliklerinden⁹ ötürü bu meselenin boyutlarını matematiksel olarak tam anlamıyla yakalayamasa da, kendisinden yirmi yıl sonra doğan Galileo Galilei ve Galilei'nin akranı, çağdaşı, Johannes Kepler'e çalışmaları için önemli sorularla dolu büyük bir miras bıraktı. Galilei ve Kepler bu mirasa, yaptıkları gözlemlerle büyük katkı sundular. Özellikle doğanın işleyişini matematik (Galilei'nin deyiimiyle "doğanın konuştuğu dil") bakımından göstermeye çalıştılar.

9 Teleskopun henüz icat edilmemiş olmasından bahsetmekteyiz.

DÜNYA DÖNÜYOR - II

Bir önceki yazıyı hatırlayarak başlayalım...

Dünya'nın şeklinin sezgisel olarak büyük bir topa benzediğini göstermiştik. Ve asıl olarak da Kopernik'ten bahsetmiştik. Ne yapmıştı Kopernik? Aristoteles'ten gelme Hristiyanlık anlayışında sorgulanamaz olan, "Dünya, evrenin merkezinde sabit bir şekilde durmakta ve diğer gök cisimleri de Dünya etrafında dönmektedir" tabusunu çökertmişti. Kopernik bunu, Dünya'nın da döndüğünü gözlemleyerek kanıtlamıştı.

Bu yazıdaysa geçen sefer kaldığımız yerden, konuya önce Galileo'nun daha sonra da Johannes Kepler'in pence-resinden bakmaya çalışacağız.

Galileo Galilei (1564-1642)

Galileo İtalya'nın Pisa şehrinde doğduğunda dönemin takvim yaprakları Rönesans'ın büyük sanatçısı

Michelangelo'nun öldüğünü gösteriyordu. Galileo'nun hayat akışında babasının ve büyüdüğü ortamın etkisi büyüktü. Babası Vincenzo, dönemin önemli lütenistlerinden (bir çalgı ama ne olduğunu bilmiyorum) ve müzik teorisyenlerinden biriydi. Pisa ise dönemin önemli bir sanat ve kültür merkeziydi. Galileo, bu sanatsal atmosferde resim ve müzikle ilgilendi. Ayrıca geliştireceği teleskopun habercisi olarak araç gereç yapımında dikkat çeken Galileo, derslerinde de oldukça başarılıydı. Aslen doğa bilimleriyle ilgilenmeyi seven Galileo, babasının hastalığından etkilenerek yirmili yaşlarında tıp okumaya başladı. Kuru bilgi ezberlemekten sıkılmış ya da kan görmekten korkmuş olacak ki tıp tahsilini yarıda bırakıp matematik çalışmaya başladı. İyi ki de öyle yapmış. Pisa Üniversitesi'nde kısa sürede hocalık mertebesine ulaşan Galileo, babasının ölümünden sonra 1592 yılında Padua Üniversitesi'nden aldığı hocalık davetini kabul etti. Padua'da Geometri, Mekanik ve Astronomi dersleri vermeye başladı.

Yaptığı çalışmalarla Kopernik'in teorisini yaymaya çalışan Galileo, Aristoteles evrenini sorguluyordu. Kısaca Hıristiyanlık'taki Aristoteles'in evren anlayışını hatırlayalım. Aristoteles'e göre¹ "Dünya evrenin merkezinde sabit bir şekilde durmakta ve diğer gök cisimleri de Dünya etrafında dönmekte"ydi. Hıristiyanlıkta da bu görüş şu şekilde tabulaşmaktaydı: Gökyüzü yıldızların çakılı oldukları bir küredir ve kürenin merkezinde de Dünya sabit bir şekilde durmaktadır. Geçen yazıda bahsettiğimiz üzere Tycho Brahe tarafından "Tanrısal bir düzen" diye ad-

1 Yanlış anlaşılabilir, burada kastedilen Aristoteles'in kendi fikirlerinin kiliseye çarpıtılmış halidir.

landırılan bu anlayış, birçok dinde de olduğu gibi, insana evrenin merkezinde olma onur ve gururunu vermektedir.

Geçen yazıda da yer vermiş olduğumuz görüşe Kopernik gibi Galileo da dini inanç olarak karşı değildi. O da yaşamı boyunca kilise eğitimi almıştı. Ne var ki insanlığın, kendi dönemine kadarki, özellikle de son üç yüz yıllık çalışmalarıyla beslenen Galileo, nerden geldiği belli olmayan kilise tabularını karşılaştırdığında, insanlığın yanlış bir yolda olduğunu görmekteydi.

Kopernik'in matematiksel² ve teknik yetersizlikleri tam anlamıyla çözemesi de Dünya'nın da hareket ettiğini kanıtlamasıyla insanlığın doğayı anlayabilme sürecinde büyük bir devrim gerçekleşmişti. Galileo, doğanın işleyişinin anlaşılabilirliği üzerine bu yoldan yürümeyi tercih etti.

Kopernik evreninde Dünya, evrenin ne merkezinde ne de sabitti. Peki, evrenin bir merkezi var mıydı? Bu cisimler acaba bir yasayla mı hareket ediyorlardı? Bu soruların cevaplarını bulmak için her doğacı gibi Galileo da önce gözlemler yapmaya başladı. Gözlem yapmaya başladı başlamasına da gök cisimleri çok uzaktaydı ve onları eldeki teleskoplarla gözlemlemek imkânsızdı. Hollandalı Hans Lippershey'in 1608 yılında geliştirdiği ilk modern teleskopu daha da geliştirdi. Zaten alet yapımına çocukluğundan beri meraklı olan Galileo, 1609 yılında kendi teleskopunu üretti. Jüpiter'i, uydularını ve birçok yıldızı ilk kez gözlemleyen o oldu. Bu yüzden 1609 tarihi, modern astronominin başlangıcı sayıldı. İçinde bulunduğumuz 2009 yılı da³ Galileo'nun teleskopu icat etmesinin 400. yılı olması nedeniyle, dünyada Astronomi Yılı olarak kabul edilmektedir.

2 Bu matematiksel eksiklik, henüz gerçekleştirilmemiş kalkülüstür.

3 Aradan çok yıllar geçti.

Galileo'nun geliştirdiği teleskop, astronomide büyük gelişmelere sebep oldu. Artık gezegenlerin ve uyduların hem yıldızların etrafındaki, hem de kendi etraflarındaki hareketleri şekil olarak anlaşılabılır olmuştu. Mesela Ay, Dünya etrafında tam dairesel olmayan bir şekilde dñn-mektedir. Bazen yaklaşarak bazen de uzaklaşarak... Oysa Kopernik, bu yñrñngenin dairesel olacağı kanısındaydı.

Kopernik gibi bir katedralde, basit bir sarkacın yñrñngesini inceleyen Galileo'nun aldığı veriler, gñk cisimlerinin teleskopla incelenen yñrñngeleriyle hareketin ÷zel liğinin aynı olduğunu gñsteriyordu. Buradan hareketle Galileo, cisimlerin hareketinin nedenleriyle uğraşmayıp, hareketlerin nasıllarını bulmaya çalıştı. Bu çalışma Yunan filozof Aristoteles'i yeniden karşısına alması demektir. Aristoteles'e gñre aynı yñkseklikten bırakılan iki cisimden ağır olanı hafif olanından daha az bir sñrede yere dñř-mektedir. ÷rneklersek, bir elmamız bir de gñllemiz olsun. Onları balkondan yere serbest bırakırsak gñlle daha ÷nce yere dñřmelidir. Bunun bir safsata olduğu 13. yñzyıldan beri biline gelmekteydi. Ne var ki Engizisyon korkusundan bu "kral çıplak" atılımını kimse gñsterememiřti.

Sonunda bu çıkış Galileo'dan geldi. Galileo, memleketinin ÷nlñ Pisa kulesine çıktı. Bir top gñllesi ve bir sapan taşını kulenin tepesinden aynı anda serbest bıraktı.⁴ Sonuçta top gñllesi ile taşın yere ulaşma sñreleri eşit çıktı. Aynı yñkseklikten eşit hız ve yñrñngede fırlatılan cisimlerin aynı hız ve sñrelerde yere ulaştıklarını gñzlemleyen Galileo artık Aristoteles'in doğa anlayışını tamamen çñrñtmüřtü. Bu çalışmalarında konum ve hız

4 Bu "sınama" birçok çevre tarafından bugün modern bilim denilen olgunun miladı olarak gñrñlmektedir. Bence bu şekilde bir yaklaşım bayağı indirgemeci kalmaktadır.

kavramlarının yanına onların nedenlerine dair bir kavram eklemişti: “ivme”

Bu çalışmalarını kendi notlarına da eklemişti ama şu gerçeği çok iyi biliyordu: akademide onlarca teoloji bağnazlığından çıkamayan, Katolik Kilise yalakası ve korkak sözde entelektüeller vardı. Grafik tasarımı hazır kitabını matbaadan çıkarırsa başına gelecekleri iyi bildiğinden uzun zaman korktu. Kitabı çıkarabileceği en güvenli zamanı bekledi. 1616 yılında, *Söylevler* adlı kitabında yazdıklarından ötürü ilk kez Engizisyon Mahkemesi’nin karşısına çıkmak zorunda kaldı. Kopernik evrenini savunarak kutsal dogmalara karşı gelmek ve halkı isyana teşvik suçlamalarıyla yargılandı. Evet halkı isyana teşvik, çünkü Galileo, kitaplarını sadece bilim insanlarının bildiği Latince ile değil herkesin kullandığı İtalyanca ile kaleme almıştı. Mahkemeye kendi görüşlerinin Kopernik’i aştığını ve başka bir şey söylediğini anlatabilmesi beş yılını aldı ve sonunda beraat etti. Paçayı ucuz kurtardığının farkındaydı.⁵

Bu arada kuyruklu yıldızlar üzerine yazdığı *Değerlendirici* adlı kitap Papa’nın bile çok hoşuna gitti ve 1623’te bizzat Papa tarafından yeniden çalışma yapması yönünde yüreklendirildi. Deyim yerindeyse Papa’dan da aldığı gazla 1632’de, en büyük eseri olarak bilinen *Büyük Dünya Sistemleri Konusunda Diyalog*’u yazdı.

Son derecede basit bir dille yazmış olduğu bu kitap, Aristoteles yanlısı Simplicio, Galileo anlayışının savunucusu Salviati ve bağnaz olmayan bir karakter olan Sagredo’nun diyaloglarından oluşmaktaydı. Kitabındaki iğneleyici anlatımıyla kilisenin bütün ipliğini alaycı ve net bir dille pazara çıkarması Galileo’ya ikinci kez Engizisyon

5 Acaba engizisyona düşünce kitap satışları patladı mı?

yolunu göstermişti. Artık yetmişli yaşlarında olan Galileo'nun bu seferki yargılanması ilkinden de ağır oldu. Yaşına oranla kaldıramayacağı işkencelere maruz kaldı ve sonunda da mahkemenin özür dileme isteği için hazırlamış olduğu metni istemeyerek okudu.

“Ben Galileo, [...] Güneş'in Dünya'nın merkezi olduğu, hareket etmediği, arzın ise Dünya'nın merkezi olduğu, hareket halinde olduğu yolundaki yanlış görüşleri tümüyle terk etmem için Kutsal Divan tarafından verilen hukuki hüküm çerçevesinde, söz konusu yanlış doktrini, her ne suretle olursa olsun, yazılı veya sözlü olarak benimsemeyeceğim, savunmayacağım ve öğretmeyeceğim...”

Ev hapsi cezasına çarptırılan Galileo, görme duyusunu kaybetmesine karşın çalışmaya devam etti. *İki Yeni Bilim Üzerine Diyalog* adlı modern fiziğin temellerini attığı ve kendi doğa anlayışını açıkladığı kitabını yazdı.

Sanırım artık sahne sırası Kepler'de.

Johannes Kepler (1571-1630)

Almanya'nın Weil şehrinde doğan Kepler, Galileo gibi soylu bir ailenin çocuğu değildi. Babası bir sarhoştur, annesininse akli dengesi bozuktur. Çocukluk döneminde geçirdiği ateşli hastalıklar yüzünden görme duyusunu büyük ölçüde kaybetti. Bu olumsuz koşullara rağmen mükemmel bir öğrencilik hayatı oldu. Öğreniminde bir ara, bu dönemdeki herkes gibi o da teolojiyle ilgilendiyse de aklını başına çabuk toplayarak matematik çalışmaya başladı.

Kepler de Galileo gibi Kopernik'in evren anlayışını savunuyordu. Yirmili yaşlarının başında Avusturya'nın Graz üniversitesinde profesör oldu. Ne var ki buradaki Protestan-Katolik çekişmesinde yenik düşen Protestanlarla birlikte şehri terk etti. Danimarka'ya giden genç profesör, bura-

da dünya merkezli evren anlayışının en büyük savunucusu Tycho Brahe'nin yardımcılığını yapmaya başladı. Brahe'nin, kendisinininkine aykırı görüşlerine rağmen, çalıştığı gözlemevinin görece kusursuzluğu, kendi çalışmaları için Kepler'e iyi bir olanaktı.

Kepler, evrenin yapısı için "göksel mimarlık" tanımını kullanıyordu. Bu mimarinin ise anlaşılabilirliği matematikten geçmekteydi. Brahe, ona ilk iş olarak Mars'ın yörüngesini hesaplamasını vermişti. Kopernik öğretisinden bildiği kadarıyla Mars yörüngesinin dairesel olacağından şüphesi olamayan Kepler, yıllarca bu yörüngeyi inceledi. Gözlemleri sonucunda aldığı verilerle tahmininin uyuşmadığını gördü. Kepler, sabit bir hızla düzgün dairesel bir yörüngenin yerine belli zaman aralıklarında değişik bir şekilde hızlanıp yavaşlayan ve uzaklaşıp yaklaşan bir yörünge olduğunun farkına vardı. Aslında bu yörünge Kepler'e yabancı değildi. Kopernik'in sarkaç gözleminde sarkacın hareketinin yansıması ile Kepler'in gözlemlemiş olduğu yörünge örtüşüyordu. Buradan hareketle gözlemlerindeki sonuçları matematiksel bir ilişkiye sokmaya çalıştı.

Gezegenlerin konum değişimlerini an be an hesaplayan Kepler, kendi adıyla da bilinen Kepler Yasası'nın ilk iki maddesini yazdığı *Yeni Astronomi* adlı kitabını 1609 yılında tamamladı. Yasanın ilk maddesine göre her gezegen, bir odağında Güneş'in yer aldığı bir elips çizerek devinir. İkinci maddeye göre ise Güneş ile gezegen arasındaki vektörün taradığı alanlar birbirlerine eşittir. Kitabını Galileo'ya da yollayan Kepler'e Galileo'dan cevap çabuk geldi.

"...Gerçeği ararken, gerçeğin büyük bir dostu olan sizin gibi bir yandaşım olduğu için kendimi mutlu sayıyorum. İçinde kusursuz şeyler bulacağımdan emin olarak, kitabınızı sonuna kadar okuyacağım. Uzun yıllardan beri Kopernik sistemine bağlı ol-

duğum için ve kabul edile gelmiş hipotezlerin (Aristoteles'in, evrenin merkezinin dünya oluşu yolundaki görüşü) anlaşıl-maz kıldığı doğanın birçok yönlerini açıkladığı için, bu oku-mayı daha büyük zevkle yapacağım..."

Kepler'in üçüncü ve son yasasını bulması ise yaklaşık on yıl sürdü. Bu yasa, bir gezegenin güneş etrafındaki bir turu tamamlama süresiyle (periyot) ona uzaklığı arasında evrensel bir sabit oran olduğunu söylüyordu. Acaba Kepler haklı mıydı?

$$\frac{R^3}{T^2}$$

Bulduğu sonuç, uzaklığın küpü bölü periyodun karesi, bütün çevrelerce çok karmaşık ve zorlama bulunuyordu. Yasayı anlayamadığından olacak ki Galileo'nun bile bu fikre kafası pek yatmamıştı. Kepler kendinden emindi, çünkü en küçük hesap için bile aylarca gözlemler yapmış-tı. Kepler'in anlaşılamamasının nedeni ise hesabının dönemin matematik birikimiyle açıklanamamasıydı. Belki de bugün Newton'un sonsuz küçük hesabıyla basitleşen hesabını gözlemsel olarak bulmak için bir ömrü adamak zorunda kalmak Kepler için hayırlı oldu. Çünkü bu kadar çok çalışmak ona Dünya üzerinden ortalama yüz-yılda bir gözlemlenebilen bir olayı görme şansını verdi: yıldızların küçülerek patlaması ve o gökteki görkemli kaotik görüntü; süpernova. 1604'te gözlemlediği süper-novaya kendi adı verildi. Bu olay günümüze kadar bir kez daha yalnızca 1987 yılında, aralarında Kuantum Elektro Dinamiği'nin kurucusu Richard Feynman'ın da bulun-duğu ekip tarafından gözlemlendi ve bu süpernovaya da Feynman adı verildi.

İnsanlığın doğayı anlayabilme sürecini her yüzyıl oynanan lig maçlarına benzeterek, yazımızı bir futbol haberciliği diliyle bitirelim. 17. yüzyılın ilk yarısında doğanın dilindeki kapalılık, futbol deyimiyle sıkı savunma açılmadı. Ama ikinci devre oyuna giren Newton ve Leibniz adlarındaki iki gencin takımı toparlamasıyla maçın sonuna doğru goller de gelmeye başladı. Maç sonrasında sadece otonom haber ajansı ile mülakat yapan Newton, “Oyunu iyi yönde etkileyebildiysem, bunu takım kaptanlarımız Galileo ve Kepler’e borçluyum” dedi. *Kafama Bir Elma Düştü* adlı bu mülakatın tamamı bir dahaki sayıda, kaçırmayın!

Kitap okumanın bir faydası da bir sonraki dergi sayısını beklemek zorunda kalmadan sıradaki yazıyı okumaya hemen devam etmektir. Umarım kitap iyi gidiyordur...

KAFAMA BİR ELMA DÜŞTÜ

Var oluşundan beri, insanoğlunun doğa ile mücadelesi devam etmektedir. Mücadelede kimin ne kadar emeğinin olduğunu hesaplamaya yeltenmek yakışık almaz. Ancak doğanın kimi yönlerini anlamaya çalışmak öyle şeyler öne sürmüştür ki, bu savlar (düşünceler), insanoğlunun toplumsal yaşantısının şekillenmesinde önemli roller oynamıştır.

Bu yazıda, düşünce yapımıza yeni bir boyut kazandıran bir isimle, bana göre doğa bilimleri futbol takımının orta sahadaki dinamosu olan Newton ile kendimce (hayali) bir söyleşi yapmaya çalıştım. Her ne kadar Einstein zamanda yolculuğa kısıtlamalar getirmiş olsa da, konu Newton olunca Einstein için bile akan suların duracağına dair beklentimle devam ediyorum.¹

1 Ki Harald Firstch'in Newton, Einstein, Heseinberg, Feynman ve kendisini buluşturarak yazdığı *Yanılıyorsunuz Einstein* (Metis yayınları) kitabını 2012 Haziran'ında okuduğumda bir kez daha iyi ki böyle bir röportajı gerçekleştirmişim dedim.

$A = \{a, b, c, \check{c}, d, e, f\}$ Görmüş olduğunuz harfler kümesinde, her harf sırasıyla Newton'un çocukluğu, gençliği, Royal Academy günleri, oradan ayrılışı ve oradaki tartışmalar, Sir unvanı alışı, darphane müdürlüğü gibi konuları simgelemektedir. Bu kümeyi söyleşiye dahil etmedim.² A kümesi, Newton ile aramda kalsın. İsteyen yarım saat internet karıştırıp, A kümesinin bütün elemanlarıyla ilgili olarak doyurucu metinlere ulaşabilir. Bu çok kısa söyleşide, Newton ile onun hareket yasalarını, kendisinin de sevdiği basit ve basit olduğu kadar sağlam bir matematiksel dille (kendi çapımda) aktarmaya çalıştım.

Lazuri: Hocam siz şöyle bir başlayın, ben aralarda kafama takılanları size sorarak sohbete haddim olmayarak katılmaya çalışayım.

Newton: Olur genç adam. Öncelikle konuşma dilimizi belirleyelim. Bizim on yedinci asırda, bütün felsefe ve doğa bilimlerinin dili Öklid geometrisiydi. Birazcık bu geometriden bahsedeyim. Bu geometrinin belitleri (aksiyomları) var. Belit, kanıtlanmaya gerek duyulmayan, besbelli olan şeydir. Şimdi belitlere geçelim. Belit bir: Herhangi iki noktadan bir doğru geçer. Belit iki: Herhangi bir doğru parçası sonsuza kadar bir doğru olarak uzatılabilir. Belit üç: Bir doğru parçası verildiğinde, merkezi verilen doğru parçasının ucunda olan, yarıçapı ise verilen doğru parçası olan bir çember çizilebilir. Belit dört: Tüm dik açılar eşittir. Belit beş: Kısaca söyleyeyim, paralel doğrular asla kesişmezler. *Elementler* adlı başyapıtında Öklid, bu belitleri temel ala-

2 Sanki "ha ben fizik bilirim böyle günlük şeyleri yazmam" gibi bir hava oluşmuş olabilir. Ama aksine özellikle tarihe mal olmuş kişilerin hayat hikayelerini incelemek, onların sorularıyla hemhal olmak için, olmazsa olmazdır.

rak, geometride kullandığımız teoremleri kanıtladı.

L: Bir teorem kanıtlayalım mı?

N: Sabırlı olmalısın. Daha konuşma dilimizi oluşturmadık. Neyse, gençlikte olur böyle şeyler. Nerede kalmıştık?

L: Belitlerin teoremleri kanıtladığını söylemiştik.

N: Tamam. Sonuç olarak doğada bir boyutun³ geometri olduğunu kabul ediyoruz.

L: Bu boyut kavramını tanımlayabilir misiniz?

N: Sağ, ön ve yukarı gibi üç farklı yöne üç boyut demekten öte, onları oluşturan uzunluğun kendisini boyut olarak kabul edeceğiz. Şimdi, uzunluk boyutumuzun anlaşıldığını varsayıyorum. İkinci bir boyutumuz daha var: Zaman. Benim zaman tanımım, kolundaki saatin sabit hızla turlamasıdır. Ustam Galileo'nun dönüşümleriyle örtüştüğü için bu tanımı geçerli sayıyorum. Bu tanım gözlemlerimizle örtüşmekte. Ayrıca, zaman kavramının tartışmalı bir konu olduğu bilinir. Bizim asırda Descartes, Spinoza, Leibniz ve daha birçok doğa filozofunun zaman kavramı üzerine değerli çalışmaları vardır. Şimdi, bu iki boyutu kullanarak yeni bir kavram oluşturalım: Hareket. Hareket kavramını ustam Galileo, *Diyaloglar* adlı kitabında en iyi şekliyle anlatmıştı. Bu kitabı muhakkak okuyun. Hareket kavramının işimize yarayacak bazı temel tanımlarını hatırlatmak istiyorum. Herhangi bir nesnenin bulunduğu noktanın belli bir referans noktasına göre durumuna *konum*, bu konumun zamana göre olan değişimine *hız*, hızın zamana göre değişimine de *ivme* diyeceğiz. Bir de bunları uzunluk (L) ve

3 Boyuttan kasıt, başka fiziksel büyüklüklerle ifade edilemeyecek fiziksel niteliklerdir. Kütle, zaman, uzunluk ve elektrik yükü evrendeki dört boyuttur.

zaman (T) boyutlarımızla gösterelim. L konum, L bölü T hız ve L bölü T^2 'nin karesi ivme.

$$hiz = \frac{L}{T}$$

Tekrarlamakta fayda var, hareket kavramlarımızı her zaman seçtiğimiz bir referans noktasına göre tanımlıyoruz. Galileo'dan başka bir usta isme geçelim: Kepler. Bu arada önceki yazınızı okudum, Kepler ve Galileo'yu konu etmişsiniz. Neyse, hareket konusuna geri dönelim. Şimdi içinden "Ne yapıyor bu adam?" diye soruyor olabilirsin, konuyu dağıttık, açıklayayım. Amacım, tamamıyla gözleme dayalı Kepler yasalarını matematiksel olarak kanıtlamak. Bunu nasıl yapacağız? İşte benim hayatımı adadığım sorulardan biri bu? *Doğanın Matematiksel Prensipleri*'ni bu amaçla yazdım. Matematikte kalkülüsü, analitik hesap yöntemini bu yüzden buldum: Harekete sebep olan kavramın bir nedeni var mıdır, varsa nedir?

L: Kuvvet kavramı mı?

N: Evet, kuvvet deyip geçmek çok kolay, ama kuvvetin doğanın işleyişindeki etkisinin eğilimini matematiksel bir biçimde ifade etmek o kadar da kolay değil. Ama kimse korkmasın; belirsiz limitler hesaplamayacak, saçma sapan türevler almayacak ve çözümsüz integral hesapları yapacağız. Yapacaklarımız son derece temel şeyler, bu anlamda takibi son derece basittir. Yapacağımız hesaplarda, tanımlamadığımız hiçbir şeyi de kullanmayacağız.

L: Kepler yasalarını hatırlayarak başlayalım mı?

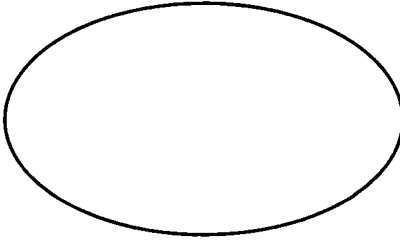
N: Yasaları da sen yaz.

L: Büyük bir onurla.

1-Yörüngeler yasası der ki, bütün gezegenler eliptik yörüngelerde Güneşi de odaklayarak hareket ederler.

2-Eşit alanlar yasası der ki, her gezegen eşit zaman aralıklarında Güneş etrafında eşit alanlar süpürür.

3-Periyotlar yasası der ki, herhangi bir gezegenin Güneş etrafındaki bir turu tamamlama süresinin (periyodunun) karesi gezegenin Güneş'e ortalama uzaklığının küpüyle doğru orantılıdır.



şekil 1

N: Güzel, elipsin ne olduğunu da şekil-1'de gösterelim. Kepler yasalarının doğasında, sadece uzunluk ve zamanla oluşturulabilecek kavramlar var. Dolayısıyla kuvvet kavramını içermiyorlar. şimdi, kendi doğa yasalarımı vereceğim ve daha sonra Öklid belitlerini ve kendi yasalarımı kullanarak Kepler yasalarını kanıtlayacağız. Terzi kendi söküğünü dikemez ama kendi yasalarımı ben açıklayayım.

1. Eylemsizlik ilkesi: *Herhangi bir cisim sabit hızla hareket ediyorsa ya da sabit durmaktaysa, cisim üzerine uygulanmakta olan net kuvvet sıfırdır.*

2. Hızlanma ilkesi: *Herhangi bir cisim üzerindeki net kuvvet sıfır değilse, cisim kuvvet doğrultusunda hızlanır.*

3. Etki tepki ilkesi: *Herhangi iki cismin birbirlerine uyguladığı kuvvetler eşit büyüklükte, ters yöndedir.*

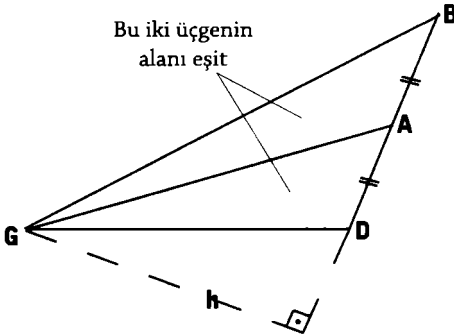
L: Hızlanma ilkesini bizlere hep "kuvvet = kütle x ivme" diye öğretmişlerdi.

N: Hiçbir zaman hızlanma yasasını senin öğrendiğin şekliyle yazmadım. Benim bu yasamın denklemini olsa olsa “kuvvet x zaman değişimi = kütle x hız değişimi” olarak düşünebiliriz. Evet, denkliğin her iki tarafını zaman değişimine bölersek senin öğrendiğin denklemi elde ederiz, ama o zaman birazdan tanımlayacağım bir kavramı elde edemeyiz. Bu yüzden, o zaman değişimi orada kalsın.

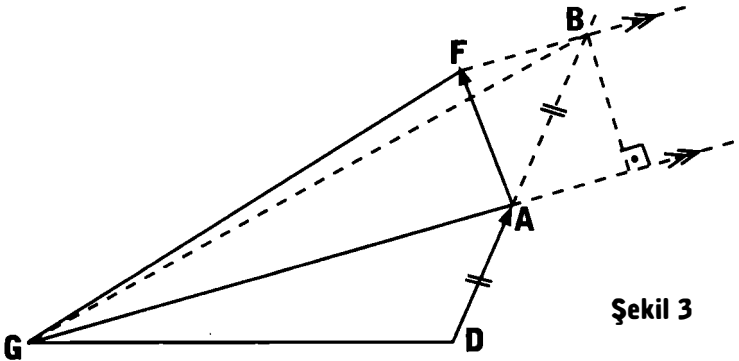
L: Hareketin kuvvet etkisiyle oluşan yeni sistemini nasıl adlandırıyoruz?

N: Dinamik. Böylelikle, gerekli tanımları yapmış olduk. Kanıtlama zamanı geldi. Kepler’in birinci yasası gözleme dayalı bir doğru, kanıtlanacak bir şeyi yok. İkinci yasayı, eşit zamanda eşit alanlar taranır yasasını kanıtlayalım. Şekil-2’ye bakalım. G noktası Güneş’i D noktası da Dünya’yı temsil etsin. Eğer Güneş ile Dünya arasında bir etkileşim yoksa, yani net kuvvet sıfırsa, Dünya sabit hızla hareketine devam edecektir. Konum değişiminin hız ile değişen zamanın çarpımına eşit olduğunu hareket konusundan bildiğimizden, DA uzunluğu AB uzunluğuna eşittir. Bir üçgenin alanının, taban uzunluğuyla o tabana ait yüksekliğin çarpımının yarısı olduğunu herkesin bildiğini kanıtlamadan kabullenelim. DA ve AB tabanlarına ait yükseklik aynı yükseklik olduğundan, üçgenlerin alanları eşit çıkar. İkinci yasayı, net kuvvetin sıfır olduğu koşulda kanıtlamış olduk. Ya net kuvvet sıfır değilse ne olur? Aynı diyagramı birazcık değiştirerek Şekil-3 olarak çizelim. Bir varsayım yapalım. Kuvvetimiz periyodik olarak anlık etki etsin. Bir musluktan belli zaman aralıklarında yere suyun damlaması gibi. Bu durumda, o anlık kuvvet uygulanması anında, ikinci yasama göre cismin hareket yönü Güneş’e doğru yönelecektir. Sonuçta Şekil-3’te yeni bir üçgen oluş-

tu. Eğer elimizdeki bu iki üçgenin alanları eşitse kanıtımız tamamdır. DA ve DF hareket yön değişimlerini uç uca eklersek, Şekil-3'teki iki doğrunun paralel olduğunu, DF 'nin hiçbir şeyinin değiştirilmeden koyulmasından anlıyoruz. İki paralel doğru arasında sayılamaz sonsuzlukta eşit yükseklik olduğunu Öklid'in dördüncü beliti sayesinde biliyoruz. Sanırım herkes GDA ve GAB üçgenlerinin alanlarının eşit olduğunu görmüştür. Şimdi yasanı kanıtlamak için son hamlemizi yapalım. Kuvvetimizin uygulanma sıklığını çok ama çok küçültelim. Zaman aralıkları sıfıra yaklaştığında, kuvvetin artık bir sürekliliğe sahip olduğu ve yörüngenin elips olduğu görülmektedir. İkinci yasanın



Şekil 2



Şekil 3

limit, türev, integral olmaksızın yapılmış kanıtı tamamdır kanımca.

L: Üçüncü yasanın ispatı için elipsin özel bir durumu olan çemberleri kullansak.

N: Doğru, işlemler kolay olur. Diyelim ki, Güneş çemberin merkezinde sabit duruyor ve Dünya da çemberin üzerinde hareket ediyor olsun. Hızlanma ilkemi (ikinci yasamı) daha önce bahsettiğim gibi “*kuvvet $\times$ zaman değişimi = kütle $\times$ hız değişimi*” olarak düşünelim. Bu denklikte kütleyle sabit kabul edersek, kuvvet ile hız değişiminin birlikte artıp azaldığını aşağıdaki gibi rahatça görebiliriz.

$$m \frac{v^2}{R} = G \frac{Mm}{R^2}$$

Denklemini kullanarak

$$v^2 = G \frac{M}{R}$$

G: Evrensel çekim sabiti
M: Güneş'in kütlesi
m: Dünya'nın kütlesi
R: Güneş'le Dünya arasındaki mesafe
T: Dünya'nın Güneş etrafında dönme süresi

eşitliğini elde ederiz. Bu eşitlikteki hız, v 'yi

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

şeklinde yazarak

$$\frac{R^3}{T^2} = G \frac{M}{4\pi^2} = \text{sabit}$$

L: İşimiz bitti mi?

N: Aslında daha analitik, toplamda sadece bir paragraflık ve daha geniş bir analiz yapabilirdik. O zaman kalkülüs kullanmamız gerekirdi. Bizim asırda kalkülüs bilen yoktu. Kalkülüsü icat edip, bu yasaları analitik bir dille ilk olarak yazdığımda kimse ne yaptığımı anlamadı ve *Principia*'yı, anlaşılınsın diye yine geometrik bir dille yazdım.

L: Gezegenlerin hareketlerini dinamik yasaları ve Öklid belitleri yardımıyla göstermiş olduk.

N: Evet, Kepler yasalarıyla ilgili söyleyebileceğimiz bazı sonuçları yazalım: Uzay boşluğunda dahi olsa cisimler birbirlerine karşı bir çekim uygularlar. Buna *kütle çekimi kuvveti* diyorum. Hatta burada bir *evrensel çekim kuvvet sabiti* vardır. Bunlar biraz analiz matematiği gerektirdiğinden yapmayacağım. Bir başka sonuç ise, benim ikinci yasamı senin söylediğin gibi “kuvvet = kütle x ivme” şekliyle yazıp bir önceki sonuçta yazdığımız kuvvetle denklesek, bir yıldızın ya da bir gezegenin kütesini bulabiliriz.

L: Biraz daha açar mısınız?

N: Ay dünya etrafında döner, aradaki kütle çekimi kuvvetini yazalım:

$$kuvvet = G \frac{Mm}{R^2}$$

Bir de bu kütle çekim kuvvetinin ay üzerindeki etkisini yazalım: ma . Bu iki denkliği eşitleyelim:

$$G \frac{Mm}{R^2} = ma$$

olur. Küçük m 'ler sadeleşir ve

$$M = \frac{R^2 \times a}{G}$$

olur. R ve G 'yi bildiğimizden, Dünya'nın kütlesini hesaplayabiliriz. Aynı operasyonu Güneş için, herhangi bir gezegenin hareketi için de yapabiliriz. Bu da analizin gücüdür.

L: Teorik dinamik yasalarının çok uzaklardaki gök cisimlerinin hareketlerinin doğasını gösterdiğini gördük. Peki bu yasalar, yaşadığımız Dünya'da da geçerli mi?

N: Tabii ki. Ay ile Dünya arasındaki kütle çekimi ağaçtan kafamıza düşen bir elma ile yer kabuğu arasında da mevcut. Kimileri, benim yasalarımı kafama düşen o güzel elmadan feyiz alarak bulduğumu söyler. Belki de öyledir.

L: Elma ile yer arasındaki etkileşime geçmeden önce bir soru sormak istiyorum. Etki tepki yasasına göre Güneş'in Dünya'yı çektiği kadar Dünya da Güneş'i çekmez mi? Güneş hareket etmez mi?

N: Evet doğru, aynı kuvvet Güneş'e de etki eder ama Güneş'in kütlesi çok büyük olduğundan kütle çekim kuvvetinin Güneş'e etkisi, büyük bir yörüngeden çok kendini çalkalayan bir insana benzer. Güneş'in hareketinin analizini isteyen yapabilir, ben yapmayacağım.

L: O halde elma ile yer kabuğunun etkileşimine bakalım.

N: İyi fikir. Elmanın kütlesi m olsun ve iki kuvvet denkleğini de aynı denklemin içinde yazalım.

$$G \frac{Mm}{R^2} = ma$$

Buradaki R yer kürenin yarıçapı, M dünyanın kütlesi ve G evrensel çekim sabitidir. Bu denklemde m 'lerin sa-

deleşeceği aşıkardır ve denklemde bilmediğimiz tek değer olan a , elmanın ivmesi,

$$a = G \frac{M}{R^2}$$

olarak elimizde kalır. Bu a yaklaşık olarak 10 m/sn^2 'dir. Yani elmamız kafamıza düşene kadar hızını her saniye 10 m/sn^2 artırmaktadır. şimdi kafama elma değil de bir gülle düştüğünü hayal edelim. Dilerim ki elmayla yırtarım. Güllenin kütlesi elmanın yaklaşık yüz katıdır, güllenin kütlesine $100m$ diyelim. Yine iki kuvvet denkleğini yazalım:

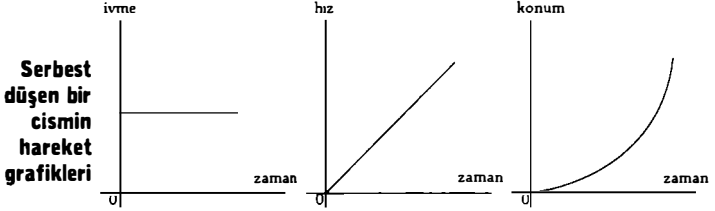
$$G \frac{M \times 100m}{R^2} = 100ma$$

Bu sefer de $100m$, güllenin kütlesi sadeleşecektir ve güllenin ivmesi 10 m/sn^2 olacaktır. O halde şöyle bir sonuca varabiliriz; kütlesi ne olursa olsun bir cisim yere her zaman aynı ivmeyle düşer, bu ivmeye *yer çekimi ivmesi* diyorum ve simgesi artık g olsun.

L: O zaman, yer çekimi ivmesini kullanarak serbest düşmeye uğrayan cisimlerin herhangi bir andaki konumunu ve hızını belirleyebiliriz.

N: Bunu şekil-4'te yer alan basit grafikleri çizerek yapalım. Elimizdeki ivme-zaman grafiğinin altındaki alanı hesaplırsak hız değişimini buluruz. Hız değişiminin her saniye ivme kadar arttığına dikkat etmeli. Hız-zaman grafiğinin altındaki alanı bulursak da konum değişimini buluruz. Ama burada ilginç bir durum var. Konum deği-

şimleri eşit zaman aralıklarında 1, 3, 5, 7, 9, 11... oranlarıyla artıyor ve herhangi bir ana kadarki toplam yer değiştirmelerinin oranı, bize her zaman bir sayının karesini vermekte. $1+3 = 2^2$, $1+3+5 = 3^2$... Doğanın işi.



Şekil 4

L: Son olarak söylemek istediğiniz bir şeyler var mı?

N: Temel Öklid geometrisi ve mutlak bir mekan ve zaman algısıyla, sabitlenmiş bir kütleyle doğanın yapısının bahsettiğim eğilimlerde olduğu varsayımıyla kuyuya bir taş attım. Gözlem sonuçlarımı dayandırdığım bir hesap felsefesi geliştirdim: *Kalkülüs*. Yanıt verebildiğim doğa olaylarının veremediklerimin yanında bir zerrecik olduğunun farkındayım. Mekan ve zaman algımda yanlışlıklar olduğu söylenmekte. Derdim zaman ve mekan üzerine sözselsel bir şeyler söylemekten öte, gözlemlere dayanan doğa olaylarını matematiksel bir dille kendimce uzaktan seyretmek. Hayatın anlamını kavramak değil. Bu noktadaki görüşümü belirttikten sonra, kesinliğine sonsuz inandığım bir şey söylemek istiyorum. Zaman, mekan ve kütlenin yapısı ne olursa olsun doğayı keşfetme yönünde şu andan itibaren bir yola girilmiştir: Matematiksel analiz. Çok tekrar oldu ama bir daha söyleyelim; kalkülüs. Leibniz ile eş zamanlı ve birbirimizden bağımsız geliştirdiğimiz bu yöntem, şıklığı ve sadeliği anlamında geometri

kadar albenisi olmasa da, işleri kolaylaştırması açısından sadece doğa felsefesinde değil pek sevmesem de toplumsal hayatta da büyük değışimlere yol açacaktır.

L: Biraz daha açıcı olabilir misiniz?

N: Dinamik yasalarının etki alanı o kadar geniş ki, bu yasalar kullanılarak üretilebilecek birçok alet savaşlarda ve ekonomik üretimde kullanılabilir. Yavaş yavaş bunlar kullanılmaya başlandı. Kömürle çalışan, birçok insanın yapabileceğı işi tek başına yapabilen makineler üretilmekte. Bu, ilerde dünyanın dengelerini alt üst edeceğe benziyor...

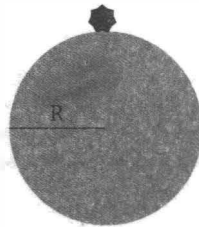
L: Bu açıklayıcı sohbet için çok teşekkür ederim.

N: Artık mekanımı biliyorsun, her zaman beklerim. Ayrıca bütün çalışmalarınızda başarılar dilerim.

DÜNYAMIZIN JEOPOLİTİK ÖNEMİ

Ay'daki yer çekimi Dünya'dakinin yaklaşık altıda birine eşittir. Hemen herkes ilkokulda bu bilgiyi öğrenmiştir. Bu yazıda, bir cisim üzerindeki çekim kuvvetinin Ay'da neden Dünya'dakinin altıda biri olduğunu ve eğer diğer gezegenlerde yaşasaydık nasıl bir yerçekimiyle karşılaşacağımızı inceleyeceğiz.

Metinde, önce herhangi bir küre üzerindeki cismin çekim ivmesini bulacağız, daha sonra bu genel formülü Dünya'ya uyarlayacağız ve bu değere $g=10$ diyeceğiz, en sonunda diğer gezegenlerin yüzeylerindeki çekim ivmelerine Dünya'ya endeksli şekilde bakacağız.



Şekil 1

Kürenin Yüzeyi Şekil-1'deki büyük ve homojen kürenin, üzerinde yer alan m kütleli cisme uyguladığı çekim ivmesini Newton'un meşhur ikinci hareket yasası olan $F=ma$ denkliği uyarınca yazdığımızda, Kepler'in genel çekim yasasını, cismin yere uyguladığı kuvveti, yani cismin ağırlığını elde etmiş oluruz. Buradaki G evrensel kütle çekim sabiti, M kürenin kütlesi, m cismin kütlesi, R kürenin yarıçapıdır.

Denkliğin sol tarafındaki ivme a 'yı da yer çekiminin İngilizcesiyle (gravitation) uyumlu olsun diye g ile gösterelim. Bu son haliyle denkliğimiz şöyle gösterilir:

$$mg = G \frac{Mm}{R^2} \quad (1)$$

Denklikteki m 'ler sadeleştiğinde yerçekimi ivmemiz

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (2)$$

olur. Yani yerçekimi ivmesi g , homojen kütleli bir küre için kürenin kütlesiyle doğru ve yarıçapının karesiyle ters orantılıdır. Bir başka gözlem olarak da bir kürenin üzerindeki bütün cisimlere uygulanan çekim ivmesinin eşit olduğunu söylememiz gerekmektedir.¹

Mavi Portakalın Çekimi

Dünya içinkütleçekim ivmesini hesaplarken, Dünya'nın kütlesine M , yarıçapına R diyelim. Böylece sayılara boğul-

1 Ele aldığımız cisimlerin boyları Dünya'nın yarıçapıyla (yaklaşık 6350 km) kıyaslandığında küçük bir değerde olmalıdır. Böylece Dünya'nın merkeziyle bu cisimlerin kütle merkezlerinin arasındaki çeşitli mesafeler eşit denecek kadar birbirine yakın olsun.

madan işlemlere devam edebiliriz. Bu şekilde (2) numaralı denklemimizi Dünya için de hiçbir şeyini değiştirmeden kullanabiliriz. 10 m/sn² gibi bir değere sahiptir. Birimi de metre bölü saniye karedir. Yani yeni haliyle formülümüz

$$10 = G \frac{M}{R^2} \quad (3)$$

olacaktır.

Ay Çekimi

Wikipedia'dan aldığım verilere güvenerek, Dünya'ya göre Ay'ın kütlesi 0,012 M ve yarıçapı 0,273 R'dir.

Bu durumda (3) numaralı denklem kullanıldığında Ay'ın çekim ivmesi 1,6 yani Dünya'dakinin yaklaşık altıda biri olacaktır.

Çekim ivmesinin küçük olması, Ay'a gittiğini iddia edenlerin görüntülerindeki yavaş hareketleri açıklamaktadır. Çekim ivmesi küçük olduğundan, sıçrayan ya da bir yerden ilk hızsız atlayan biri, Dünya'daki hareketinin yaklaşık 2,5 (doğru oran 2,45) katı sürede yere düşerek hareketini tamamlayacaktır. Bu hesabı, herhangi bir yükseklikten (h) serbest bırakılan bir taş için yapalım. İlk hızsız hareket denklemi²

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \quad (4)$$

'yi kullandığımızda; g'yi Dünya için g ve Ay için g/6 diye hesapladığımızda Ay'da geçen toplam zaman ile Dünya'daki

2 Bu denklik *Kafama Bir Elma Düştü* yazısındaki hareket denklemlerinden çıkartılabilir.

arasındaki oran yaklaşık 2,5 olacaktır. Ay'daki hareketlerin ahesteliği g 'nin küçük olmasından kaynaklanmaktaymış.

Komşularda Yaşam

Gezegenler için, yine Wikipedia yardımıyla oluşturduğum kütle-yarıçap-yarıçapın karesi-kütle bölü yarıçapın karesi çizelgesindeki (Çizelge-1) değerleri (2) numaralı denklemimizi kullanarak oluşturdum.

Gezegen	Kütle (Dünya'nın kütlesi M 'ye bağlı)	Yarıçap (R ye bağlı)	Yarıçapın karesi R^2	M/R^2
Merkür	0,06	0,38	0,14	0,43g
Venüs	0,82	0,95	0,9	0,91g
Mars	0,11	0,53	0,28	0,39g
Jüpiter	317,8	11,21	125,66	2,53g
Satürn	95,2	9,45	89,3	1,07g
Uranüs	14,6	4,01	16,08	0,91g
Neptün	17,2	3,88	15,05	1,14g
Plüton	0,02	0,18	0,03	0,06g
Çizelge - 1				

Çizelgedeki son bölmede gezegenlerin Dünya'ya oranla sahip oldukları yerçekimi ivmelerini görmekteyiz.

İlk ve son sütunları göz önüne getirdiğimizde, hangi gezegende nasıl bir yerçekimiyle karşılaşacağımızı daha net görmekteyiz.

Venüs ve Uranüs'teki çekim ivmelerinin birbirlerine eşit olduğunu görüyoruz. Venüs'ün kaya, Uranüs'ün ise

gaz gezegen olduklarını göz ardı edersek, Uranüs'teki biri, bir anda Venüs'e gönderilse, hava mava gibi koşulların da değişmediğini düşünürsek, kişinin gezegen değiştirdiğini vücudunda hissetmeyeceğini söyleyebiliriz. Dünya'ya en yakın çekim ivmesininse Satürn'de olduğunu söyleyebiliriz. Oysa ki kütlesi Dünya'ninkinden çok çok fazladır.

Jüpiter ile Dünya arasında, kütle çekim ivmeleri açısından Dünya ile Ay arasındaki orana benzer bir oran var. Bu orana göre, bir gökdelenden serbest bırakılan bir taş, ilk iki saniyede toplam; Dünya'da 20, Jüpiter'deyse yaklaşık 50 metre yol almaktadır. Yürümek Ay'dakinin aksine çok çok zordur, Jüpiter'de ancak emekleyebiliriz. Ama (varsa tabii) bir Jüpiterli Dünya'da beşer onar metre zıplayarak dolaşabilir.

Aynı hesabı komşularımızı yörüngesine toplayan Güneş için yaptığımızda, yer çekiminin Dünya'nın yaklaşık 28 katı olduğunu görüyoruz. Eh Güneş'e de bu yakışır.

SAATİMİZ ŞAŞTI

Bir olaya hangi ivmelenmeyen pencereden bakarsak bakalım, olay üzerine etkiyen fizik (doğa) yasalarının değişmez olduğunu söyleyen Galileo'nun *Değişmezlik İlkesi*'nden *Kafama Bir Elma Düştü*'de bahsetmiştik. Yine aynı yazıda Newton, hareket yasalarını bu ilke doğrultusunda mutlak zaman ve uzay ayrımını esas alarak oluşturduğundan söz etmişti. Bu yazı ise başlarda, Einstein'ın binlerce yıllık zaman ve mekân algımızı alt üst eden İzafiyet Kuramı'nın ilk kısmı olan *Özel (Sınırlı) Görelilik Kuramı* üzerine görünmese hatta bu kuramla alakasız olsa bile, yine de görelilik üzerinedir. Size sabırlar.

Çağdaş adıyla fizikçiler, eski tabirle doğa düşünürleri, herhangi bir işleyişi en az ilke ile matematik dilini kullanarak takip etme eğilimindedirler. Bir elmayla yer ve iki gök cisimciği arasındaki etkileşimin kütle çekim ilkesiyle açıklanması buna en iyi örnektir. Fizikçiler ilkelerine o kadar

güvenirler ki onların bir yerde çalışmadığı gösterilse bile sorunu kendi yasalarında aramazlar. Olayın geometrisinde bir sorun olduğuna işaret ederler. Bu konuda tarih, her zaman fizikçileri haklı çıkarmıştır.¹ Ama bu, onların uka-la oldukları gerçeğini de değiştirmez. Arkalarına aldıkları kapı gibi yasalarıyla söyledikleri şeyler günlük hayatta pek işe yaramaz görünse de, sonuçta doğa onları hep doğrulama eğilimindedir. Örneğin bir mucidin, ısı kaybını ortadan kaldıran bir termos icat ettiğini söylediğini varsayalım. Bir fizikçi içinse bu durum termodinamiğin ikinci yasasına (entropi yasası) göre imkânsızdır. Temelde, etkileşmekte olan sıcaklıkları farklı iki cisim arasında, bu cisimlerin sıcaklıkları eşitlenene kadar ısı alışverişi olacağını söyleyen bu yasaya göre fizikçimizin söylediği doğrudur. Fizikçimiz o kadar iddialıdır ki mucidimizle her türlü bahse girebilir. Diyelim ki doğruluğu tartışma götürmeyen entropi yasasını hiçe sayan yasadışı mucidimiz ile çokbilmiş fizikçimiz termosun içindeki çayın sıcaklığının değişip değişmeyeceği üzerine bahse tutuştular. Çayı soğutacaklar, olan güzelim demli çaya olacak ama neyse... Kim kazanacak? Bana göre ikisi de kazanabilir.² Birinci tasarı; hakemimiz bir laboratuvar görevlisi ise, çayın sıcaklığını termometreyle ölçüp termosun ağzını sıkıca kapatır. Aradan epeyce bir zaman geçtikten sonra termosu açıp çayın sıcaklığını ölçer ve sıcaklığın entropi yasasına göre düştüğünü görür. Çünkü termos ne kadar iyi yalıtılmış olsa da dış ortam yalıtım maddesiyle, dolayısıyla da çayımızla etkileşmiştir. Böylelikle bahsi, kapı gibi ısı yasasına yaslanan fizikçimiz kazanır. İkinci tasarı; bu sefer hakemimiz bir piknik ahalisi olsun. Eğer termosta-

1 Henri Poincare, bu düşüncenin 20. yüzyılın başında en sıkı savunucusuydu. Günümüzdeyse Roger Penrose bu tezi savunmaktadır.

2 Bu, ucuz sana bana göreliliğini, fiziksel görelilikle karıştırabiliriz.

ki çay, ahalinin pasta, börek şişkinliğine çare olmuşsa, bahsi termodinamiğin ikinci yasasına rağmen mucidimiz kazanmıştır. O halde, bir olayın değerlendirilmesinin ölçüm araçlarımıza (laboratuar görevlisi ya da piknik ahalisi) göre değiştiğini yani göreliliğini söyleyebiliriz.

Galileo'dan Einstein'a

Einstein'ın Özel Görelilik Kuramını açıklamaya başlamadan önce, Galileo-Newton mekaniğinden 20. yüzyıla kadar geçen sürede fizikteki bazı gelişmelerden kısaca bahsetmek, Einstein'ın bu kuramı nasıl hayal edebildiğinin anlaşılabilmesi açısından anlamlı olacaktır.

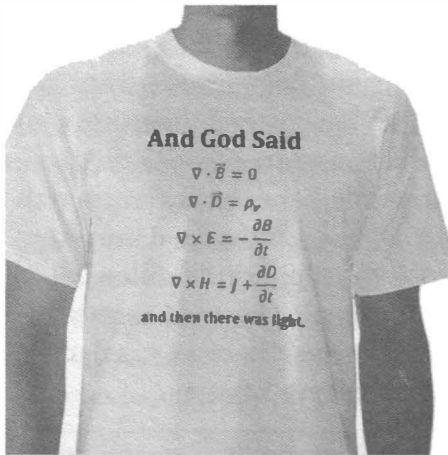
Newton'un hareket yasaları, Galileo Dönüşümleri (yazının daha sonraki kısımlarında bunlara değiniliyor) altında gayet uyumlu bir şekilde işlemektedir. 18. yüzyıl boyunca evrende ölçme gereksinimi hissettiğimiz her şey, Newton yasalarıyla çözülebilmekteydi. Bu anlamda matematik, özellikle analiz alanında doğa problemlerinin çözümü aşamasında kendi içinde büyük gelişmeler içindeydi.

Daha önceleri kilise hurafelerinden başı çok yanan düşünce âlemi, kendi yasalarının doğanın işleyişini hem deneysel hem de kuramsal açıdan gösterebilmesinin mutluluğunu yaşıyordu.³ Hareket yasaları o kadar doğrudu ki, yasaların yazarı Newton bile kendi aklına yatmayanlardan ötürü (Merkür'ün Güneş etrafında dönüş süresi) yasalarından şüphe etse de, şüphesini delillendirecek hayali görememekteydi. 19. yüzyılın başında termodinamikte hiçbir soru işareti bırakmayan hareket yasaları, bilim dünyasında kutsal bir mertebeye kavuştu.

3 Bu başarı, bilimin ironik şekilde bilimciler tarafından dogmatikleştirilmesine kadar uzanmıştır.

Dikkat, Hızlanıyoruz!

19. yüzyılda elektrodinamikte meydana gelen, her biri uzun birer yazı dizisi olmuş ve daha da olacak önemli gelişmelerden kısaca bahsedelim: *Maxwell Denklemleri*, bir başka deyişle *Tanrının Denklemleri*. Elektriksel yükün manyetik ve elektrik alanlarla nasıl ilişkili olduğu, ışığın nasıl oluştuğu ve elektrik ve manyetik alanların aslında aynı şeyin iki farklı yüzleri olduğu, bu denklemler sayesinde açığa çıktı. Ne var ki bu denklemler, görebildiğimiz cisimlerle nispeten küçük ve hızlı, elektron gibi cisimlerin hareketlerini açıklamak konusunda, Newton yasalarıyla ve Galileo Dönüşümleriyle hiç mi hiç örtüşmemekteydiler. Dönemin kutsanan anlayışıyla örtüşmeyen *Maxwell Denklemleri*'nin (tişörtteki denklemler⁴) bilim dünyasında mekanik yasalarının içine yedirilebilmeleri için orası burası değiştirilmekteydi. Alpar Sevgen 19. yüzyılın, bu yöntemle alınmış akademik unvanlar asrı olarak da okunabileceğinden bahsetmişti.



1800'lerin sonlarına doğru bilim dünyasının en büyük tartışmalarından biri de *esir* (ether) diye adlandırılan ortamın var olup olmadığıydı. Sesin ancak boşluk olmayan bir ortamda iletileceği biliniyordu. Bu bilginin ışık-

4 Avrupalı fizik öğrencileri arasında bu tişörtler yaygın şekilde tercih edilmektedir. Acaba neden?

ğında esirin var olduğuna inananlar, ışığın da ancak bir ortam içerisinde iletilebileceğini savunuyordu. İşte *esir* bu ortamın adı. *Esir* içerisindeki tüm cisimlerin hızları, hareketsiz esire göre ölçülebilmekteydi. Esirin varlığına gösterilen bir delil de, Güneş'ten Dünya'ya gelen ışık dalgalarıydı. Eğer ışık dalgaları ancak *esir* içinde yayılabiliyorlarsa, bütün evreni kaplayan *esirden* bahsetmek mümkündü.

Bilim dünyasının bu tartışmalarının içinde boğulmadan başrol oyuncumuza gelecek olursak... Einstein'ın öğrencilik yıllarına dair yaygın bir kanı vardır: çok başarısızdı. 2008'de kendisiyle ilgili bir bilim sergisinde, lise ve üniversite notlarını inceleme fırsatı bulmuştum. Notlarını, okuduğu okulların seviyesiyle karşılaştırdığımda bana iyi gelmişti.⁵ Ama bir gerçek var ki çok soru sorduğu için hocaları tarafından pek sevilmeyen bir talebeydi. Kendisi de üniversite öğrenimini şu şekilde özetlemektedir: "Üniversitede öğrenciye o kadar çok şey öğretmek istiyorlar ki, insanın keyfi ve şevki kaçıyor ve düşünecek zaman bulamıyor. İnsan bilimden adeta bıkıyor." Düşünmenin zaman kaybı olarak görüldüğü günümüz öğrenimine bakınca Albert'a katılmamak elde değil.

Alışlagelmemiş sorular sormasından hiçbir enstitüde iş bulamadı ve ders verdiği lisede de öğrencilere hayal kurmayı aşıladığından olacak ki kovulması gecikmedi ve işsiz kaldı. Evli ve iki çocuk babası olan Albert'a babası Federal Bern Patent Dairesi'nde bir memurluk ayarladı. Salla başını al maaşını günlerinde bol bol düşünmenin keyfini çıkarttı⁶ ve 1905 yılında öyle beş makale yazdı ki, bazıları

5 Bunlara ek olarak Einstein, Zürih Politeknik'te genç kıtanın en iyi öğrencilerinden oluşan altı kişilik özel bir sınıfta öğrenim görmüştür.

6 Böyle memuriyete can kurban!

yalnız bilim dünyasını değil bütün bir yirminci yüzyılı derinden etkilemiştir.

İlk makalesi, kendi tez konusu olan *Molekül Boyutlarının Yeni Bir Belirlenmesi*, ikincisi de Einstein'ın bile *çok devrimci* diye nitelendirdiği *Fotoelektrik Etki* üzerine olan makalesidir. Yakın dostu Max Planck'ın enerji seviyelerinin ayrık olması (bu çalışma kuantum fiziğinin de miladı kabul edilir) fikrine dayanarak Einstein'ın yazdığı bu ikinci makalede, *foton* adı verilen madde-nin varlığı açıklandı. *Fotoelektrik Etki* adlı makalesiyle 1921'de Nobel Fizik Ödülü'nü aldı. Üçüncü makalede ise olasılık kuramını kullanarak 1839 yılında Brown tarafından ortaya koyulmuş olan *Molekül Boyutlarının Yeni Bir Belirlenmesi* kuramsallaştırdı. Dördüncü makale, Özel Görelilik Kuramını açıkladığı *Devinen Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine* makalesidir. Son makalesinde ise özel görelilik kuramının bir sonucu olan kütle ve enerjinin aslında aynı şeyin farklı yüzleri olduğunu gösteren meşhur $E=mc^2$ denklğini vermiştir.

Özel (Sınırlı) Görelilik Kuramı

Newton'un birinci hareket yasası, bir cisim sabit hızla hareket halinde ya da sabit duruyorsa, cisim üzerine etki eden kuvvetlerin toplamının sıfır olduğunu söyler. Bu tarife *Eylemsizlik İlkesi* de denir. Parantez içinde sınırlı yazması da, kuramın sadece eylemsiz evrende (eylemsiz pencerelerin bütünü) geçerli olmasından kaynaklanmaktadır.

Galileo Dönüşümleri, bir cismin hareketini bütün bakış açılarından aynı doğa yasalarıyla açıklamamıza yardımcı olan matematiksel bir gösterimdir. Özel Görelilik Kuramı'yla da ilişkili olmasından ötürü bu Dönüşümü,

tek boyutta bir cisim üzerine düşünerek açıklamaya çalışalım. Sabit hızla ok yönünde gitmekte olan Anadolu Ekspresi'nin içinde, trenle aynı yönde sabit hızla koşan çocuğun hareketini, dışarıda oturmakta olan çobanın eylemsiz penceresinden inceleyelim. Koyunlarının eksik olup olmadığını hesaplamak için her bir koyunu bir taş ile eşleştirerek kümeler kuramının kurucusu olduğunu söyleyebileceğimiz çobanımızın çözümleme gücüne güvenmeyen yoktur herhalde. Çobanın ağzından dinleyelim: "Çocuğun bana göre hızı, içerisinde koştuğu hareketli trenin bana göre hızıyla, çocuğun trene göre hızının toplamıdır. Çocuğun trene göre hızını ise, çocuğun bana göre hızından trenin bana göre hızını çıkararak bulabiliriz. Çocuğa benim hızımı soracak olsaydık, benim hızımın büyüklüğünün kendisinininkiyle aynı fakat ters yönde olduğunu söyleyecektir. Bu olay esnasında, birbirimize göre hızlarımızın büyüklükleri eşit olduğu için, ikimiz için de aramızdaki uzaklık aynı anlarda aynı ölçülecektir. Çünkü ikimiz için geçen zaman da mutlaktır." Çobanımızın söylediklerinden anlıyoruz ki, mutlak bir zaman içerisinde değişen tek şey, eylemsizlik pencerelerinin tarif koşullarıdır (çoban için: yer ve çocuk için: tren).

Önceki paragraftan anlaşılıyor ki Eylemsizlik İlkesi'nin geçerli olduğu bir evrende, herhangi iki gözlemcinin birbirine göre ölçülen bütün fiziksel büyüklükleri eşittir. Bu tarif, Özel Göreliliğin birinci varsayımıdır. Bir diğer varsayım ise ışığın süratinin (yaklaşık 300 milyon m/sn) bütün gözlemcilere göre değişmez ve evrendeki en yüksek sürat oluşudur.

Einstein için, klasik mekanikle örtüşme göstermeyen *Maxwell Denklemleri* arasındaki anlaşılmazlık bu iki

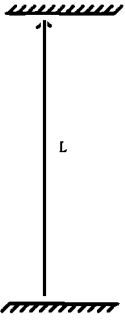
varsayımla çözülebilirdi. Ne var ki konu çok ama çok ilginçti. Ünlü matematikçi Lorentz, bu konu üzerine bazı çalışmalar yapmış ve çalışmalarında eylemsizlik pencerelerinin (yer ve tren) zamanlarında örtüşmelerin olmadığını görmüştü. Bu, zamanın mutlaklığının olmadığını bir göstergesiydi. Ne var ki Lorentz, bu duruma inanamayıp sonradan kendi adıyla anılacak olan çalışmalarını kaba tabirle rafa kaldırmıştı.

Einstein'a göre çerçeve çok açıktı. Ya Maxwell Denklemleri ya Galileo'nun *Değişmezlik İlkesi* ya da uzay-zaman algılayışımızda bir değişikliğe ihtiyacımız vardı. İlk iki durum, kendilerini deneylerle hep doğrulamıştı. Ya üçüncüsü? Mutlak zaman ve mekân diye bir ayrım var mıydı? Yoksa kollarımızdaki saatler şaşıyor da biz farkında değil miydik?

Soruyu yanıtlamak için Einstein'ın düşünce deneylerini teker teker bir kez de biz yapalım.

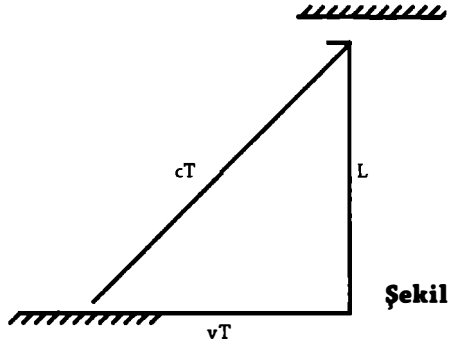
Zamanın Bükülmesi

Bu deney Lorentz Dönüşümleri'ni de açıklaması açısından önemlidir. Deney kahramanlarımıza bir de ayna eklenmekte. Çocuk, trenin içinde oturmakta ve tavanla zeminde bulunan iki ayna arasında aşağı yukarı giden ışığı seyretmekte. İki gözlemciye de ışığın bir aynadan diğer aynaya ne kadar zamanda gittiğini soralım. Çocuk, trenle birlikte hareket ettiği için ışığın hareketini Şekil-1'deki gibi görecektir. Ve ışığın bu yolculuğunun zamanının, tavanın yüksekliğinin ışığın hızına bölümüne eşit olduğunu söyleyecektir. Çobanımız olayı, trenin hareketinden ötürü Şekil-2'deki gibi göreceğinden, şekildeki üçgenin hipotenüsünü ışık hızına bölerek bize olayın gerçekleşme zama-



Şekil 1

trende çocuğun gördüğü



Şekil 2

çobanın trende gördüğü

nını söyleyecektir. Şimdi sonuçları karşılaştıralım: Trenin içindeki çocuk, olayın zamanını daha kısa ölçtü⁷.

$$(L < cT)$$

Bu yazıda simgesel çözümlemeler yapmak istemedim. Bu yüzden çoban ve çocuk için geçen zaman aralıklarının oranının, yani gama'nın (γ)

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

sadece trenin çobana göre hızına bağlı olarak değiştiğini ve bu orana yazının sonunda tekrar döneceğimi söyleyeyim.

En önemli sonucu söyleyeceğim yere geldik. Deneyden anlıyoruz ki, zaman da konum gibi farklı eylemsizlik pencerelerine göre (yer ve tren) değişebilmektedir. Bir başka

⁷ Işık hızı mutlak olduğu için.

deyişle mutlak zaman diye bir şey yok! Alt üst olmuş olabiliriz ama her şey açık, hile yok.

Bu deneyi ikiz kardeşlerle yapsaydık, trendekinin dışarıdaki ikizine göre daha az yaşlandığını görecektik. Bunlar aynı anda doğmamışlar mıydı? İkiz paradoksu diye bilinen bu durum, Özel Görelilik Kuramı'nın hoş bir sonucudur. (Gerçekten de Mercury kapsülüyle uzaydaki bir turunu 90 dakikada tamamlayan astronot Cooper'ın, saatte 28.175 km'lik hızla geçirdiği 24 saatlik bir gün içinde yaşlanmasında saniyenin 60 bininde 1 bir azalma olduğu saptanmıştır.)

Uzunlukların Büzülmesi

Bu sefer, artık trende koşturmayı bırakıp usluca oturan (darısı bizim Maya'nın başına) çocuğumuz ve dışarıda duran çobanımızdan, tren raylarına paralel bir çubuğun boyunu ölçmelerini isteyelim. Çobanımız çubuğun iki ucundan ışınların kendi gözüne geliş sürelerini ölçüp, bunların farkıyla ışık hızını çarparak çubuğun boyunu kendine göre hesaplayacaktır. Aynı çubuğun boyunu, sabit hızla gitmekte olan trendeki çocuğumuz, aynı yöntemle hesapladığında, zaman büküleceğinden çubuğun boyu yine aynı gama oranıyla büzülecektir (yani küçülecektir).

Aynıandallığın Göreliliği

Trenimizin iki ucuna yıldırım düştüğünü farz edelim. Bu yıldırımların aynı anda olup olmadıklarını, trenin tam ortasında oturan çocuğa ve dışarıdaki çobanımıza soralım. Eğer yıldırımlar sonucu iki uçtan gelen ışınlar, trenin tam orta noktasında buluşurlarsa, çoban yıldırımların aynı anda düştüğünü söyler. Yıldırımlar, yerdeki çobana göre aynı anda düşmüş olsun. Bu olay, trendeki çocuk için

de aynı anda mı gerçekleşecektir? Çobana göre aynı anda düşen yıldırımların ışınları çocuğa doğru ilerlerken tren de hareketine devam ettiği için, trenin gitmekte olduğu uçtaki ışın kendisine daha erken ulaşacağından dolayı çocuk, olayın aynı anda gerçekleşmediğini söyleyecektir.

Anlıyoruz ki bütün eylemsizlik pencerelerinin kendi hareketlerine bağlı bir zamanı vardır. Bu anlamda mutlak bir aynıandalıktan söz edemeyeceğimiz gibi mutlak bir geçmiş ve gelecek kavramları da artık tarih(?) olmaktadır. Daha da geniş bir ifadeyle, eylemsizlik penceresini bilmediğimiz bir olayın, ne zamanı ne de konumu, yani hareketi hakkında bir yargıya varamayız. Birazcık yönlendiriyor gibi olacağım ama gördüklerinizin yarısına güvenmeyin.

Özel Görelilik Kuramı, *kütle*, *enerji* ve *momentum* kavramlarıyla da ilişkilendirilerek mekanik yasalarının yeniden inşa edilmesinde büyük pay sahibi olmuştur. Buralara hiç girmeden, yapmış olduğumuz düşünce deneylerine bir soru sormak istiyorum. Mutlak zaman yoksa, neden trendeki saatle dışarıdaki saatler hep aynı ölçümleri yapıyor? Yanıt gama'nın içinde gizli... Günlük hayatta gama'nın içindeki v , yani trenimizin hızı, ışık hızından çok küçük olduğundan, gama bire çok yakın bir değer alır ve saatlerimiz de ne geri kalır ne de ileri düşer. Newton mekaniğinin bu anlamdaki eksikliği, zamanı mutlak kabullenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu konu üzerine Einstein da günlük, yani yavaş hızların geçerli olduğu durumlarda, mutlak zamanın geçerli olduğu hareket yasalarının kullanılması gerektiğinden söz etmektedir.

Bu kadar açık bir düşünce binlerce yıllık zaman-mekân algımızı kökten değiştirdi. Einstein, 1916 yılındaki Genel Çekim Yasası (Genel Görelilik Kuramı) çalışmasıyla da

İzafiyet Kuramını tamamladı. Birçok fizikçi tarafından doğruluğu hâlâ kabullenilmeyen bu kuramın önemiyle ilgili Einstein'ın 1922'de Fransa'daki bir konferansta söylediklerine yer vermek gerekirse: "Görelilik Kuramım başarıyla kanıtlanırsa Almanya benim bir Alman olduğumu iddia edecek, Fransa ise dünya vatandaşı olduğumu açıklayacaktır. Kuramım gerçek dışı çıktığında ise, Fransa bir Alman olduğumu söyleyecek, Almanya ise bir Yahudi olduğumu açıklayacaktır."

Kaynakça

Louis de Broglie, *Yeni Fizik Kuantumları*, çev. Yakup Şahan, Kabalcı Yayınevi.

Albert Einstein, *İzafiyet Teorisi*, çev. Gülen Aktaş, Say Yayıncılık.

James Trefil, *Science Matters*, Anchor Books.

KURMACA

Doğa yasalarına hayranım. Genel çekim yasası ve elektromanyetizmanın temel yasaları, masa kadar maddi ve bir o kadar da uzay gibi üzerinde muğlaklık içeren kavramı barındıran yasalardır. Misal, elma dalından kopunca yere ve yer de elmaya doğru hareketlenir. Hareketlenir hareketlenmesine de orada isin içine Öklid'den Hilbert'e, Minkowski'ye uzanan bir kaç bin yıllık bir medeniyet sorunu girer: geometri. Bir de buna zaman tartışması eklendi mi, Erkin Koray'ın dediği, işler arap saçına döner. Merak etmeyin, fizikçilerimizin sapla samanı ayırmak için uydurdıkları yeterli sayıda kavramları ve yöntemleri mevcuttur.

Enerji, bu uydurukçuluğun, ayarcılığın her zaman başvurulduğu uğraktır. Enerji üzerine bu yazıya, hoş geldiniz. Tabii ki ikinci paragrafa geçtiyseniz. Kendimce enerjiden bahsedeceğim. Envai çeşit kullanımıyla günlük hayatta

yaygın enerjiyi, mühendislik ve doğa bilimleriyle haşır neşir olmayanların pek de görmediği bir biçimde göstermeye çalışacağım. Umarım yeterince kafa karıştırırım.

Enerji kavramının ne anlama geldiğini anlamak için temel doğa yasalarına bir göz atmakta fayda var. Örneğin, yere düşen elmamızın hareketinden ötürü, konumu, hızı, ivmesi, zamanı değişecektir. (Daha değişebilecek çok şey var ama karıştırmayalım oraları.) En önemlisi yere düşen elmamız, paramparça olabilir. Kimse elmasının dağılmasını istemez. Doğa yasalarını kullanarak, elma ile yer arasındaki hem kütleli hem de elektriksel ilişkilerin açıklanması gözlemsel ve kuramsal açıdan çeşitli kişilerce incelenmiştir, incelenmektedir ve incelenmeye devam edecektir. Kepler Yasaları, Galileo Dönüşümleri, Newton'un Hareket Yasaları, Clausius, Carnot ve Boltzmann'ın termodinamikteki çalışmaları (kişi kişi ne yaptıklarını yazmadım), Ampere, Gauss, Faraday ve Maxwell'in elektromanyetizma çalışmaları, Lorentz Dönüşümleri, Einstein'ın Genel Çekim Yasaları ve bütünüyle kuantum mekaniği ve bunların yanına eklediğim, aralarına sıkıştırmadığım çok miktardaki düşünüşle birlikte ele alındığında, elma ile yer arasındaki maddi etkileşimi açıklamak için ortaya ne kadar çok tuhaf kuramın atıldığını gözlemlemekteyiz. Kendi sınırları içerisinde yanlış bir kuram yoktur. Fakat, Einstein'dan Feza Gürsey'e, bütün kuramların kuramı diyebileceğimiz bir çaba olan *Birleşik Alanlar Kuramı*'na göre, yukarıda saydığımız ve sayamadığımız bu kuramların geçerliliği kendi sınırları dışında tartışmalı hale gelir. Yine ilk paragrafta belirtildiği gibi, bu yasalar, elle tutulur, genel geçer bir geometri, kütle ve zaman tarifi vermekte uzlaşmamaktadır.

Alakasız Paragraf

Yazının konusu değil ama bu son cümle üzerine; verilmek istenen tariflerin mantığında hissiyat düzeyinde bir yanlışlık olduğunu düşünmekteyim. Kabaca olacak, çünkü fizikçiler için (hepsi için değil) doğru olan şey (ki doğru da neyse) fizik yasalarını matematiğe yamamaktır. Yamamanın olmadığı durumlardaysa da yamanacak bir matematik (dil) yaratmaktır. Her şeyin matematikte saklı olabileceği düşüncesi (ki öyle de olabilir, çünkü matematik yalan söylemez) doğanın kendisine bir zorlamayı getirmektedir. Ama şunu da unutmamak gerekir ki doğa hakkında ne biliyorsak onları da bu yöntemle bulduk. Belki de doğada bir matematik var ve onu anlamaya çalışmakla hoş şeyler yapıyoruz, kim bilir?

Alakasız Paragraftan Metne Dönüş

Peki bu yalan yanlış kuramları bizlere yutturan, yazının başında onlara belirttiğim hayranlığı sağlayan nedir? Newton'un yüzü suyu hürmeti, Einstein'ın taranmamış saçları olmasa gerek. Hadi kendimden geçtim, fizikçiler, kuramların birbirlerine göre barındırdığı yalan yanlışlığı daha doğrusu tutarsızlığı nasıl üstlenebiliyorlar? Bu sorunun cevabı, uydurulmuş bir kavrayışta olabilir: enerji.

Fizikteki Donmuş Emek-Zaman: Enerji

Enerji, cisme uygulanan, uygulanmış ya da uygulanmamış bir etkinin cismin hareketindeki değişimin gittiği yoldan bağımsız bir şekilde matematiksel bir ifadesidir. Enerjinin; hareket, ısı, nükleer, yüzey gerilimi, elektriksel ve kütle çekimi, moleküller arası bağ gibi farklı matematiksel çeşitleri vardır. Unutulmaması gereken bir nokta:

Metinde enerji diye geçen her kelimeyi enerji değişimi olarak düşünmek gerekiyor, her seferinde enerji değişimi diye uzatmamak için bu yolu seçtim.

Enerjiyi fizikçiler arasında önemli kılan ilk durum, matematiksel bir soyutlama olmasıdır. Bu soyutlamadaki cambazlığın sonucunda enerjinin değişimi (ki bundan ileride bahsedilecek) bir etki altındaki bir cismin iki hali arasındaki bütün etkileşimlerden bağımsız cismin o iki halinin farkıyla gösterilebilmesidir. Kapalı bir ifade, manasız. Akılda tutulması gereken şu ki enerji bir sayıdır. Bu durum bize önemli bir çıkarım yapmamızı sağlayacak: *Enerjinin Korunum İlkesi*.

Enerjinin Korunum İlkesi'ni kullanarak, yapmış olduğumuz fiziğin geçerli olup olmadığını anlayabiliriz. Bu korunum ilkesi (ki metinde ileride açılacak) bütün doğa yasalarından öte bir yerde analitik bir önerme olması itibarıyla her zaman doğrudur. Şimdiye kadar geldiğimiz yeri toparlayacak olursak, elimizde; bizzat doğaya hakim olduğunu bildiğimiz ama üzerinde anlaşılmadığımız doğa yasalarımız ve bunlar ne kadar maddiyse bir o kadar da hayal ürünü olan bir kavrayış, enerjimiz var.

Enerjinin Takası

Bir önceki bölümün başındaki tanıma uygun olarak, elmanın dal ile yer arasındaki enerji değişimini bulalım. Elmanın kütlesi m , dalın yerden yüksekliği h , yer çekimi ivmesi de g olsun ve ortamda da hava olmasın. Tanım gereği cismi yere çeken kuvvetimiz elmanın ağırlığıdır ki bu elmanın kütlesiyle ona etki eden yer çekimi ivmesinin çarpımıdır: mg . Yine tanıma uygun ifadeyle elmanın dal ile yer arasındaki yer değiştirmesi h kadardır. Buradan elma ağırlığının

elmaya yaptığı iş, kuvvet çarpı yer değişimi kadardır (mgh). İşin bu miktarı, enerji tarifine göre elmadaki hareket enerjisiindeki değişime eşittir. Bu değişim, Leibniz tarafından

$$\frac{1}{2}m(\Delta v^2)$$

olarak formülleştirilmiştir. Burada üçgen şeklindeki delta işareti, ilk ve son hızların karelerinin farkına işaret etmektedir.

Olaya bir de şu şekilde bakalım. Elma, daldayken hareket enerjisindeki değişim sıfırdır, çünkü elma dalında sabit şekilde durmaktadır. Yere düşünce de enerjisi işte üstteki formülle gösterilir. Bu az karışık formülün yerine E 'yi kullanalım ve hareket enerjisine artık E diyelim. Sonuç, daldan yere düştüğünde elmada E kadar enerji değişimi gerçekleşmiştir.

Enerjinin Korunum İlkesi

Korunum ilkesini anlamak için, enerjinin nasıl bir fiziksel büyüklük olduğunu tekrarlayalım: enerji sayısal bir büyüklüktür, yönü yoktur. Richard Feynman'ın *Fizik Yasaları Üzerine* adlı kitabındaki benzetmesiyle bir çocuğun oyuncaklarının sayısı gibi. Bildiğin sayı. Ama sayılar, öyle elle tutulur, gözle görülür şeyler değildir. Ali Nesin ise *Matematik ve Doğa* kitabında doğada matematik olup olmadığından bahsederken, doğada bir matematik olmadığını düşünenlerin görüşünden "Doğada 'bir' yoktur. Doğada olsa olsa 'bir elma, bir armut' vardır," diye bahsetmektedir.

Enerjinin korunumundan anladığımız, ortamda toplam bir enerjinin, yani bir sayının olduğu ve bu sayının

korunduğudur. Bu fikirden hareketle elmanın yere doğru hareketindeki enerji değişimine tekrar bakalım. Elma yere ulaştığında E kadar bir hareket enerjisi kazanmıştı. Daldaki durumda ise hareket anlamında bir enerjisi yoktu, yani sıfırdı. Sıfır E' 'ye eşit değildir. Bu dengesizliği düzeltmek için bir varsayım: daldaki elmanın yere göre bir konum enerjisi vardır. Bu enerji E kadardır. Elma, yere doğru hareketi boyunca yere konum büyüklüğü azalacağından konum enerjisinde bir azalma ve hareket enerjisinde bir artma olacaktır. Böylelikle enerji, farklı isimler olsa da toplamı korunacaktır.

Yazının bundan sonraki kısmında enerji temelinde doğa yasalarına bakılmaya çalışılacaktır.

Termodinamik'in Temel Yasaları

Sıfırıncı Yasa

A cismi ile B cismi ve B cismi ile C cismi ısı dengede ise yani sıcaklıkları eşit ise, A ile C aynı sıcaklıktadırlar. Pek bir numarası yok gibi görünen bu yasada yeni bir kavram var: sıcaklık. Ortamdaki parçacıkların ortalama hareket enerjisidir.

Enerji matematiksel bir kavramımızdı. Haliyle ondan türettiğimiz sıcaklık da, enerji gibi sayımsı bir şeydir. Sıcaklıktan bahsederiz ama hiç yürüyen bir on iki derece sıcaklık görmemiştir.

Niye sıfırıncı yasa diye soranlara: bu kabak gibi yasa diğer üç yasadan ortalama bir asır sonra, 1930'larda bulundu. Diğerleri kadar bir numarası olmamasından hareketle, doğa bilimleri dünyasında dördüncü değil de sıfırıncı yasa olarak anıldı.

Birinci Yasa: Sanayi Devrimi Yasası

Bir cisme verdiğiniz ısı ve bu ısının cisim üzerinde yaptığı işin toplamı cismin hareket enerjisinin değişimine eşittir. Buhar makinelerinin çalışma ilkesi birinci yasa-mızla uyumludur. Makine, verilen ısıyla iş yapar. Sıcaklığı artar, başka bir deyişle enerjisi artar. Makinenin değişen enerjisi, makineye verilen ısı miktarıyla makinenin yaptığı iş miktarının farkına eşittir.

Makinenin dışarıya verdiği enerji, makinenin doğaya verdiği ayakbastı parasıdır. Verimli makineler, dışarıya az enerji verenlerdir. Kapitalizme de *verimli* şeyler üretmenin tarihi olarak bakabiliriz. *Makine gibi insan* denir ya, belki *verimli makine gibi insan* kapitalizme daha uygun bir kullanım. Verimlilik, aldığı ısyı işe dönüştüren, kimseye koklatmayan bir olgudur. En verimli durumsa ısının yapılan işe eşit olması, yani enerji değişiminin sıfır olmasıdır.

Termodinamiğin İkinci Yasası: Yazgımız

Bir denge durumundan bir diğerine (bir sıcaklıktan başka bir sıcaklığa) giden herhangi bir termodinamik işleyişte, işleyişin çevresiyle birlikte entropisi (yani düzensizliği) ya artar ya da değişmeden kalır. İkinci yasanın bu tanımında yeni bir kavramla karşı karşıyayız, entropi. Bir sistemdeki ısı düzensizliğinin miktarıdır. Entropi; enerji, atom sayısı ve hacme bağlıdır.

Düzensizlikten kastedileni, bilardo masası ve topları örneğiyle anlayabiliriz. Deliksiz bir bilardo masasında üç bant oynadığımızı düşünelim. Bir açılış yapalım, yani bir topa vuralım. Bilardo topları oraya buraya çarpacaklardır. Masadaki entropi değişimini ölçmek için, yalnızca masadaki topların konum değişimlerini incelememiz

yeterlidir, çünkü masanın hacmi ve bilardo toplarının sayısı sabittir.

Bir fotoğraf makinesiyle bilardo masasını belli aralıklarla görüntülersek, belli sayıda fotoğrafın birbirinden farklı olduğunu ve bir süre sonra da fotoğraflardaki görüntülerin değişmediğini görürüz. Herhangi iki fotoğraf arasındaki fark, o iki nokta arasındaki düzensizliktir. Görüntülerin değişmediği fotoğraflara gelindiğindeyse entropi değişimi en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Başka bir deyişle artık değişim olmayacaktır. Yaşamızın söylemek istediği şey de budur; dengeye ulaşmış bir sistemin farklı bir hale geçişi için tek yeter koşul dışarıyla etkileşimdir.

Aynı düşünme yoluyla bütün sistemlerin entropi değişimlerini bulabiliriz. Hatta ne zaman öleceğimizi bile kestirebiliriz. Dışarıdan tamamen yalıtılmış bir odada olduğumuzu varsayalım. Nefes alıp vererek odadaki havayla etkileşiriz. Bu şekilde odadaki hava ile aramızda, ortamdaki oksijen miktarına bağlı bir ısı sistem oluşur. Alınabilecek oksijen miktarı bittiğinde, odanın entropi değişimi en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Bu andan itibaren oksijenle buluşamayan beden artık çalışamayacaktır. Burada, solunumla dışarıya verdiğimiz ısı miktarımız, havadaki moleküllerin hareket enerjilerindeki değişime eşittir. Yani enerjimiz bu odanın içerisinde de korunmaktadır.

Bir Soru

Denge koşuluna ulaşmış ya da herhangi bir anda bir sistem daha önceki bir durumuna geri dönüşebilir mi? Başka bir deyişle doğada tersinirlik var mıdır? Video oynatıcılarımızın geri sar düğmeleriyle bunu yapabiliyoruz. Hatta bu işin piri “Oynatalım Uğurcum” repliğiyle Erman

Hoca'dır. Ama burada bahsedilen şey, bilardo toplarının hareketlerini tamamladıktan sonra tekrar eski hallerini alıp alamayacaklarıdır. Ya da kapalı bir kaptaki gazın denge konumundan eski bir hale dönüşü mümkün müdür? İsterseniz yazıyı burada bırakıp biraz düşünün.

Tersinirlikte belirleyici olan, entropi kavramının tanımında yatmaktadır: entropi değişimi ya sıfır ya da sıfırdan büyük olmalıydı. Bu tanımdan yola çıkarak düşündüğümüzde entropi değişimi olmayan sistemler için filmi tersten oynatmakta kuramsal açıdan bir beis yoktur. Yalnız, entropi değişiminin sıfırdan büyük olduğu durumlarda eski duruma dönmek yasamızı çığner, bu durumda entropi değişimi negatif olur. Bu yasaya aykırı durumlarda sistem tersinmezdir.

Tersinir sistemleri, tersinmez sistemlerden ayıran şey bu işleyişlerin ilk ve son halleri arasındaki bütün yol bilgisini bilmemizdir. Bir benzetmeyle, Kadıköy'den Beşiktaş'a hangi vasıtayla, hangi güzergâhtan gittiğini bilmektir. Bunları bilirsek işleyiş tersinirdir. Tersinmez işleyişler içinse bir belirsizlik vardır. Helikopter mi, vapur mu, otobüs mü?

Belirsizliklerin ortaya atılmasıyla, doğayı anlarken işin içine olasılıklar dahil olur ki bu durum kuantum mekaniğinin temelini oluşturur.

Verkaç Kısmı

Kuantum mekaniğinde, her bir durum (enerji seviyesi) bir olasılıkla kendini ifade eder. Yani belli bir ihtimalle vapurla, belli bir ihtimalle otobüsle ya da hava yoluyla Kadıköy'den Beşiktaş'a geçmişsinizdir. Bu olasılıkların toplamı kesinlikle birdir. Benzetmedeki her bir vasıta bizim halimizi, kuantum-

ca söylersek de dalga fonksiyonumuzu bize verir. Kuantum mekaniğinde, bu enerji seviyelerimiz ayrıktır.

Tartışmasız kuantum mekaniğinin en büyük yeniliği, enerjinin ayrıklaşmasıdır. Bu kurama göre (ki fizik de budur zaten) doğada belli sayıda, buçuklu olmayan, enerji seviyeleri vardır. Kalem, masa, bardak, çanak, gazete, elektron, proton, nötron, mötron, ay, ay ışığı, mışığı, mum... Her şey bu enerji seviyelerinde dönüp dolaşır. Toparlarsak, ortada enerji seviyelerini temsil eden odalar ve enerjilere sahip maddelerimiz var. Bunlara “dağılın” dediğimizde hiçbirisi boşta kalmayacak şekilde kendini bir odaya atar, kimse dışarıda kalamaz çünkü bu odalardan başka bir yer yoktur. Odaların enerji numaraları yükseldikçe kiralari da artmaktadır. Müsriflikten kaçan doğada maddelerin eğilimi düşük enerjili odalarda iskândır.

Nasıl bir Evrende Yaşıyoruz?

Verkaç sonrası aldığımız pasla evrenin yapısı hakkında bir yorum yapabiliriz. Ama başta şunu belirtiyim, burada amacım ne metafiziksel olgular içerdiği düşünülen Büyük Patlama’yı savunmak ne de tekliğe gereksinim duymayan *Plazma Evren Kuram’*ını göz ardı etmektir. Yaptığım sadece doğada ne olup bittiğine şöyle bir bakmaktır.

Evren oluşumunda elimizdeki ilk element hidrojen-di. Hidrojen birinci yani en düşük enerji seviyesindeydi. O zamanlar, 13-14 milyar yıl öncesinde, ortalık hidrojen-den geçilmezdi. Bu birinci odadaki hidrojenlerin etkileşmeleri sonucunda bazıları yüksek enerjili odalara ikinci, üçüncü... odalara geçtiler. Yapılan ışımlar ve başka etkileşmeler sonucunda daha yüksek enerjili yeni elementler, bileşikler oluşmaya başladı.

Sonuçta da başlangıç durumuna göre enerji dağılımı açısından daha düzensiz ve belli sayıda enerji seviyelerine sahip olduk. Sabit sayıda tanecik ve sayılabilir sonsuzlukta enerji seviyeleriyle yine sayılabilir sonsuzlukta bir evren tahayyül edilebilir. Evrenin entropisinin artması, enerji değişimlerinin olanaklı olduğu bu evren düşüncemize göre evren, onu her an sayabildiğimiz için sonlu büyümeye devam ettiği için de sınırsızdır.

Termodinamiğin Üçüncü Yasası

En azından genişlemenin hız değişimine sınır koyacak bir yasadır Üçüncü Yasa. Sıcaklık eksi 273 santigrat dereceye ulaştığında artık hiçbir düzensizleşme gerçekleşmez, yani entropi sıfır olur. Virgülünden sonra küsuratı da olan bu sıcaklık *mutlak sıfır noktası*'dır. Bu sıcaklığın altında ne gözlemsel ne de kuramsal bir bulgu yoktur. *Büyük Patlama* diye yanlış adlandırılan genişlemenin başlamış olduğu sıcaklıkta bu, mutlak sıfır noktasıdır. Yasaya göre bu sıcaklık değerine bir daha gelinirse, evrenin sonu gelecektir. Başka bir deyişle, "kıyamet" diye bir şey varsa, söylendiği gibi kopacak değil, aksine dinginleşecek bir olaydır.

Yazının Sonu

Birçoğu metinde bulunmayan, bazıları birbirleriyle çatışan ama doğrulukları su götürmez doğa yasalarımız vardı. Bunların arasını yapmak için ortak matematiksel bir kavram uydurduk: enerji. Kaybolmaz, artmaz, azalmaz ama dolaşan bir sayı, bir nevi doğanın bukailemunu.

Bu sayısal değer olan enerji değişimini kullanarak, sıcaklık ve entropi gibi yeni tanımlar oluşturduk. Kurmacaya matematiksel düzlemde güvenlice devam ettik. Bu sa-

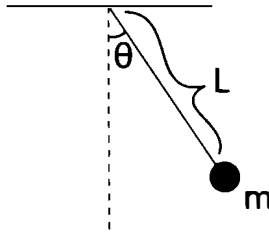
yıların her yerde karşımıza çıkabileceğini görebilir miyiz diye kuantum mekaniğiyle bir verkaç yaptık. Son radde kaleciyle karşı karşıyaydık ve evrenin yapısı hakkında oturduğumuz yerden bir ahkâm kesebildik.

Evet, yediğimiz elmanın kütlelerinin mutlak bir tanımını hâlâ yapabilmiş durumda değiliz. Sorun değil, oyun sürüyor.

İPİN UCUNA BAĞLI BİR TAŞIN KÜÇÜCÜK GELGİTLERLE DOLU YAŞAMI

Bu yazıda, sadece Newton'un ikinci hareket yasası $F=ma$ ve *Enerjinin Korunumu* ilkesinin güzel bir uygulamasını değil aynı zamanda fiziksel ihtiyaçlarımız oranında bazı matematiksel bilgilerin de tanımlarını yapmamızı sağlayacak bir soruya yanıt vermeye çalışacağız.

Soru: *Şekil-1'deki basit sarkacın bir turu için geçen süre (periyot) nelere bağlıdır?*¹



Şekil 1

1 Bu soruyu daha önce *Dünya Dönüyor-1*'de de sormuştuk. O zaman sadece yanıtı vermiştik. Şimdi açıklamayı yapıyoruz.

Basit sarkacın boyu L , ipin ucuna bağlı noktasal taşın kütlesi sabit m , ipteki gerilme T , ipe düşey düzlem arasındaki açı θ ve yerçekimi ivmesi sabit g olsun. Elimizdeki değişkenler bunlardır. Tabii ki burada hava sürtünmesinin olmadığını ve cismin kendi etrafında dönmediğini varsayıyoruz.²

Yöntem 1: Newton'un Hareket Denklemleri

Taşın hareketine göz atalım. Taş bir daire dilimi oluşturacak şekilde hareket etmektedir. Çembersel hareket etmekte olan bir cismin hareketinin çemberin merkezine göre merkezci ve çembere teğet şekilde çizgisel olduğunu daha önce göstermiştik. Hatta yaptığımız analiz sonucu; çizgisel konum, hız ve ivme büyüklüklerinin açısal konum, hız ve ivmeye oranlarının çemberin yarıçapına eşit olduğunu önceki yazılarda göstermiştik. Denklemler şeklinde yazarsak:

$$r = \theta R \quad (1)$$

$$v = \omega R \quad (2)$$

$$a = \alpha R \quad (3.0)$$

r , v , a sırasıyla çizgisel konum, hız ve ivme; θ, ω, α sırasıyla açısal konum, hız ve ivme; R de yarıçaptır.

Hareketi, adı üstünde basit bir salınımı, merkezci ve teğet olmak üzere neden iki bileşene ayırdık? Hareketi ikiye ayırmamızın sebebi hareketin iki boyutta gerçekleşiyor olmasıdır. Hareketin basitliğiye, basit sarkaç sisteminde ipi kütlesiz saydığımızdan sadece taşın hareketinin incelenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu hareketteki referans noktası ipin bağlı bulunduğu çentiktir.

² Eğer taşımız kendi eksenini etrafında dönüyor olsaydı, işler bayağı değişecekti.

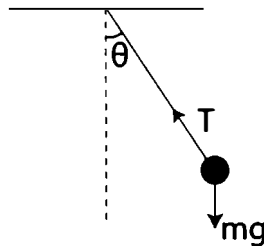
Soruyu inceledik, hareket bağıntılarımızı hatırladık. Sıra Newton'un ikinci hareket yasasını (hızlanma ilkesi) tekrarlamaya geldi.

İkinci Hareket Yasası

Bir cisim, üzerine uygulanan kuvvet doğrultusunda, kütlesiyle (eylemsizlik kütlesi) orantılı olarak hızlanır. Bu yasadaki ...*kuvvet doğrultusunda...hızlanır* kısmı hareketin neden bileşenlerine ayrıldığını anlatıyor. Yasamız ancak ve ancak bir doğrultuda (kuvvet doğrultusunda) işleyebildiğinden sorumuzdaki taşın hareketini de yasamıza uygun şekilde ifade etmemiz gerekir. İpin ucunda salınan taş iki doğrultuda hareket eder: sağ-sol, yukarı-aşağı. Hareketimizin iki doğrultusu olduğundan iki tane hareket denkleminde ihtiyacımız vardır.

Bu bileşenlerine ayırma işlemi aslında bir bakıma bir fizikçi hilesidir. Amiyane tabirle bölük pörçük etmektir. Kökleri Descartes'a uzanır. Fizikçiler zora gelemazler. İstemedikleri şeyi göz ardı edip onların yerine kendi bildiklerini pazarlama konusunda iyidirler. Bu, peşin fiyatına taksitle anlatım yöntemidir. Belki de taş sorsak aslında hareketinin doğrultusunun ikiden farklı olduğunu söyleyecek, fizikçileri iftirayla suçlayacaktır.

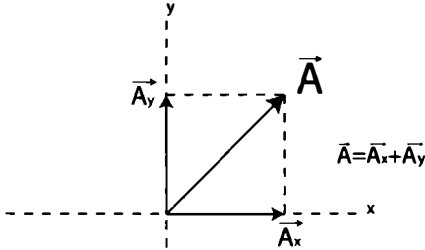
Fizikçi olduğumuza göre taş sormadan devam edip cisim üzerine etkiyen kuvvetleri göstererek sorunun çözümüne başlayalım.



Şekil 2

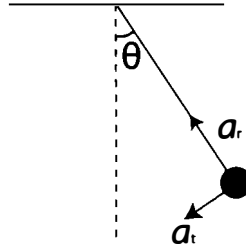
Şekil-2'deki gibi cisme iki kuvvet etmektedir: cismin ağırlığı mg ve ipteki gerilme kuvveti T . Bu iki kuvveti, merkezci ve çizgisel olarak bileşenlerine ayırmak artık zaruridir. Ama hangi koşulda?

Bileşenlerine Ayırma (Bölük Pörçük Etme)



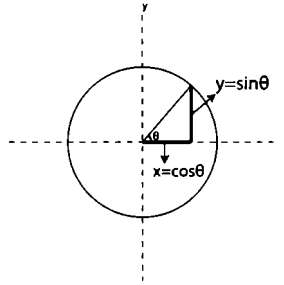
Şekil-3'teki gibi bir kuvvet vektörümüz olsun. Bu vektörü herhangi iki vektörün toplamı şeklinde yazabiliriz. Ama öyle ikililer vardır ki bunlar ancak ve ancak sıfırla çarpılarak birbirlerine eşitlenebilirler. Yani birinden diğerini üretmediğimiz ikililer vardır.³ Bu durum, Newton ile yaptığım *Kafama Bir Elma Düştü* mülakatında açıklanan *Öklid Uzayında*, sadece aralarında doksan derece olan ikililer için mevcuttur. Hatta bu kuvvet vektörümüz sadece ikili değil, üçlü, dörtlü hatta matematiksel olarak sonsuza giden boyutlarda aralarında 90 derece bulunan bütün vektörler arasında oluşturulabilir. Ama biz bu sorunun istediği şekliyle yalnızca iki boyutta işlerimizi halledeceğiz. Bunlardan biri merkezci, yani ipin bağlandığı noktaya göre, diğeriye yörüngeye teğet olan çizgisel boyut olacaktır. Bölük pörçük etme işlemi tamamdır. Ama hangi düşünme biçimiyle?

³ Bu noktada, doğrusal cebirle karşılaşmaktayız. Derinlik içeren bu soyut cebir düşüncesi bana heyecan vermekte.



Şekil 4

Temel Trigonometri



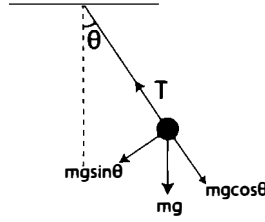
Şekil 5

Şekil-5'te yarıçapı bir birim uzunluğundaki çemberi, çemberin içine çizilen eksenleri ve yatay eksenle çemberin yarıçapı arasındaki açıyı görüyoruz. Buradaki yatay bileşenin uzunluğuna kosinüs, dikey bileşenin uzunluğuna da sinüs fonksiyonu diyoruz. Bu iki fonksiyonu Şekil-5'teki gibi, bir dik üçgenin bir dar açısının komşu ve karşı kenarlarının hipotenüse oranı olarak sırasıyla kosinüs ve sinüs olarak da tanımlayabiliriz. Bu iki tanım da aynı şeyi söyler.

Matematiksel bilgilerimizi de tanımladıktan sonra şimdi sorunun çözümüne geçelim. Yine matematiğe ihtiyacımız olduğunda durup önce temel analizlere başvuracağız.

Taşa etkiyen ip gerilmesi ve cismin ağırlığını aşağıdaki şekildeki gibi merkezci ve çizgisel eksenlerde gösterelim.

Merkezcil kuvvetler: ip gerilmesi T ve cismin ağırlığının yarıçap üzerindeki bileşeni $mg\cos\theta$ 'dır.



Şekil 6

Merkezcil kuvvetler yönünde önceden hesapladığımız merkezcil ivme a_r ise

$$a_r = \frac{v^2}{R} \quad (4)$$

olur.⁴ Şimdi bunları yarıçap (ip boyunca, merkez doğrultusunda) ekseninde denkleştirelim. v cismin çizgisel hızı olmak üzere:

$$-T + mg \cos \theta = ma_r \quad (5.0)$$

$$-T + mg \cos \theta = m \frac{v^2}{R} \quad (5.1)$$

(5.1) numaralı denklem içinde v yerine (2) numaralı denklemi yazdığımızda

$$-T + mg \cos \theta = m\omega^2 R \quad (5.2)$$

denklemini elde ederiz.

⁴ Bu ifade, Dünya Güneş'in, elektron protonun etrafında dönerken de karşımıza çıkmaktaydı.

Aynı şekilde teğet yörüngedeki kuvvetleri de gösterelim. Bu eksen de şekildeki gibi sadece cismin ağırlığının dikey bileşeni vardır ve bu eksendeki hareket denklemimiz şöyle olur:

$$mg \sin \theta = ma_t \quad (6.0)$$

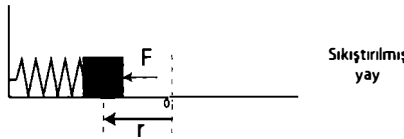
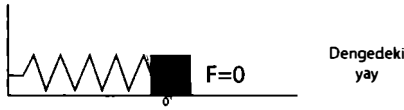
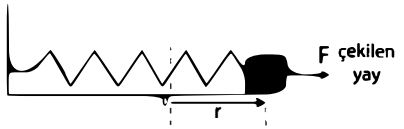
Bu hareket denkleminde

$$a_t = \alpha R \quad (3.1)$$

bağıntısını yazıp, bir de m 'leri karşılıklı sadeleştirirsek, (6.0) numaralı denklem şu hali alır

$$g \sin \theta = \alpha R \quad (6.1)$$

Bu denklemi çözmek için sarkaç gibi salınım hareketi yapan Şekil-7'deki yayın hareket denkleminde bakalım:



$$F = kr$$

k: yayın esneklik sabiti
r: yayın çekilme miktarı

Şekil 7

$$F = kr = ma \quad (7.0)$$

Şimdi bu denklemdaki çizgisel ivme a yalnız bırakıldığında

$$a = \left(\frac{k}{m} \right) r \quad (7.1)$$

şeklini alır. Buradaki çizgisel ivme a , parantezdeki ifadeyle yayın uzama miktarı, bir bakıma salınma yarıçapı gibidir. Bu durumda,

$$\left(\frac{k}{m} \right) = \omega^2 \quad (7.2)$$

olur ve aynı şekilde (6.1) denklemindeki açısal ivmeyi

$$\alpha = \left(\frac{g}{R} \right) \sin \theta \quad (6.2)$$

şeklinde yazabiliriz. Bu ifadede parantez içindeki kısım ω^2 'ye eşit olabilir. (6.1) numaralı denklemimizde açısal ivme α ile açı θ arasındaki ilişkiyi bulursak, oradan da hareketin periyoduna ulaşabiliriz. Yalnız bir eksiğimiz var: bu denklemden açısal ivmemiz α var, açımız θ yok, ama $\sin \theta$ 'mız var. Yapmamız gereken, küçük θ değerleri için $\sin \theta$ 'nın nasıl değerler aldığını bulmaktır. Bu yaklaşıma, küçük açı yakınsaması denir. Öyleyse yeni bir sorumuz var: θ sıfıra yaklaşırken $\sin \theta$ 'nın değeri ne olur?

Bu bir limit sorusu, Taylor Açılımı'nın da en güzel örneklerinden birisidir. Hem bu açılım, doğa bilimlerinin en şık hareketlerindendir. Ne var ki bunu yapabilmek için

türev konusuna hâkimiyet gerekmektedir. Bu analizi yapmak kimi okuyucuya anlamsız gelebilir. Bu yüzden, yüksek matematik yerine duygusunu daha fazla insanın paylaştığı dört işlemle yola devam edelim.

Bu ara girdiden sonra, sorumuzu çözelim. Şekil-5'teki birim çembere tekrar göz attığımızda sinüs ekseninin uzunluğunun sıfırdan başlayıp bire oradan tekrar sıfıra doğru dönüp dolaştığını görmekteyiz.

Biz θ 'nın 0 'a yakın bölgedeki değeriyle ilgileniyoruz. θ , 0 'a eşit olsaydı, ne güzel, $\sin\theta$ da 0 olurdu. Burada bize ilham veren bir şey var: açı ve o açığa ait sinüs değeri birbirine eşit. O halde

$$\sin \theta \approx \theta \quad (8)$$

diyebiliriz. Yalnız şunu unutmayalım ki burada açımızın değeri radyan cinsindendir. Radyan cinsinden açıları biraz farklı ifade ediyoruz. (8)'de derece cinsinden ifade edilen açıyı 360 'a (bir çemberin açısal karşılığına) bölerek ifade ediyoruz. Açı değeri sıfıra doğru giderken açının radyan cinsinden değeri iyice sıfıra yaklaşır. Mesela 5 derecelik bir açının radyan cinsinden değeri $\pi/36$ yaklaşık $0,08$ 'dir. Bu açının sinüsü $\sin(5)$ de yaklaşık $0,08$ 'dir.

Şimdi sıra, yaptığımız değişikliği (6.2) numaralı denkleminize yerleştirmeye geldi:

$$\alpha = \left(\frac{g}{R} \right) \theta \quad (6.3)$$

Böylece istediğimizi göstermiş olduk:

$$\omega^2 = \left(\frac{g}{R} \right) \quad (9)$$

Açısal hız (ω) dairesel hareket yapan bir cismin bir tur açısının bir turu dönme süresine oranına eşittir:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (10)$$

Elimizde salınım periyodunu bulabileceğimiz (9) ve (10) numaralı denklıklarımız var. Eğer (10)'u (9)'un içine yazarsak

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{L} \quad (11.0)$$

denkliğini elde ederiz (burada ω 'nın karesini aldık ve R ile ipin uzunluğu L 'nin yerini değiştirdik). Bu denklikte de T 'yi yalnız bırakacak şekilde işlemler yaptığımızda, hareketin periyodunu elde ederiz:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (11.1)$$

Bu sonucu inceleyelim. Dikkat edersek hareketimizin salınma süresi (periyodu) yalnızca yerçekimi ivmesi g ve ipin uzunluğu L 'ye bağlı. (11.1)'e göre T , yer çekiminin karekökünün ivmesiyle ters ve ipin uzunluğunun kareköküyle doğru orantılıdır.

Kütleye Ne Oldu?

Denklemlerimizde m 'ler sadeleşti dersek pek tatminkâr bir yanıt vermiş olmayız. Soruyu şöyle soralım: Hareket denklemindeki m 'ler neden sadeleşti? Çünkü taşı noktasal bir cisim ve ipi kütesiz ele aldık. Bu durumda sistemimiz, ip ve taş, yalnızca taşın bulunduğu noktayı

merkezleyen bir noktasal harekete indirgenmiş oldu. Bu şekilde hareket denkleminin her iki tarafındaki m 'ler birbirlerini götürdüler.

Sistemimizi Komşu Gezegenlere Alıp Götürsek Salınma Süresine Ne Olur?

İpin uzunluğu sabit olduğuna göre ihtiyacımız olan, gezegenlerin yüzeylerindeki çekim ivmelerinin karekök-leridir. *Dünya'mızın Jeopolitik Önemi* yazısında gezegenlerin yüzeylerindeki kütleçekim ivmelerini bulmuştuk.

Gezegen	Yerçekimi
Merkür	0,43g
Venüs	0,91g
Mars	0,39g
Jüpiter	2,53g
Satürn	1,07g
Uranüs	0,91g
Neptün	1,14g
Plüton	0,06g

Tablo 1

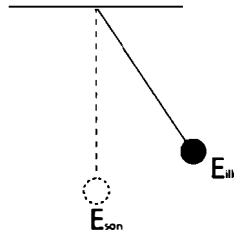
Tablo-1'deki oranlar Dünya'da bir birim zamanda gerçekleşen bir salınmanın diğer gezegenlerde ne kadar sürede gerçekleşeceğini gösteriyor. Bu oranlara göre ipin ucuna bağlı bir taşın en hızlı turlaması Jüpiter'de, en yavaş turlamasıysa Mars'ta gerçekleşmektedir.

Yöntem 2: Enerjinin Korunumu

Bu yöntemi uygulayabilmemiz için sistemimizin korunumlu olması, yani sistemde enerji kaybının olmaması

gerekmektedir. Bizim sistemimiz korunumludur, çünkü havasız bir ortam vardır ve dışarıya ısı verilmemektedir.

Kurmaca yazısında da belirtildiği gibi enerji, uydur-masyon bir sayısal niceliktir. Bu özelliğinden ötürü birçok fizik sorusunda enerjinin korunmasını esas alan çözümler, fiziksel sistemler hakkında kısa yoldan bilgi verir. Enerji denklemlerinde yön belirtmek zorunluluğu yoktur. Yapmanız gereken, sistemde hangi çeşit enerjilerin var olduğunu tespit etmektir. Bu bağlamda taş ve ipten oluşan sistemimizi incelediğimizde kütesiz ipin bir enerjisi yoktur, taşınsa ağırlığından ötürü ipin bağlandığı yere göre potansiyel enerjisi ve hızından ötürü kinetik enerjisi vardır. Bir başka deyişle, sistemimizin mekanik enerjisi, potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı kadardır.



Şekil 8

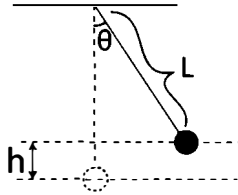
Şekil-8'daki basit sarkaçta iki tane referans noktası seçtik. Bu noktalardaki toplam enerji denklemlerini tek tek yazalım.

$$\begin{aligned} E_{ilk} &= P_{ilk} + K_{ilk} \\ E_{son} &= P_{son} + K_{son} \end{aligned} \quad (12.0)$$

Burada P ve K sırasıyla potansiyel ve kinetik enerjileri göstermektedir. İlk hız olmadığından K_{ilk} ve son yük-

seklik olmadığından P_{son} sıfıra eşittir. Ayrıca yükseklik h da şudur:

$$h = L[1 - \cos \theta] \quad (13)$$



Şekil 9

Bu temel trigonometrik çıkarımı okuyucuya bırakarak devam edelim. E_{ilk} ve E_{son} 'u birbirine eşitleyelim:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad (12.1)$$

(12.1)'de v^2 'yi yalnız bırakırsak

$$v^2 = 2gh = 2gL(1 - \cos \theta) \quad (12.2)$$

olur. Hareket denkleminde θ sıfıra yaklaşırken $\sin \theta$ 'ya yaptığımızı, bu sefer $\cos \theta$ için yine el yordamıyla (Taylor Açılımı kullanmadan) yapmaya çalışalım. $\cos \theta$ 'nın küçük açılardaki değeri için Şekil-5'teki birim çembere bakalım. Yatay kenarın uzunluğu $\cos \theta$, dikey kenarın uzunluğu da $\sin \theta$ 'dir. Bu üçgende Pisagor bağıntısı yazdığımızda

$$1 = \cos^2 \theta + \sin^2 \theta \quad (14.0)$$

denkliğini elde ederiz. Küçük açılarda çalıştığımız için

(14.0)'deki $\sin\theta$ yerine θ yazabiliriz ve $\cos\theta$ 'lı terimi de denkleğin diğer tarafına göndererek yeni bir denklik elde ederiz

$$1 - \cos^2 \theta = \theta^2 \quad (14.1)$$

(14.1)'deki iki kare farkını kullanarak

$$(1 - \cos \theta)(1 + \cos \theta) = \theta^2 \quad (14.2)$$

denkliğini elde ederiz. Buradaki denklemde $\cos\theta$ 'yı çözebilmek için bir hile uydurdum: $\cos\theta$ sayı değeri bakımından 1'e yakın olduğundan $(1-\cos\theta)$ 'ya $(A-1)$ dedim:

$$1 - \cos \theta = A - 1 \quad (15.0)$$

Bir başka deyişle $A=1$ ve $(A-1)=0$ gibi bir şey, ama böyle değilmiş gibi hareket edebiliyoruz. O halde, $(1+\cos\theta)$ da $(A+1)$ 'dir. Bu durumda (14.2) denklemi son hali

$$(A - 1)(A + 1) = \theta^2 \quad (14.3)$$

olur. Şu anda yapmamız gerekene geçmeden önce bu işlemlerle neden bu kadar belendiğimize değinelim. Fizik, bu matematiksel yapıların sınır durumlarındaki (örneğin 3'e çok yakın ama 3 değil gibi) yakınsamalarla kendine daha az dallı budaklı bir yol açar. Bir de bu uydurmayla ilgili olarak şunu söylemek isterim: bulmam gereken sonucu biliyordum. Bu yüzden değerleri öyle hissederek seçtim. Taylor Açılımını kullanmadan bu tür hesaplar bayağı zahmetli oluyormuş. Yaptığım seçim (hile) hoşuma gitti. Bir daha işlemimi gözden bile geçirmedim.

Neyse (15.0)'dan $\cos\theta$ 'yı çözelim:

$$A = 2 - \cos \theta \quad (15.1)$$

(15.1)'deki A 'nın karesini alıp (14.3)'ün içine yerleştirilim:

$$A^2 = 4 - 4 \cos \theta + \cos^2 \theta \quad (15.2)$$

$$A^2 - 1 = (4 - 4 \cos \theta + \cos^2 \theta) - 1 = \theta^2 \quad (14.4)$$

$$4 - 4 \cos \theta - (1 - \cos^2 \theta) = \theta^2 \quad (14.5)$$

Bu denklikte parantez içine (14.1)'i yerleştirdiğimizde:

$$4 - 4 \cos \theta - (\theta^2) = \theta^2 \quad (14.6)$$

$$4 \cos \theta = 4 - 2\theta^2 \quad (14.7)$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2} \quad (14.8)$$

Bu uzun hesabı bir kere yaptık, bir daha yapmayız. Şimdi, halimiz kaldıysa...

(12.2) numaralı denkleme $\cos\theta$ için bulduğumuz değeri yazarsak şunu elde ederiz:

$$v^2 = 2gL \left(1 - \left(1 - \frac{\theta^2}{2} \right) \right) \quad (12.3)$$

Buradan da pek de hoşumuza gitmeyen bir denkleme ulaştık:

$$v^2 = gL\theta^2 \quad (12.4)$$

Eğer ifademizi birinci yöntemdeki gibi (6.3) numaralı hareket denklemine benzetebilirsek aynı sonuca ulaşırız. Bunun için (2) numaralı denklem, açısal hız ve ivme denklemlerini

$$\omega = \frac{\theta}{T} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{\theta}{T^2} \quad (17)$$

(12.4)'ün içine yazalım. Bu denklemi istediğimiz şekle sokabiliriz ve istediğimiz gibi bir ifade elde ederiz. Bu durumda parantez içine yazılan kısım açısal ivmeye eşittir ve gerekli sadeleştirmelerden sonra (12.4) numaralı denkleminiz (6.3) numaralı denkleminize denk hale gelir. Bu durumda sorumuz ikinci yöntemimiz olan enerji korunumuyla da çözülmüş olur.

Ne Anladık?

Zaten karmaşık görünen işi daha da karıştırdık. İşlemlere temel fiziksel dokunuşlar yaparak (küçük açılarda *sinüs* ve *kosinüs*e değer atfetmek), dört işlem dışında bir cebir yapmadan matematikle fizik arasında bir yolculuğa çıktık. İşlemlerde çok temel cebir kullanıldığından iş epeyce karıştı ve uzadı. Eğer, ileri analiz, yani limit, türev ve integral kullansaydık, bu yazı iki sayfada biterdi.

Ama o zaman da düşünme (en azından bu temel problemlerde) ortadan kalkmıyor mu? Newton'un kalkülüsüyle bu ve benzeri birçok sorunun çözümü çok kısa olmanın yanında fiziksel sistemle ilgili birçok bilgiyi de barındırmaktadır. Bu yazıda yapılan, kalkülüssüz, yalnızca *Öklid*

Geometriyle fiziksel sonuçlar bulmaya çalışmaktır. Belki bugün için yaptıklarımızın pek bir fiziksel anlamı yoktur ama iyi bir beyin jimnastiği olduğu da kesindir. Ayrıca Newton öncesi birçok doğa filozofunun bu hesaplarla ömürlerini geçirdiklerini de unutmamak gerekir.

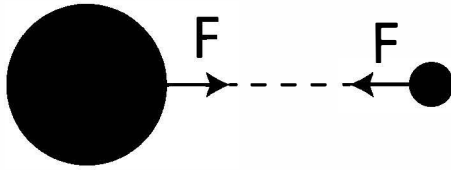
BAĞLANMA

Kepler'in kütle çekimi ilkesine göre cisimler birbirlerine kütleleriyle doğru ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olacak şekilde kuvvet uygulamaktadır. Bu tanıma uygun kütle çekimi kuvveti formülü,

$$F = G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2}$$

halini almaktadır. Burada, F kütle çekimi, G^1 evrensel kütle çekim sabiti, $M_{güneş}$ ve $M_{dünya}$ cisimlerin kütleleri, R iki cisim arasındaki uzaklıktır. Şekil-1'de de görüldüğü gibi iki cisim birbirini çekmektedir. Kütle çekim etkisi, evrendeki bütün cisimler arasında da bulunmaktadır. Bu yazıda Güneş'le Dünya arasındaki kütle çekim etkileşmesini inceleyeceğiz. Daha önce Newton, Güneş ve Dünya

1 Yaklaşık değeri, $10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ 'dir.



Şekil 1

arasındaki kütle çekiminin nasıl olduğunu anlatmıştı. Kabalaştırırsak Dünya'yı, Güneş'in merkezinde olduğu bir çemberin üzerinde hareket ediyor gibi düşünebiliriz. Hem Dünya hem de Güneş birbirlerine eşit büyüklükte fakat zıt yönlü kuvvet uygulamaktadır.²

Dünya ve Güneş birbirlerini çektiğine göre, bu iki cisim birbirlerine doğru hareket etmelidirler. Bu hareket süresince Dünya Güneş'ten gelen ışınlardan yanmadığı takdirde Güneş ve Dünya'nın birbirlerine çarpması beklenmektedir. Şükürler olsun ki böyle bir durumda değiliz. Güneş'in etrafında dönüyoruz. Bir gariplik var gibi duruyor. Bu durumu nasıl açıklayabiliriz?

Çaycı Rüstem

Güneş ile Dünya arasındaki duruma benzer bir durum çaycıların çay tepsileriyle yaptıkları şovlarda da görülür.



Çaycı Rüstem'in resimde görülen çay bardaklarıyla yer arasında, Dünya ile Güneş'in arasındaki gibi bir kütle çekim ilişkisi mevcuttur. Eğer çay bardağının neden düşmedi-

² Burada bahsettiğimiz kütle çekimi Einstein'ın Genel Çekim Kuramı'nda olduğu gibi kütlelerin evreni bükerek oluşturduğu çekim alanlarından oluşmamaktadır. Burada sadece parçacıkların olduğunu düşüneceğiz.

ğini anlarsak Dünya ve Güneş arasındaki duruma da bir açıklama getirebiliriz.

Rüstem'in taşıdığı bardaklara yer çekimi uygulanmaktadır. Normalde bardakların yere düşmesini beklesek de Rüstem bir el çabukluğuyla bardakları çevirebiliyor. İşin sırrı nerede?

El Çabukluğu

Eğer Rüstem yavaş olsaydı bardaklar çöpe gidecek ve Rüstem de işinden olacaktı. Fakat belli bir hızın üstündeki çevirmelerde bardaklar yere düşmemektedir. Cisim dönmeyen kaynaklanan bir kaçma kuvveti kazanmaktadır diye düşünebiliriz. Böyle bir kuvvet olmalı ki cisim yere doğru hareketlenmesin. "Hayalet kuvveti" de denilen bu kaçma kuvveti düşüncesiyle, viraj alan bir arabanın yolun dışına doğru hareketlenmesini de açıklayabiliriz. Buna daha birçok örnek ekleyebiliriz.

Bu kaçma kuvveti, cismin hızının karesi ve kütlesiyle doğru ve çemberin yarıçapıyla ters orantılıdır:

$$\frac{M \times V^2}{R}$$

Bu ifade çıkarım gücünü deneyden ziyade matematiksel boyut analizinden almaktadır. Toparlarsak, çay bardağına uygulanan yer çekimi kuvveti bardakların kaçma kuvvetlerinden küçük ya da kuvvetine eşitse bardaklar yere düşmez. Bu durumu birazcık matematikselleştirirsek, yani kaçma kuvvetinden yer çekimi kuvvetini çıkarttığımızda sonucun pozitif ya da sıfıra eşit olmasını bekleriz.³ Aksi takdirde çaylar heba olur.

3 Tabii ki burada kaçma kuvvetinin yönünün pozitif, yer çekimi yönünüyse negatif olarak aldık.

Güneş ile Dünya arasındaki duruma da aynı pence-
reden baktığımızda, Dünya'yla Güneş, Dünya'nın hızı-
nın öyle bir değerde olduğu anda etkileşmeye başlamış-
lardır ki, bu hız değerinde Dünya'nın Güneş'ten kaçış
kuvveti, Güneş'le Dünya arasındaki kütle çekimine
eşittir.⁴ Bir başka deyişle Dünya, Güneş etrafındaki yö-
rüngesine bu hızıyla girmiştir. Formülleştirdiğimizde

$$F = G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} = \frac{M_{dünya} \times V^2}{R}$$

denkliğiyle karşılaşmaktayız. Bu denkleğin değişkenleriyle
oynayarak güzel çıkarımlarda bulunabiliriz.

İlk olarak, denkleğin iki tarafındaki $M_{dünya}$ değerlerini
sadeleştirirsek yarıçap değerinin kütleden bağımsız oldu-
ğunu görürüz:

$$G \frac{M_{güneş}}{R^2} = \frac{V^2}{R}$$

İkinci durumda $M_{güneş}$ ile oynadığımızda, mesela $M_{güneş}$
iki katına çıktığında, Dünya'nın yörüngesini kaybetme-
mek için hızını artırmasının gerektiğini görebiliriz. Hatta
bu dönme hızının değişim oranı, $M_{güneş}$ deki değişimin
kareköküdür. Bu ilişkiyi göstermenin en güzel yolu, denk-
likteki hızı, bütün değişkenlere kafadan değerler vererek
hesapladıktan sonra, sadece $M_{güneş}$ i iki katına çıkartarak
hızı yeniden hesaplamaktır. Üçüncü bir durumdaysa şöyle
düşünelim: Eğer Dünya'nın hızı daha büyük olsaydı, den-
ge durumu nasıl sağlanırdı? Bu durumda Güneş'in kütle-

4 Sadece Dünya ve Güneş'in var olduğu bir durumdan bahsediyoruz ve
aslında dairesel olmayan Dünya'nın yörüngesini tam çember olarak ele
alıyoruz ki işimiz kolaylasın.

sinin sabit olduğunu düşünürsek, aradaki uzaklığın azalması gerekecektir. Hatta bu yörünge yarıçapındaki azalma oranı hızın artma oranının karesi olacaktır. Bir önceki çıkarımdakine benzer şekilde, yörünge yarıçapının değişim oranını bu sefer, R dışındaki değişkenlere gelişigüzel değerler vererek hesaplayabiliriz. Denkliği daha dadeşerek, yani yörüngedeki hızı V 'yi, yörünge çemberinin çevresi bölü çemberin etrafında dolanma süresi (periyot, T)

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

şeklinde yazarak, denkliğin yeni bir halini elde ederiz:

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} = \frac{M_{dünya} \times 4\pi^2 R}{T^2}$$

Benzer çıkarımları denkliğin bu hali için de yapabiliriz. Mesela Güneş'in etrafında dolanma süremiz, Dünya'mızın kütlesine bağlı değildir. Çünkü denklikteki $M_{dünya}$ ifadeleri sadeleşerek ortadan kaybolmaktadır.

$$G \frac{M_{güneş}}{R^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

İkinci çıkarımımızda Güneş'in kütlesini artırmıştık. Şimdi, farklı bir yolla da birlikte yapalım. İsteyenler kalem kağıtla sonuçları takip edebilir. Denklemleri alt alta yazıyoruz.

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} = \frac{M_{dünya} \times V^2}{R}$$

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} = \frac{M_{dünya} \times 4\pi^2 R}{T^2}$$

Denklemlerin G ile başlayan kısımlarında bir değişiklik yoktur. İkinci kısımlardaysa V ile T yer değiştirmiş ve yarıçap R paydadana paya geçmiştir. O halde bu denkliklerin uyumları gereğince hızın Güneş'in kütleleriyle artma eğilimiyle dolanım süresi T 'nin azalması gerekmektedir. Ya da bu durumun tam tersi bir durum gerçekleşmelidir.

Fakat denkliğin yeni halinde Güneş'in kütlelerini sabit tutarak, içler dışlar çarpımı yaparak, sabit bir nokta etrafında dönen cisimlerin yarıçapları R ile dolanım süreleri T arasında ilişkiyi hesaplayabiliriz:

$$\frac{R^3}{T^2} = G \frac{M_{\text{güneş}}}{4\pi^2}$$

Bu denkliğin sağ tarafı (G ile başlayan kısım) Güneş'e bağlı şekilde değişir. Fakat $M_{\text{güneş}}$ sabittir. Bu yüzden, Güneş Sistemi'nde, tüm gezegenler için yarıçap R ile dolanım süresi T arasındaki ilişki (oran) sabittir.

Rüstem Olmasaydı Ne Yapardık?

Dünya'yla Güneş'in birlikteliği yaklaşık 6 milyar yıl öncesine dayanmaktadır. Bu birliktelikteki çekim ve kaçma noktalarına çaycı Rüstem ile göz attık. Sizi bilmem ama ben açıklamamızdan memnunuz, sorunum yok. Ne var ki biriniz şunu söyleyebilirsiniz: "Böyle bir kaçma kuvveti mefhumuna, 'hayalet kuvvete' neden inanayım ki? Rüstem'in tecrübesini kendi matematiksel şekline yedirerek bizi kandırdınız." Bunu söyleyen, sonuna kadar haklıdır. Aynı durumu bu sefer Rüstem'siz, deneysiz halletmeye çalışalım.

Bu yeni kurmacada *Kurmaca* yazısındaki gibi matematiksel soyut bir mefhum olan enerjiyi işin içine sokalım. Sistemimizde iki tane nesne var: Dünya ve Güneş. Güneş'in sabit durduğunu ve Dünya'nın Güneş etrafında döndüğünü düşüneceğiz. Bu durumda, Dünya'nın Güneş'e göre konumundan kaynaklanan bir gerçekleşmemiş, Dünya'da depolanmış potansiyel enerjisi vardır. Bu potansiyel enerjiye ek olarak da hareketinden ötürü sahip olduğu hareket enerjisi vardır. Toplamda Dünya'nın mekanik enerjisi, Dünya'nın potansiyel ve hareket enerjilerinin toplamıdır. Mekanik enerjimiz, yani iki enerjinin toplamı, bize bu konuda fikir verebilir. Potansiyel enerjimiz gerçekleşmediğinden değeri, hareket enerjimizle farklı işarettedir. Mesela hareket enerjisi artıysa, potansiyel enerjimiz eksi-dir. Bu durumda mekanik enerjimiz de artı, eksi ya da sıfıra eşit olabilir. Bu matematiksel kurmacamıza göre eğer potansiyel enerjimiz, başka bir deyişle Dünya'yı Güneş'e bağlayan enerjimiz, Dünya'nın hareket, kaçma enerjisinden büyükse Dünya, şu anda olduğu gibi Güneş'in çekim etkisinde hareket eder.

Bu durumu incelemek için önce Dünya'nın Güneş'e göre potansiyel ve hareket enerjilerini hesaplamalıyız. Hareket enerjimizin formülü sabittir:

$$\frac{1}{2}MV^2$$

Potansiyel enerjiyi de ilkokuldan kalma bir tanımla bulalım: İş, kuvvet çarpı yoldur. Ne kadar ekmek o kadar köfte ilkesinden yola çıkarak bu iş, tanım gereği cismin enerjisine nicelik olarak eşittir. Bu durumda cismin potansiyel enerjisi, Güneş'le Dünya arasındaki

kuvvetle aradaki mesafenin çarpımına büyüklük olarak eşittir:

$$F \times R = G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} \times R$$

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R}$$

Fakat işareti eksidir:

$$-G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R}$$

Bu durumda hareket ile potansiyel enerjilerin toplamı olan mekanik enerji (E)

$$E = -G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R} + \frac{1}{2} M_{dünya} \times V^2$$

olur. Eğer bu toplam eksiye, Dünya'yı Güneş'e bağlayan enerjinin Dünya'nın hareket enerjisinden büyük olduğunu söyleriz. İş bu toplamayı yapmaya geldi. Fakat iki ifade birbirlerine benzememektedir. Bu ifadeleri birbirlerine benzetmek için kütle çekimi denkleğini kullanabiliriz. Önce denklemi tekrar yazalım:

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R^2} = \frac{M_{dünya} \times V^2}{R}$$

Paydalardaki R'leri sadeleştirdiğimizde elimizde

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R} = M_{dünya} \times V^2$$

denkliği kalır. Bu denklige dikkatli baktığımızda denkliğin sağ tarafı

$$M_{dünya} \times V^2$$

hareket enerjimize benzemektedir ve hareket enerjimizin iki katına eşittir. O halde, son denkleminin her iki tarafını da ikiye bölersek

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{2R} = \frac{1}{2} M_{dünya} \times V^2$$

denkliğini elde ederiz. Şimdi yapmamız gereken tek şey mekanik enerji eşitliği,

$$E = -G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R} + \frac{1}{2} M_{dünya} \times V^2$$

deki son terim

$$\frac{1}{2} M_{dünya} \times V^2$$

'nin yerine

$$G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{2R}$$

yazmak ve toplamayı yapmaktır. Sonuçta toplam mekanik enerji

$$E = -G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{R} + G \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{2R}$$

olur. Bu iki ifade birbirlerine şekil olarak benzemektedir ve toplamaları

$$E = -G \cdot \frac{M_{güneş} \times M_{dünya}}{2R}$$

'dir. Bulduğumuz değerin sıfırdan küçük oluşu bağlanma enerjimizin hareket enerjimizden büyük olduğunu göstermektedir.

Şunu gördük ki birbiri etrafında periyodik şekilde hareket eden sistemlerin bağlanma enerjileri hareket enerjilerinden büyüktür. Böyle sistemlere dengeli ya da kararlı sistemler diyebiliriz. Mesela, Dünya-Güneş ikilisi kararlı bir sistem oluşturur.

Hesaplarımız bize, dengede olan dairesel sistemlerde bağlanma (potansiyel) enerjisinin hareket enerjisinin iki katı olduğunu gösterdi. Aksi takdirde Güneş ile Dünya arasındaki ilişki biterdi. Dünya yoluna, Güneş yoluna giderdi. Bu durumda sistem kararsız bir hal alırdı.

Bir soru daha soralım. Acaba Dünya-Güneş ilişkisini bitirebilir miyiz? Başka bir deyişle Dünya'yı Güneş'ten koparabilir miyiz? Kuramsal açıdan, eğer Dünya'ya şöyle kendi hareket enerjisi kadar enerji verebilirsek Güneş'ten kopabilir. Bunu nasıl yapabiliriz? Bilmiyorum. Ama bir fikir olarak şunu söyleyebilirim: Eğer Güneş'e doğru büyük kütleli bir cismi çok hızlı fırlatırsak momentum korunumu gereği Dünya'da bir hareket enerjisi kazanır. Ama Dünya'nın büyüklüğünü göz önüne getirdiğimizde, bu fikrin pek hayırlı olmadığını söyleyebiliriz. Büyük çekirdek tepkimeleriyle bu ayrılığı gerçekleştirebiliriz ama bunun da insanlığın sonunu getirebileceğini düşündüğümüzde, iyisi mi biz 6 milyar yıllık birliktelikle mutlu olmaya devam edelim.

KOZMOLOJİ I: NE VAR NE YOK?

Kozmoloji, Yunanca κοσμολογία (cosmologia, κόσμος [kozmos] düzen + λογία [logia] söylev) kelimesinden Türkçeye geçmiştir. Evrenbilimi de diyebileceğimiz Kozmoloji'nin bizim cuntacıyla uzaktan yakından ilgisi yoktur. İnsanlık tarihi boyunca sanattan dine, bilime kadar birçok uğraşın konusu olmuştur kozmoloji.

Dünya Dönüyor I-II ve Kafama Bir Elma Düştü yazılarını bir arada düşündüğümüzde, kozmolojinin bilimsel tarihi yapısına göz attığımızı hatırlarız. Bu yazıda da kozmolojiye ısınmak için, yaşadığımız evrende ne var ne yok şöyle bir gözden geçirelim.

Kozmolojik İlke

İlke, bulunduğumuz yerin, evrende özel bir manası olmadığını söyler. Kozmolojik İlke olarak adlandırılan bu fikir hem basit hem de güçlüdür. Dünya'ya, dolayısıyla insana atfedilmiş önemi ortadan kaldıran, Evren'e kime ve nereye

göre bakılırsa bakılsın aynı görülür şeklindeki Copernicus'un ilkesi, Kozmolojik İlke'yle neredeyse aynı anlama gelmektedir. Bu yüzden, bu iki ilkenin adı karıştırılmaktadır. Aslında, ikisinin de anlamı aynıdır. Bunlara toptan "Kozmolojik İlke" diyelim. Bu ilkenin en önemli yanı, tek bir referans sistemine bağlı kalmadan yapılabilecek bir fiziğe olanak sağlamasıdır. Şimdi, kozmolojide nasıl bir kütle, uzunluk ve zaman kıyaslaması yapıldığını, yıldızlar ve galaksiler hakkında vereceğimiz kısa bilgilerle anlatmaya çalışalım.

Yıldızlar

Evrendeki görülebilir ışığın ana kaynağı yıldızların nükleer (çekirdek) birleşmeleridir. Fezaya ışık saçan yıldızlar, kütle bakımından küçükten büyüğe sıralandıklarında, 1'den 200'e bir ölçek içinde Güneş 6 kütleindedir. Kozmolojideki esas alınan kütle, Güneş'in kütlesidir ve bu kütle yaklaşık 10^{30} kg'dır.

Uzunluklarıysa ışık-zaman ile ölçeriz. Yani, ışığın zamanla aldığı yolla. Bu durumda, bir ışık zamanı bulmak için ışığın hız büyüklüğü c ile geçen toplam zaman t 'yi çarpıyoruz. Toplu şekilde, toplam mesafe S , ışık hızı c çarpı toplam zaman t 'dir: $S=ct$

Bu bağlamda, Dünya ile Güneş arasındaki mesafe de yaklaşık sekiz ışık dakikası ve yine yaklaşık 10^{11} metredir. Bu uzaklığa Astronomik Uzaklık Birimi denir. Kozmolojideyse, uzunluk birimi ışığın bir yılda aldığı yoldur. Bu birime *parsek* adı verilir ve *pc* şeklinde gösterilir.

Galaksiler

Kabaca, merkezinde yoğun kütle olan, birçok yıldızın oluşturduğu ve bu yıldızlarla birlikte hareket eden cisim-

ler kümesine galaksi denir. Örneğin, içinde bulunduğumuz Samanyolu Galaksi'si yaklaşık 12.500 pc civarında bir yarıçapa sahiptir. İçerisinde de yaklaşık 200 milyon yıldız barınmaktadır. Samanyolu'nun kendi etrafında bir tur dönüşü yaklaşık 200 milyon yıl sürmektedir.

Yol Yordam

Yöntem bakımından, biraz kabalaştırarak da olsa Kozmoloji, galaksileri noktasal parçacık olarak ele almaktadır. Bilime indirgemeci denir ya, işte bu, indirgemenin daniskasıdır! Sen git, koskoca galaksilere parçacık muamelesi yap. Bir şey bu kadar açıktan yapılmaz ki! Ama bir yandan da şöyle bir durum vardır: Evren o kadar büyüktür ki galaksiler bu büyüklüğün karşısında nokta gibi kalmaktadır.

Aynı şekilde bizim Güneş Sistemimiz gibi beraber hareket eden sistemleri de galaksiler içerisinde noktasal şekilde ele alabiliriz. Burada yapılan şey bir bakıma, kapalı bir kaptaki gaz moleküllerinin hareketlerine benzer bir modellemedir.

Evrenin Genişlemesi

Bir cismin bizden uzaklaştığını mı yoksa bize yakınladığını mı anlamamanın en iyi yolu, o cisimden yayılan dalganın rengine bakmaktır. Maddenin dalga kuramı gereğince, renkler ışığın farklı frekans değerlerini göstermektedirler. Frekans ise birim zamanda bir dalganın kendini tekrar etmesidir. Yani, bir dalga kendini çok fazla tekrar ettiğinde, bu dalgayı renk olarak görürüz. Mor en yüksek frekansa sahip renk iken, kırmızıysa en düşük frekansa sahip renktir. Mor, lacivert, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı şeklinde frekanslar azalmaktadır. Bu renk kuramı

uyarınca iki hareketlinin birbirlerinden uzaklaşıp uzaklaşmadıklarını bir deneyle anlayabiliriz.

Sarı ışık saçtığı bilinen iki uzay aracını kullanan iki pilotun sürekli birbirini izlediklerini, her gün diğer uzay aracından gelen ışık frekanslarını ölçtüklerini düşünelim. Eğer ölçülen frekans değerleri artıyorsa, uzay araçlarının birbirlerine yaklaştıklarını ve rengin artan frekansla mavileştiği gözlemlenecektir. Eğer ölçülen frekans değeri azalma gösterseydi, ışığın renginin kırmızılaştığı ve uzay araçlarının birbirlerinden uzaklaştığı tespit edilecekti.

Evrende de, bulunduğumuz yerden yaptığımız ölçümlerde, evrenin bizden hep kaçtığını yani kırmızı dalgalar yaydığını gözlemleriz. Buradan hareketle evren genişlemektedir diyebiliriz.

Homojenlik ve İzotropluk

Evrendeki madde dağılımı ve bunların hareket doğrultuları, Kozmoloji açısından çok çok uzaktan baktığımızda, sırasıyla homojen ve izotropdur. Homojenlik her yere eşit miktarda madde dağılması ve izotropluk ise bütün maddelerin aynı yönde hareket etmesidir.

Yazının Sonu

Basında, orada burada, arkadaş sohbetlerinde çok kez evren hakkında atılıp tutulur. Sanki biz de uzayda yaşamıyormuşuz gibi “Uzaylılar var mı yok mu?” diye tartışılır. Uzaylılığı hemşerim Mustafa Topaloğlu’na özgü sananlar, hatırı sayılır miktardadır. Bu eğlenceli tartışmalara çomak sokmak gibi bir niyetim yok. Hatta Sadri Alışık’ın uzay filmlerinin hastasıyım. G.O.R.A. da müthiş bir filmdi.

Kozmoloji ise bunlara kıyasla (hatta Kozmoloji'yi tarihselliğinden koparmayıp buna günümüzün Akademik Kozmoloji'si dersek) çok zordur. Bütün fizik kuramlarını içerir. Zordur ve biz daha hiç ama hiçbir şey yapmadık sayılır.

KOZMOLOJİ II: TEMEL DENKLİKLERİN ÇIKARTILMASI

Girizgah Öncesi

Kozmoloji, evren bilimi, her şeyin bilimi anlamına gelmektedir. İddiasının büyüklüğü, kozmolojiyi zor kılmaktadır. Aslında kozmologların tahminlerine inanmamakta da fayda var, çünkü bugün düz gördükleri evren, yarın yuvarlak olabilir. Metindeki bilgiler için de aynı durum geçerlidir. Yine de metnin fiziğini seviyorum. Metinde bolca matematiksel biçimler mevcuttur. Hesap kitap yaparken hatalar yapmışsam iletirseniz sevinirim.

Girizgah ve Yazının Biçimi

Konu üzerine bu ikinci yazıda Newton'un yerçekimi denkliğinden başlayarak mekanik enerji denklemine, oradan da modern yer çekimi denklemlerinin iki tanesini elde etmeye ve bunların anlamları üzerine düşünmeye çalışılacaktır.

Bu ikinci yazıda, matematiksel çözümlmeleri yapmadan bulacağımız Friedmann ve akışkan denklemlerini doğrudan yazıp onlar üzerine konuşmaya başlayabilirdim, ama öyle yapmadım. Üç tane görünür sebebim var.

1. Kavramlara uzak olanların uzaklıklarını daha da arttırmamak.

2. Bildiğimiz ya da uydurduğumuz kavramlardan yola çıkarak, geldiğimiz noktadaki emeğimize güvenmek.

3. İkinciyle ilintili şekilde, varılan noktadan ziyade yolculuğun tadını çıkartmak.

Doğa bilimleri tedrisatıyla hiç karşılaşmamış olanların da yazıyı okuduklarında azıcık azimle konu üzerine fikir üretebilmelerini umarım. Ne anlatıldığını kağıt kalemle takip etmek isterseniz zor bir yazı da olabilir. Ama sonuçta atla deve de değil, biraz yoğunlaşarak düşünmeniz yeter. Sudokuyu ilk defasında şıp diye çözenimiz herhalde yoktur. Ayrıca yazının sonunda ödüllü sorular olsa da sınav yapmıyoruz. Bu yazı sadece, evren üzerine önceden düşünülmüş şeyleri kendimce aktardığım bir yazıdır.

Ters Kare Yasası

Aslında yerçekimi alan kuramı Einstein'ın 10 tane lineer olmayan diferansiyel denkleminde oluşmaktadır. Temelleri gayet sağlamdır. Fakat o denklemleri Einstein dahil pek çözebilen yoktur. Bu yüzden, Einstein'ın *Genel Görelilik Kuramı*'nı takip edemeyeceğiz. Temel fiziksel kavramlardan yol alacağız. Bu yaklaşıma, Andrew Liddle'in *Introduction to Modern Cosmology* (Modern Kozmolojiye Giriş) kitabında rastlamıştım. Yazıyı kaleme alırken, bu kitaptan ve Ali Kaya'dan aldığım Kozmoloji dersinin notlarından bolca yararlandım.

Johannes Kepler, uzun yıllar boyu yaptığı gözlemler sonucunda *iki cismin arasındaki kuvvet F , cisimlerin kütleleri (m ve M) ile doğru ve aralarındaki uzaklığın karesi (R^2) ile ters orantılıdır* dediğinde takvim yaprakları 1620'yi gösteriyordu (G kütle çekim sabitidir):

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

Denklikteki kütle, konum ve kuvvet arasındaki ilişkiyi Newton; eylemsizlik, dinamik denklemi $F=ma$ ve etki-tepki ilkesiyle açıkladığındaysa aynı yüzyılın sonlarına gelinmekteydi. Bu açıklamayı Newton bize *Kafama Bir Elma Düştü* mülakatında yapmıştı. Ters kare yasası bize kütsel çekimin, cisimler arasındaki uzaklık arttıkça uzaklığın karesiyle ter orantılı olarak azalacağını söylemektedir. Örneğin iki cismin arasındaki mesafe iki katına çıktığında kuvvet dörtte birine iner. Ayrıca, küçük kütle m için genel hareket denklemimiz $F=ma$ ile ters kare denklemlerimizi eşitlediğimizde m 'nin sadeleştiğini görmekteyiz:

$$F = G \frac{Mm}{R^2} = ma$$

$$a = G \frac{M}{R^2}$$

Bu sadeleşmeden şunu anlayabiliriz: Kütle çekim kuvvetine maruz kalan bir cismin bu kuvvetten etkilenmesi yani ivmelenmesi, kendi kütsinden bağımsızdır ve etkileşimde olduğu cismin kütsesi ile cisme olan uzaklığına bağlıdır. Mesela, yukarıdaki denklemi, Dünya M ve Ay m arasında yazsaydık, Dünya'nın kütsesi M 'yi

Ay'ın Dünya etrafındaki dönüş ivmesi a cinsinden hesaplayabiliriz:

$$M = \frac{R^2 \times a}{G}$$

Kilomuzu, etrafımızdakinin fırlıdaklığı ve uzaklığı ifade ediyor. İki cismin birbirlerine uyguladıkları kuvvet iki cisimde de bir hızlanmaya sebep olduğundan, her ikisi de kütle çekim kuvvetinden ötürü potansiyel bir enerjiye sahiptir. Ne kadar ekmek o kadar köfte diyerek enerji için; bir cisme uygulanan kuvvetin cismin konumunda yapacağı ya da yaptığı değişikliklerin toplamıdır, diyelim. Örneklendirecek olursak, cismi 10 birimlik bir kuvvetle 10 birim mesafeye çektiğimizde cisme toplamda 100 birim kuvvet ve mesafelik enerji aktarmış oluruz. Ortalama enerji değişimi (burada bahsedilen enerjide kayıp yok) kuvvet çarpı cismin konum değişimidir. O halde kütle çekim kuvvetimiz

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

ile konum değişimiz R 'yi çarparsak kütleçekim enerjimizi bulabiliriz. Enerji değişimi de

$$F \times R = G \frac{Mm}{R^2} \times R = G \frac{Mm}{R}$$

olur. Buradaki enerji değişimi cismin hareketini gösterdiğinden bu enerji değişimine hareket enerjisi değişimi, bir başka adıyla kinetik enerji diyebiliriz. Aslında çarpımla aldığımız sonuç, kuvvet fonksiyonunun yol integralidir.

Şanslıyız ki yapmadığımız integralle yaptığımız çarpma aynı sonucu veriyor. Biz de integral almaktan kaçabiliyoruz.

Kısaltma olsun diye artık kinetik enerjiyi K ile göstereyim. Potansiyel enerji değişimini arıyoruz (ki o da bundan böyle V diye biline), yapmamız gereken K 'nin önüne olayın gerçekleşmediğini göstermek için sadece bir eksi (-) işareti yerleştirmek. Sonuçta, potansiyel kütle çekimimiz:

$$V = -G \frac{Mm}{R}$$

Potansiyel V 'miz, iki cisim arasındaki mesafe arttıkça azalacaktır. Karmaşık bir kavram ama söyleyelim: V sonsuzda 0 'a yaklaşacaktır ama hiçbir zaman 0 olmayacaktır. Yani şu anda galaksimize en uzak galaksinin en ucundaki toz tane-ciğiyle bile kütleçekim enerjisine sahibiz. Uzaklıkla bu şekilde değişen ilişki, uzayda birbirleriyle sonsuz uzaklıkta durabilecek cisimlerin varlığını ve dolayısıyla evrenin sonsuz büyüklükte olabileceğini gösterir mi? Cevabımız evet ise, bu sonsuz büyüklük etkileşimi de azalttığından dolayı evrenin gitgide durağanlaştığını söyleyebiliriz.

Kozmoloji ya da Kopernik İlkesi

Bulunduğumuz yerin uzayda hiçbir özel anlamı yoktur. İlke bunu söylüyor. Evimizi sevebiliriz ama modern kozmolojide bu durum ona fazladan bir fiziksel değer katmaz. Sabit tek bir noktayı merkez yapabileceğimiz bir evren tahayyül edemeyiz.

Friedmann Denklemlerine Hazırlık

Evrenin zaman içerisinde nasıl bir hareket ve oluşumda olduğunu Friedmann denklemi bize anlatmaktadır.

Aradığımız denkleme giden yolda üzerinde mutabakat sağlamamız gereken iki önemli kavram var: Işığın renk değiştirmesi ve Ölçek Çarpanı (Scale Factor).

Dalga

Maddenin hem *parçacık*, hem de *dalga* olma özelliği vardır. *Dalgaboyu* ya da bir dalganın kendini birim zamanda gerçekleştirme sayısını (*frekansını*) aynı anda bildiğimizde maddenin çetelesini çıkartabiliriz. *Dalgaboyu* uzunluk, *frekans* ise bir bölü zamandır. İkisinin çarpımı, uzunluk bölü zamandır, yani *hızdır*. Herhangi bir maddenin sürati bulunduğu ortamda sabittir. Yani, farklı iki kaynaktan çıkan maddelerden frekansı düşük olanının dalgaboyu diğerine göre büyüktür.

Dalgaboyu, dalganın kimliğidir. Mesela radyo dalgaları 1 m'den 1 km'ye kadarken, mikrodalga fırınlar 1 mm'den 1 m'ye kadardır, hayatımıza cep telefonlarıyla kızılötesi ve buzdolaplarıyla infrared diye giren ışığın dalga boyu ise 750 *nanometre* ($1\text{ nm}=0.000000001\text{ m}$) ile 1 mm arasındadır. Gözümüzse 390 nm (mor) ile 750 nm (kırmızı) arasındaki *dalga boylarını* seçebilmektedir. Daha küçük dalgaboyları da sırasıyla güneşten gelen ultraviyole, röntgendeki X-ışınları ve radyoaktif gama ışınlarıdır. Göremediğimiz bu dalgaboyu aralığına *morötesi* diyoruz. Görebildiğimiz aralıkta ışık, kırmızıdan mora doğru gittikçe dalga boyu küçülmektedir.

Hubble Yasası

Işık kaynağından gelen ışığın renk değiştirmesi ne anlama gelmektedir? Bu soruya bir deneyle yanıt arayalım. Bir kaynaktan belli sıklıkta (frekansta) ışık göndermek yerine

küçük taşlar gönderelim. Kaynağın karşısında taşların içine girebileceği üç torbamız olsun. Torbalardan biri kaynağa yaklaşırken biri sabit dursun ve diğeri de kaynaktan uzaklaşsın. Bir zaman sonra, kaynağa yaklaşan torbadaki taş miktarı en fazlayken, kaynaktan uzaklaşan torbadaki taş miktarı en az olur. Kaynağın taş fırlatma sıklığı sabit olmasına rağmen yaklaşan, sabit ve uzaklaşan torbalar açısından bu sıklık farklıdır; yaklaşıandan uzaklaşana giderek azalır.

Benzer bir yaklaşımı 1929'da Hubble, galaksi kümelerinin birbirlerinden uzaklaşıp uzaklaşmadığını tespit etmek için kullandı. Hubble'a göre, eğer galaksiler galaksimize yaklaşıyor olsalardı, ışığın frekansının arttığını yani dalga boyunun azaldığını ve renginin mavileştiğini gözlemlemeliydik. Fakat gözlemin sonucunda, ışığın renginin kırmızıya kaydığı anlaşıldı. Yani evren genişlemekteydi. Bu genişlemenin hızını da Hubble, kendi adını taşıyan, evrenin genişleme hızının gözlemleyicinin konumuyla orantılı olduğunu gösteren yasayla gösterdi. Evrenin genişleme hızı v , Hubble değişkeni (buna sabit diyorlar ama zamanla değişen bir sayı) H ile konumumuz r 'nin çarpımına eşittir:

$$v = H \times r$$

Bu gelişme Einstein'ın *Genel Çekim Kuramıyla* uyumluydu. Daha önce evrenin genişlediğine dair ilk bulguya 1919'da İngiliz astrofizikçi Arthur Stanley Eddington, Einstein'ın kuramında öngördüğü gibi Güneş tutulması sırasında sabit yıldızların yerlerinin değiştiğini gözlemleyerek varmıştı.

Ölçek Çarpanı

Genişlemenin en meşhur biçimlendirilmesi, şişen balon benzetmesidir. Şişmemiş bir balona istediğimiz birim-

lendirme sistemini kullanarak bir ölçek çizelim ve ölçekteki herhangi iki noktayı işaretleyelim. İki nokta arasındaki uzaklığı hem bir ip hem de kendi birim sistemimizi kullanarak hesaplayalım. Sonra balonu şişirelim ve yine işaretli noktalarımız arasındaki uzaklığı hem iple hem de birim sistemimizle ölçelim. Sonuçta ipin ölçtüğü mesafenin bir hayli arttığını fakat ölçeğimizin yine aynı şeyi ölçtüğünü hesaplarız. Fiziksel ölçümümüzün değişmesi, yani fiziksel konumumuz r ile ölçekteki konum değerimiz x arasında bir ilişki kurduğumuzda, r ile x 'in birbirlerine oranlarının zamana bağlı olarak değiştiğini görebiliriz. O halde,

$$r = a(t)x$$

şeklinde, konumun fiziksel değişimini gösterebiliriz. Bu gösterimdeki $a(t)$ de, ölçeğimizin ölçtüğünü fiziksel hale dönüştürmektedir. Adını da yaptığı işten alır: ölçek çarpanı $a(t)$, parantezdeki t , ölçek çarpanının zamana bağlı değiştiğini gösterir.

Yol Yordam

Güzel bir denklem bulup, o denklemle uzay-zamanın şekli, yaşı, geleceği, geçmişi hakkında fikir yürütebilmek arzusundayız. Geldiğimiz noktada kullandığımız kavramlara bazı işlemler yapacağız. Böylece yazıyı da toparlamış oluruz. Son yazdığımız ölçek faktörü $a(t)$, uzay-zamanı biçimlendirmemizde en önemli aletimizdir. Ölçek çarpansız bir çekim kuramı düşünülemez. Potansiyel enerji V ve şimdi doğrudan ekleyeceğimiz hareket (kinetik) enerjisini de

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

ölçek faktörümüz cinsinden ilerleyen kısımda ifade edeceğiz. Sonra da mekanik enerji denklemimizden Friedmann Denklemine ve termodinamiğin 1. yasası, yani enerji korunumu ilkesini kullanarak da akışkan denklemine ulaşacağız. Ama bunlara başlamadan önce klasik mekaniğin içerisinde önemli bir kulvar değişikliği yapmak zorundayız. Kütsel etkileşimdeki cisimlerden büyük olanını noktsal bir kütle olarak düşünmeyeceğiz. Bunun yerine bu cismin kütselini, etkileştiği cisimle arasına sanki dağılmış gibi düşüneceğiz. Örnek olarak, Güneş-Dünya ikilisi için Güneş'i büyük bir kütle olarak düşünmeyeceğiz. Çünkü onun yerine Güneş'in kütselini yarıçapı Dünya'yla Güneş kadar olan bir kürenin uzay-zamanında dağılmış olarak düşüneceğiz. Bu durumda kütleli kürenin hacmine oranıyla yani yoğunluğuyla ifade ederek kullanacağız. Dünya'yı ise kütseli küçük olduğundan aynı şekilde düşünebiliriz.

Yavaştan Friedmann Denklemine

Güneş'in kütselinin Dünya'yı üstüne almış bir küre içinde dağılmış ve Dünya'yı da o kürenin üzerinde bir nokta olarak düşündüğümüzde Güneş'in kütseli M 'yi, Güneş'in yayıldığı bölgenin hacmi H ile Güneş'in yayıldığı bölgenin kütle yoğunluğu Y 'nin çarpımı şeklinde yazabiliriz:

$$M = H \times Y$$

Burada hacim şu olur:

$$H = \frac{4}{3} \pi r^3$$

r de kürenin yarıçapının fiziksel uzunluğudur, aynı zamanda Dünya ile Güneş arasındaki mesafedir. Ölçek çarpımımızı kullanarak, r 'yi

$$r = a(t)x$$

şeklinde yazabiliriz. Böylece, hacim

$$H = \frac{4}{3} \pi (ax)^3$$

ve kütle

$$M = \frac{4}{3} \pi (ax)^3 \times Y$$

olur. (Sadelik açısından $a(t)$ 'yi a şeklinde gösterdik.) Yeri gelmişken potansiyel enerji V 'yi gösterelim:

$$V = -G \frac{M \times m}{r}$$

M yerine

$$M = \frac{4}{3} \pi (ax)^3 \times Y$$

ve paydadaki r yerine de

$$r = a(t)x$$

Yazarsak V şöyle olur:

$$V = -G \frac{4}{3} \pi m (ax)^2 \times Y$$

Aynı şeyi kinetik enerji için de yapabiliriz ama küçük bir sorun var: Dünya'nın Güneş etrafında dönüş hızı v 'yi ölçmek çarpanı cinsinden ifade edebilir miyiz? Şunu biliyoruz ki kabaca hız, yer değiştirmenin yer değiştirme zamanına oranıdır. Bu da temel bir türev sorusudur. Türev, fizik talebesi olarak anladığım kadarıyla, herhangi bir şeyin herhangi bir şeye göre küçük aralıktaki değişimidir. Bir şeyin, başka bir şeyin değişimine bağlı değişimini hareket açısından düşünürsek, zamana göre konumun anlık değişimine hız diyebiliriz. Buradaki küçük zaman aralığını, fotoğraf makinesinin dondurduğu iki kare arasındaki süre (anların toplamı) olarak düşünebiliriz. $v(t)$, zamana göre konumun $r(t)=a(t)x$ 'in anlık değişimi, yani türevidir. Zaman anlık değiştiğinde fiziksel konumumuz r ve a değişecektir ama x sadece sabit bir ölçüm sistemi olduğundan (genişleyen balon örneğimizdeki gibi) değişmeyecektir. Değişim d , konum r için değişim r (dr), ölçek çarpanı için değişim a (da), değişim t (dt) olacaktır. O halde, $v(t)$ de şudur:

$$v(t) = \frac{dr}{dt} = \frac{da}{dt} x$$

Görüntüde Sadeleştirme

Harf artı parantez içinde t , yorucu oluyor. Gereksiz ifadelerden metni arındırmak için parantezleri kaldırıyoruz. Türev işaretlerinin yerine de harfin üst köşesine nokta işareti yerleştiriyoruz. İşaretin anlamı, o harfin zamana göre değişimidir. Nokta işareti Langrange'ın, kesirse Leibniz'a göre değişimin gösterimidir. Leibniz alfabesinden Langrange alfabesine geçtik:

$$\dot{v} = a \dot{x}$$

Böylece

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

olan kinetik enerjiyi de

$$K = \frac{1}{2}m\left(\dot{ax}\right)^2$$

şeklinde yazarız.

Ya Enerji Korunmasaydı

Mekanik enerji ME , kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamıdır:

$$E = \frac{1}{2}m\left(\dot{ax}\right)^2 - G\frac{4}{3}\pi m\left(\dot{ax}\right)^2 \times Y$$

Aslında teknik olarak işimiz bitti sayılır. Bu denklemin her iki tarafını

$$\frac{1}{2}m(ax)^2$$

işlemine bölüp, eksi (-) olan potansiyel ifadesini denklemin sağ tarafına gönderirsek

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \left(\frac{8}{3}\pi G\right) \times Y(a) - \left(\frac{2E}{mx^2}\right) \times \frac{1}{a^2}$$

denklemini elde etmiş oluruz. Aradığımız denklemlerden ilkin, Friedmann Denklemi elde etmiş olduk. Denklem-

deki a ve Y zamana göre değişmekte, diğerleri ise sabittir. Sabit ifadelere sırasıyla,

$$A = \left(\frac{8}{3} \pi G \right)$$

$$B = \left(-\frac{2E}{mx^2} \right)$$

dersek denklemimiz;

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = A \times Y(a) + B \times \frac{1}{a^2}$$

halini alır. Bu denklemin B katsayılı kısmı, B 'nin 0 'a eşit, 0 'dan küçük ve büyük olma durumuna göre evrenin düz, hiperbolik ve küresel olduğunu göstermektedir. Bu başlı başına bir yazı konusudur.

Akışkan Denklemi

Friedmann denklemi bize evrenin zaman içerisinde nasıl evrildiğini, evrendeki madde yoğunluğu cinsinden göstermektedir. Fakat yoğunluğunun ne olduğu, fiziksel açıdan ne anlama geldiğini göstermemektedir. Bana kalırsa, Friedmann denklemini çıkarttığımız enerji denklemiindeki potansiyel ve kinetik enerjileri, son durumları, hesaplanmış halleriyle ifade ettik. “Kim kimi ne kadar çekiyor, kim kimden ne kadar kaçıyor,” diye bir düşünceye sırt çevirdik. Bu durumu düzeltmemiz gerekir.

Üzeri elastik ve dışarıya ısı vermeyen bir poşetle kaplı bir kaptaki bir miktar suyumuz olsun. Kabı ısıtmaya başladığımızda, kaptaki suyun buharlaşma enerjisi yavaştan

artacaktır. Artan enerjiyle poşetteki moleküller poşetin çeperlerine daha fazla basınç uygulayacaktır. Bu durumda dışarıdaki basınçla dengede kalmak isteyen poşetimizse hacmini artıracaktır. Bir taraftan kaba enerji E verdik, diğer taraftan poşetimiz verdiğimiz enerjiyi bize sabit basınçta p de hacim H artışı olarak geri gönderdi. Sonuçta verdiğimiz kadarını geri aldık, toplam sıfır oldu. Yine d değişimi simgeleyerek,

$$dE + pdH = 0$$

olur. Daha önce enerji E 'nin yoğunluk Y ile ilişkili olduğunu söylemiştik. Böylece yoğunluğu, basınç p gibi bir kavramla ilişkili şekilde gösterebiliriz. Bu ilişkinin eğilimi basınç p ile yoğunluk Y 'nin birlikte artıp azalması yönündedir. Aradaki ilişki bu bağlamda doğrusaldır:

$$p = wY$$

Buradaki w orantı sabitidir.

Enerji bu denklem için $E=mc^2$ ve ışık hızı c 'yi de 1 olarak kabul ettiğimizde enerjinin kütleye eşit olduğunu düşünebiliriz. Işık hızına $c=1$ demek, kozmolojide sıklıkla kullanılan Planck Birim sisteminin sadeliğidir. Bu durumda enerji

$$E = M = \frac{4}{3} \pi (ax)^3 \times Y$$

olacaktır. Hacim ise şudur:

$$H = \frac{4}{3} \pi (ax)^3$$

Her iki formülde de zamana göre değişmeyen sabit çarpanın

$$\frac{4}{3}\pi x^3$$

olması ve $dE + p dH = 0$ olması nedeniyle, bu çarpanı ifadenin çıkartabiliriz. Bu durumda

$$E = a^3 \times Y$$

$$H = a^3$$

ifadelerini elde ederiz. Hatta $E = H \times Y$ diyebiliriz.

Hem hacim hem de enerjinin zamana göre değişimlerinin, bir başka deyişle türevlerinin toplamı sıfırdır. Bunu noktalı türevle gösterirsek;

$$\dot{E} + p \dot{H} = 0$$

olacaktır. E ve H 'nin zamana göre türevlerini alırsak basınçla yoğunluk arasında bir ilişki kurabileceğiz.

E ve H'nin Türevleri

Burada çarpımın türevi var. Anlamı şudur; birlikte değişen A ve B diye iki niceliğin türevini, anlık değişimini hesaplarken, önce sanki A sabitmiş gibi yapıp B 'nin, sonra da B sabitmiş gibi yapıp A 'nın türevini alıp topluyoruz:

$$(\dot{A \times B}) = \left(\dot{A} \times B \right) + \left(A \times \dot{B} \right)$$

Bu durumu H için yaptığımızda

$$\dot{H} = 3a^2 \times \dot{a}$$

olur. E 'nin türevi de:

$$\dot{E} = (H \times \dot{Y}) = \left(\dot{H} \times Y \right) + \left(H \times \dot{Y} \right)$$

Bu türev de

$$\dot{E} = 3a^2 \dot{a}(Y) + (H) \dot{Y}$$

ifadesine eşit olur.

$$\dot{E} + p \dot{H} = 0$$

denklemimize bulduğumuz ifadeleri yerleştirirsek,

$$3a^2 \dot{a}(Y) + a^3 \dot{Y} + 3a^2 \times \dot{a}(p) = 0$$

olduğunu görürüz. Daha anlaşılır bir ifade elde etmek için ifadeyi a^3 'e böldüğümüzde de istediğimiz Akışkan Denklemine ulaşmış oluruz:

$$\dot{Y} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (Y + P) = 0$$

Sonunda yoğunluğu, fiziksel bir ifadeyle ilişkilendirebildik.

Bunu Niye Yaptık?

Friedmann denklemi, zamanın nasıl evrildiğini yoğunluk cinsinden veriyordu, ama yoğunluğun ölçek çarpanıyla ilişkisini bilmiyorduk. Eğer yoğunluğu ölçek çarpanı cinsinden bilseydik zamanın nasıl evrildiğini, yani evrenin nasıl

genişlemekte olduğunu gösteren ölçek çarpanımızı öğrenebilecektik. Bunun için başka bir fiziksel sistemi inceledik ve yoğunluk-ölçek çarpanı ilişkisine bir nicelik olarak basıncı ekledik, çünkü basınçla yoğunluk arasındaki ilişkiyi, incelediğimiz sistemden elde edebiliriz.

Ne Elde Ettik?

$$\dot{Y} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (Y + P) = 0$$

denklemimize basıncı yoğunluk cinsinden $P=wY$ olarak eklediğimizde akışkan denklemimizi istediğimiz ölçek çarpanı ve yoğunluk ilişkisini gösterir hale getireceğiz:

$$\dot{Y} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (Y + wY) = 0$$

Şimdi bu denklikten evrendeki kütle yoğunluğunun zaman içindeki evrilmesini bulabiliriz. Buradan elde edeceğimiz sonucu da Friedmann denkliğinde kullanarak zamanın evrilmesini görebiliriz.

Yazı Üzerine Çalışma ve Alıştırma Soruları

1. Hubble Yasası $v=Hr$ 'dir. Buradaki v , evrenin genişleme hızını, $r=ax$ fiziksel konumumuzu göstermektedir. Yasadaki H 'nin (Hubble değişkeninin) ölçek çarpanıyla ilişkisi nasıldır?

2.

a) Akışkan denkleminin:

$$\dot{Y} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (Y + wY) = 0$$

genel çözümü nedir?

b) Bu genel çözüm $Y(a)$ için, Friedmann denkleminin son kısmını 0 ve baştaki sabit katsayıyı 1 olarak aldığımız hal için

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = Y(a)$$

denkleminin genel çözümü, $a(t)$ nedir?

c) $w=0, 1/3, -1$ durumları için $Y(a)$, $Y(t)$ ve $a(t)$ nedir?

3. Friedmann ve Akışkan denklemlerinin basit biçimlerini

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = Y(a)$$

$$\dot{Y} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (Y + wY) = 0$$

kullanarak, *İvmelenme denkleminin*

$$\frac{a''}{a} = Y + 3P$$

olduğunu gösterin. a'' , a' 'nin zamana göre ikinci türevidir, yani türevinin türevi.

4. Gözümüz ışığın verdiği kadarını alır. Işık ise tüm dalgalar gibi su, hava, cam gibi ortamlarda farklı hızlarla

hareket eder ama frekansında bir değişiklik olmaz. Örneğin, su havadan yoğundur ve ışık suda, havada olduğundan daha yavaştır. Buna göre,

a) Işığın dalga boyu ve ortamlar (hava, su, cam) arasındaki ilişki nedir?

b) Işık böyle gelirse nasıl gider? Bardaktaki kalemin durumu.

c) Su ya da cam yerine duvar ya da tahta olsaydı ışık yine de geçebilir miydi?

d) Denizin derinliği yukarıdan bakınca neden daha az gözüktür?

IŞIK VE ELEKTRONUN PARÇALI BULUTLU İLİŞKİSİ

Bilgisayarın hayatımıza girişi belki de yüzyılımızın en büyük belirleyici kudretidir. Öyle böyle şey değildir bilgisayar. Elektronik düzeydeki bütün çalışma ilkeleri kuantum mekaniğince belirlenen bu ve benzeri cihazların mümkün kılınabilmesinin ardında, ayrıklaşabilmiş bilgi ya da veriyi takasa sokma fikri var. Bu fikir, telgrafta da, günümüzün dokunmatik abidik gubidik iletişim cihazlarında da mevcuttur. Bu olayların perde arkasındaki mefhum enerjinin ayrıklaşabilmesidir. Düşün dünyasını da derinden etkileyen kuantum teorisi, diğer alanları bilemem ama doğa bilimleri açısından her şeyi içeren büyük devrimdir. Ernst Rutherford bu konuda ağır söylüyor: *Bütün bilim ya fizikten ibarettir ya da pul koleksiyonculuğundan.*

Devrim Günü

Takvim yaprakları 1900 yılının 14 Aralık tarihini gösterdiğinde Alman fizikçi Max Planck, elektroman-

yetik enerjinin ancak ayırık-kesikli-süreksiz bir şekilde saçılabileceğini öne sürüyordu. Planck varsayımı¹ olarak bilinen enerjinin ayrıklaşması (kuantize olma) olgusu $E=n(hf)$ şeklinde, Planck tarafından denklemlendirilmişti. Bu denklikte E saçılan ışık enerjisini, h Planck sabitini,² f ışığın frekansını ve n 1'den sonsuza enerji seviyelerini temsil eden doğal sayıları göstermektedir.

Bu yazıda, öncelikle üstteki paragrafın kabaca ne dediğini, ışık üzerine basit bir örnekle göreceğiz. Sonra süreklilik ve süreksizliğin fiziksel anlamını ve daha sonra da Einstein'ın fotoelektrik etkiyi nasıl açıkladığını göreceğiz. Böylece ışığın tanecik olması düşüncesi üzerine düşüneceğiz. Tanecik olan ışığa, *Acaba bir elektronla etkileşse ne olurdu?* diye soracağız ve yanıtız kalacağız. Işığı dalgaymış gibi düşünerek sorumuza Compton Saçılımı'yla çözüm bulmaya bakacağız. Yazının sonunda da iki Nobelli fizikçinin Nobelleriyle olan ilişkilerine göz atacağız.

Bi Parça Işık

Her renk doğası gereği bir frekanstır. Mesela, kıpkırmızı ışık dalgası 400 terahertzlik³ bir frekansta sahiptir. Bir başka deyişle, kırmızı ışık saniyede 400.000.000.000.000 kere titreşme sonucunda meydana gelir. Planck'ın ışık formülü $E=n(hf)$ ye göre birinci enerji seviyesindeki kırmızı ışık Planck sabiti çarpı kırmızı ışığın frekansına eşittir: $400.000.000.000.000h$.

1 Aslında buna Planck Postulatı da diyebiliriz, ama fizik yanlışlanabilir bir disiplin de olduğu için *besbelli* manasındaki *postulat* ya da *belit* yerine varsayım kelimesini seçtim.

2 h boyutsal bakımdan açısal momentuma eşit olup, birim olarak da (joulexsaniye)'dir. Ayrıca büyüklüğü de 10^{-35} joulexsaniye'dir.

3 Tera, 10^{12} dir.

İkinci enerji seviyesindeki kırmızı ışığımızısa $2 \times 400.000.000.000.000h$ 'lik bir enerjiye sahiptir. Kırmızı ışık için enerji değerleri n sayısı ile doğru orantı içinde $400.000.000.000.000h$ artarak, sonsuza doğru enerji değerleri süreksiz (ayrık) bir şekilde yaklaşır.

Süreklilik ve Süreksizlik

Albert Einstein ve Leopold Infeld *Fiziğin Evrimi*⁴ eserlerinde, süreklilik ve süreksizlikten bahsederken taş kömürü ocağının kömür üretiminin miktar bakımından sürekli bir şekilde değişebileceğini, fakat taş kömürü ocağında çalışan insan sayısının ancak doğal sayılar gibi kesikli-süreksiz bir şekilde değişebileceğini söylemektedirler. Burada ikili, *İşçi sayısı dünden beri 3,783 arttı* türünden bir ifadenin saçma olacağını söylemekte.

Yine aynı kitaptan bir süreksizlik örneği olarak para sistemini düşündüğümüzde, elimizdeki herhangi bir miktar TL en fazla iki ondalık hanesi (yüzde birine kadar) olan bir sayıyı ifade etmektedir. Mesela TL için temel birim kuruştur. Yüz kuruş bir TL'dir. Bu temellendirmeye sonsuz sayıda para miktarı TL ve Kr cinsinden ifade edilebilir. Örneğin, 2,32 TL iki lira otuz iki kuruştur. Bir sonraki değer 2,33 TL, iki lira otuz üç kuruştur. Arada yalnızca bir kuruş vardır. Ama canı çıkası para sistemimiz aradaki sonsuz farkı algılayamamaktadır. TL'nin kesikliği-süreksizliği kuruş mertebesinde olmaktadır. Tabii para için kuramsal olarak süreksizlik aralığını sıfıra çekebiliriz. Böylece para sürekli bir değişkene indirgenebilir.

4 Onur Yayınları, 1972. Bu baskı tükenmiş durumda ama Evrensel Yayıncılık 2011 baskısı hem basılı hem de e-kitaphaliyle mevcuttur.

Peki Ama Neden Süreksizlik

1800'lü yılların son çeyreğinde fizik dünyası, ısıtılarak kor haline getirilmiş bir metalden yayılan akkorun enerjisinin nasıl hesaplanacağına dair çalışmalar içindeydi. Kara Cisim Işıması olarak bilinen bağlamda incelenen bu durum karşısında fizikçiler karalar bağlamaktaydılar. Burada Lord Rayleigh kendi adıyla anılan ve yayılan ışığın frekansının dağılımını veren bir formül bulmuştu. Bu formül deneysel bir yasa olan Stefan-Boltzman Radyasyon ilkesiyle (Radyasyon, sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle doğru orantılıdır, T^4) düşük sıcaklık ve frekanslarda uyumluydu. Ne var ki *sıcaklık* ve *frekans* değerleri artmaya başladığında Rayleigh'in düşündüğü dağılım deneylerle örtüşmüyordu. Daha önceki bilgi birikimimiz, deneyle belli bir fiziksel aralıkta örtüşen bir fizik düşüncesinin başka aralıklarda da örtüşmesini beklememizi gerektirmekteydi.

Planck, burada devrimci bir adım attı ve acaba yayılan ışık; titreşen yaylar ve salınan salıncaklar gibi belli frekanslara mı sahip olur diye bir soru sordu. Bu soru ışığında Planck, Rayleigh formülünü tekrar elden geçirdi. Deney sonuçlarıyla uyumlu yeni bir frekans dağılımı formülü oluşturdu. Böylece yazının başında verilen varsayım; elektromanyetik enerji, ışık, ancak ayrık bir şekilde saçılabilir: $E=n(hf)$ can bulmuş oldu.⁵

Demiri sürekli ısıtıyorsunuz ama demir dışarıya süreksiz-kesikli şekilde ışıma yapıyor. Buradaki kesikler ışımanın frekanslarını göstermektedir. Belki, para benzeşmesinde bölünemez en küçük birimi sifıra kadar küçültebiliriz ama herhangi bir anda durup *Para süreksiz midir?* diye dü-

5 Formülün çıkarımı meşakkatli ve kimi okuyucuyu açısından görmediği bir alfabeyi anımsatmaktadır. Bu yüzden bu topa girmedim ama meraklısına tavsiye edilir.

şündüğümüzde; paranın süreksiz olmadığını söyleyemeyiz. Çünkü hâlâ para birimimiz bölünebilecektir. Ama frekans ve dolayısıyla enerji gibi doğa niceliklerinin süreksizliklerinin olduğunu, hatta bunların temel ayrıklıklar (kuantumlar) olduklarını söyleriz. Bu arada kuantum kelimesinin anlamı, bir etkileşimi içeren herhangi fiziksel varlığın minimum miktarı demektir. Ayrıca Latincede paket anlamına gelmektedir. Bu enerji kuantumu mefhumu 1918 yılında Max Planck'a Nobel Fizik Ödülü'nü getirmiştir.

Süreklilik ve süreksizlikle ilgili olarak günlük yaşamımızdan suyun hal değiştirme, katı-sıvı-gaz olaylarını da düşünebiliriz. Suyu⁶ sürekli şekilde ısıtabiliriz, fakat su, belli bir sıcaklık değerinde kaynar. Bu değer, dışarıdaki havanın basıncının su moleküllerinin birbirlerine uyguladıkları iç basınca eşit olduğu noktadır.

Einstein ve Infeld Kuantum kuramını *Sürekli sayılagelmiş bazı fiziksel niceliklerin temel kuantumlardan bileştiği varsayılmalıdır*⁷ şeklinde bir cümleyle özetleyebileceklerini belirtmektedirler. Alıntı şimdiye kadar anlatılmak istenilenlerin de harikulade bir soyutlamasıdır.

Mesela kütle, cisimdeki madde miktarı, temel kuantum niceliktir. Mendelyev'in elementleri sınıflandırdığı periyodik tabloya baktığımızda elementlerin birer birer artan, buçuksuz atom sayılarıyla dizildiklerini görmekteyiz. Periyodik cetvelde elementlerin enerjileri atom sayıları ile birlikte değişmektedir. Elektriğin temel kuantumuy-sa elektronun yükü e 'dir. Bir pilin sahip olacağı enerji kendi potansiyeli ile elektron yükü e 'nin çarpımı olacağından, elektrik enerjisinin değişimi eV şeklinde azalıp artacaktır.

6 Suyun saf su olduğunu düşünmemiz gerekir, çünkü yalnızca saf maddeler sabit sıcaklıkta hal değiştirirler.

7 *Fiziğin Evrimi*, Onur Yayınları, s. 240

Fotoelektrik Etki

Bir metali ışık bombardımanına tuttuğunuzda, metal dışarı elektronlar saçabilir. İlk kez Heinrich Hertz'in 1897 yılında gözlemlediği bu olgu fotoelektrik etki olarak bilinmektedir. Aynı yıl J. J. Thomson ise elektronların saçılımlarını gözlemlemişti. 1902 yılında Philip Leonard, bir metalden yayılan (saçılan) elektronların hızlarının metale gönderilen radyasyonun miktarı yani parlaklığıyla belli bir noktaya kadar arttığını ve bu noktada sabitlendiğini gözlemledi. Aynı gözlemde Leonard elektronların ulaşabilecekleri maksimum hızın gelen ışımının frekansıya arttığını tam olarak hesaplayamasa da gözlemledi.⁸

Einstein, Leonard'ın gözlemine kuramsal bir açıklama getirmek için 1905 yılında devlet memuru olarak çalıştığı Zürih Patent Enstitüsü'nde düşünmeye başladı. Deneyde metal yüzeye gönderilen toplam ışık enerjisi miktarı parlaklıkla artırılırken metal yüzeyi terk eden elektronların hızları değişmemektedir. Bu durum enerjinin korunumu ilkesiyle ve ışığın dalga şeklinde hareket etmesi durumuyla çelişmekteydi. Çünkü mesela biz yüz miktar enerji göndersek de, beş yüz miktar enerji göndersek de elektrondan aldığımız enerji miktarı sabit kalmaktadır. Ya doğa bizimle oyun oynamaya devam etmekteydi ya da bizler ters bir yerden bakıyorduk. Burada çözümü Einstein, Newton'un kabul görmeyen ışığın kütesiz tanecik olma özelliğini kullanarak bulmaya çalıştı.

Albert, bir ışık taneciği enerjisinin bir kısmını ya da hepsini, metal yüzeye çarptığında, metaldeki herhangi bir atoma aktarmalı ve bu enerjeyi alan atom da aldığı enerjinin bir kısmını kendisi için kullanıp fazlasını da dışa-

8 Modern Physics From Alpha To Zeta, James William Rohlfs, s. 76

rıya elektron fırlatmak için harcamalıdır, diye düşündü. Bu bağlamda, çıkan elektronların hareket enerjileriyle metalden kopmak için gereken enerjileri topladı. Daha sonra Planck'ın enerji değişimi ilkesi gereğince bulmuş olduğu enerjinin gelen ışık taneciğindeki enerji değişimine eşit olup olmadığına baktı. Aldığı sonuçların tahminleri doğrultusunda olduğunu gördü. Böylece Newton'un yaklaşık iki asırdır pek rağbet görmeyen, ışığın kütesiz bir parçacık özelliği taşıması fikri, fiziksel kuramda yerini aldı. Einstein, bu elektromanyetik radyasyon kuantumuna foton (ışık taneciği) adını verdi. Değişen foton enerjisi ($n \cdot h \cdot \nu$), kopan elektronun enerjisi ile metalin bu iş için aldığı bağlanma enerjisinin toplamına eşittir: $n \cdot h \cdot \nu = E(\text{kinetik}) + E(\text{bağlanma})$. Böylece enerjinin ayrışması, Newton'un kullanılmayan ışığın tanecik kuramıyla fotoelektrik etkiyi açıkladı. Bu fotoelektrik etki çalışması, 1921 Nobel fizik ödülünün de sahibi oldu.

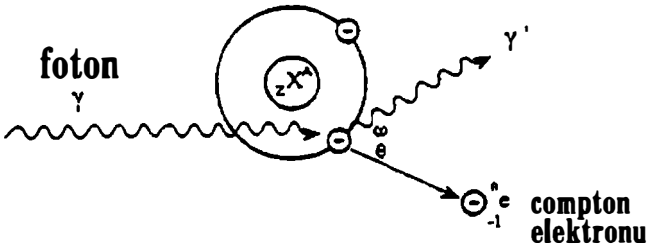
Belki kuramsal açıdan pek bir önemi yok ama fotoelektrik etkiyi durdurmanın bir yolu var. Deney yaparken öğrendim. Fotoelektrik etki oluşturabilmek için foton etkilediği metale tabiri caizse belli bir miktar ayakbastı parası, bağlanma enerjisi vermek zorundadır. Eğer fotoelektrik etkiyi gözlemlediğiniz sisteme -ki genelde bu sistem de kara bir kutu içerisinde yüksek bir ışığın etkilediği bir parlak tabakadır (ufo'larda olanlardan)- karşı yönde bağlanma enerjisi kadar bir gerilim yaratacak bir pil bağladığımızda elektronların kopmasını durdurabiliriz. Hatta bir önceki formülü kullanarak Planck sabiti de hesaplanabilir.⁹ Deney düzeneğimizde bir hata olduğunu düşünerek Planck sabitini yüzde elli hatayla hesapladığımızı

9 Hesap için Wikipedia'ya *Photoelectric Effect* yazabilirsiniz.

ve karanlık bir odada yapıldığından, ışık taneciklerinin parlaklıklarının gözlerimi rahatsız ettiğini hatırlıyorum.

Compton Saçılımı

Fotoelektrik etki olgusunu, yani ışığın ya tamamının ya da belli bir kısmının soğrulmasının bir enerji aktarımı şeklinde olduğunu düşündüğümüzde, ışık parçacıkları olan fotonların, enerjilerini mermi gibi metal yüzeye bıraktıklarını görmekteydik. Şimdi aynı gözlemi yine bir ışık ve bu sefer olduğu yerde duran bir elektron için yapalım. Yalnız ışığımızın frekansını düşük seçelim, mesela ışığımız turuncu olsun. Burada frekansı düşük seçmemizin nedeni elektronun ışığı soğurmamasını sağlamaktır. Turuncu renkli ışığımız duran elektrona aşağıdaki gibi esnek şekilde (yani momentumlarını, etkileme mertebesi¹⁰, kaybetmeden) çarptığında, kendi etkisinin bir kısmını elektrona verir, elektron hareket etmeye başlar, enerji ve momentum kazanmış olur. Turuncu renkli ışığımızısa elektronun kazandığı enerji kadar enerji kaybeder, frekansı azalır ve rengi daha düşük enerjili kırmızı renge benzemeye başlar. Elektronun kazandığı enerji ışığın frekans değişikliği yüzünden kaybettiği enerjidir.



¹⁰ Momentum, parçacığın etkisidir, hızıyla kütlesinin çarpımına eşittir. Yalnız, kütlesiz ışık taneciklerinin de momentumları vardır!

Planck Varsayımı, Compton Saçılmasını da açıklamaktadır. Burada da ortaokul seviyesini geçmeyen matematiksel hesaplamalar var. Özellikle ω ile θ açıları arasındaki ilişkinin hesaplanması azcık Wikipedia yardımıyla mümkün, ilgililere duyurulur.

Bu durumu, ışığı tanecik olarak ele alıp açıklamaya çalışsaydık, düz bir şekilde gelen fotonun çarptığı elektronu düz bir şekilde göndermesinin ve fotonun kendisinin de geri dönmesinin momentum korunumu gereği olacağını söylememiz gerekecekti. Sonuçta bu deneye göre dalga yorumu ışık için daha tutarlı görünmektedir.

Akla pek yatmayan bir durum var gibi görünüyor değil mi? Işık bir durumda parçacık başka bir durumda ise dalga gibi davrandı. Newton'un parçacık ile Huygens'in dalga tartışmasına geri mi döndük? Gerçekten döndük. Yüzyıl önce insanlık, kökleri Newton-Huygens'a dayanan bu tartışmayı yeniden şiddetle yapmaya başladı. 1924 yılında Louis de Broglie bu tartışmaya noktayı koyana kadar herkes kendi kuramını doğrulatmak için çabaladı. Ama Broglie madde- nin hem parçacık hem de dalga özelliğini taşıdığını öne sürdüğü madde dalgaları kuramıyla tartışmayı sonlandırdı. Aslında girişim, kırınım, yansıma gibi birçok fiziksel olayın ele alındığı bu tartışma güzel bir yazı konusu olabilir. Hatta bunu da listeye şimdiden ekledim.

Şu Nobellere Dönersek

Ortada kuantum mekaniğine temel oluşturan varsayım ve varsayımın açıkladığı güzel problemler var. Hal böyle olunca, ortada iki de Nobel var. Yalnız, Nobelleri alanların hikayelerine baktığımızda durum birazcık farklıdır. Planck aslında gazlar kuramıyla ilgilenmektedir.

Klasik mekaniğin ilkelerinin doğruluğuna inanmaktadır. 1920'li yılların ortasında keşfedilecek kuantum mekaniğinin getirmiş olduğu belirsizlik durumundan ötürü o kadar rahatsızdır ki, memleketi Almanya'da keşfedilen kurama dönüp ne diyor diye bakmamıştır bile.

Albert ise aslında Genel Görelilik Kuramıyla belki bir belki iki tane Nobel alabilirdi. Çünkü Albert'ın Genel Görelilik Kuramı, eğer o bulmasaydı, belki de 1920'li yılların kuantum dalgasıyla unutulup gidecekti. Ne var ki 1916 yılında kuramsal tutarlılığı anlaşılan ve 1919 yılındaysa Sir Eddington'un Güneş Tutulması gözlemiyle sınanan kuramı ödüle layık görülmemiştir. Harald Fritzsch kitabı *Yanıyorsunuz Einstein!*'da, evladı sayılabilecek Kuantum Mekaniğini Einstein'ın öksüz bıraktığından¹¹ bahsediyor. Profesör Fritzsch'e katılmıyorum. Dediği doğru bile olsa, en azından *Yüzyılın Derbisi!* yazısında belirttiğim sorularla evladının gelişimine destek olmuştur.

*Elli yıl canla başla kafa yorduktan sonra 'Işık zerrecikleri nedir?' sorusunun cevabına bir adım bile yaklaşabilmiş değilim. Bugünlerde her önüne gelen bunu bildiğini sanıyor, ama yanılıyor*¹² diyen Albert için Kuantum Kuramı yeterli değildir. Bu konuda aldığı Nobel'e pek kıymet verdiğini söyleyemeyiz. Ama insan hiç olmazsa oradan aldığı parayla bir rakı sofrası kurardı. Albert, bunu boşboğazlığı yüzünden yapamadı. Çünkü eşi Mileva'yla boşanırken yaptığı anlaşma gereği Albert Nobel alırsa bütün parayı eşine verecekti. Aksi yapısının yüzünden ödülü alacağına ihtimal vermeyen Albert anlaşmadan kârlı çıktığını düşünürken beklenmeyen oldu: Nobel geldi, paralar Mileva'ya gitti.

11 *Yanıyorsunuz Einstein!*, Harald Fritzsch, Metis yayınları, 2012, s. 123

12 *Schrödinger'in Yavru Kedileri*, John Gribbin, Metis Yayınları, 2008, s. 11

DALGA MI PARÇACIK MI?

Oyuncaklardan hevesimi aldıktan sonra çoğu çocuk gibi ben de içlerini merak edip onları kırardım. Hiç unutmam, Rus pazarından aldığım el atarımdeki yumurta toplama oyununun kurdunu daha yakından tanımak için oyuncacı kırmıştım: sonuç, gri bir cam parçası ve biri iki tane tüpçük (tüpçüklere diyot deniyor). Aleti geri toplayamadım, kırmak tersinemez bir işlemdi. Şimdilerde ise oyuncakların içini, bazen geri toplayamasam da, tornavidayla açıp kapıyorum. Kurdu hâlâ bulamadım ama makineyi işleten mekanizmanın küçücük nicelikler olduğunu biliyorum.

Fizik de, oyuncağın zembereğiyle uğraşmadan oyuncağın işleyişini anlamaya çalışır durur. Mesela gözle görebildiğimiz maddelerin; yumurta, süt, bal (bu üç filmi muhakkak izleyin) hatta göremediğimiz nötron ve protonların bile aynı hareket yasalarına tabii olduklarını biliriz. Newton'a ait bu yasalarla, termodinamik ve enerjinin

korunumu gibi manyak fizik yasa ve kavramlarını özgürce düşleriz. Manyaklığı bir adım daha öteye götürerek, evrenin yapısına ve başlangıcına dair görüşler atıp tutabiliriz. Hayal gücümüz mü zorlandı, hiç tasaya gerek duymadan çocukluk alışkanlığımıza geri döneriz: oyuncağımızı kırıp içine bakmak. Bu sefer tornavida yok, oyuncakları birbirleriyle çarpıştırmak ilkel görünse de hâlâ geçerlidir. Çarpıştırma sonucunda elimizde elektron gibi ne olduğu belli olmayan çok küçük ve bölünemez olduklarını tahmin edebileceğimiz, temel atom altı parçacıklar var. Bu temel bölünemez parçacıkların işleyişi, kuantum mekaniği olarak adlandırılır.

Kuantum, Planck değişmezi ile kendi frekansının çarpımına eşit büyüklükte, fazla bölünemeyen enerji niceliğidir.¹ Örneğin foton (ışık taneciği), elektromanyetik radyasyon (ışınım) enerjisi kuantumdur.

Bir üstteki kısa paragraf, çoğu kişi için yabancı bir dilde yazılmış gibi duruyor olmalı. Niyetim, amiyane tabirle artistlik değil yalnızca bir rahatsızlığımı paylaşmaktır. Kitap, radyo, televizyon, reklam, internet, tıp ve daha pek çok alanda bir kuantum dalgası almış başını gidiyor. *Kuantum ve ...* ile yapılan her şey çok kâr getiriyor. En basitinden, Aşk-ı Memnu ile ekrana yüz vermeyen A sınıfı izleyici grubu, Lost ve benzerleriyle büyük dizi pazarına ekleniyor. Aynı şeyi kişisel gelişim kitapları için de söyleyebiliriz. Neyse burayı fazla uzatmayayım. Konumuz, anlaşıldığı üzere Kuantum Mekaniği'ne bir giriş yapmak.

Metinde kavramların değerinden kayıp vermeyecek şekilde basitleştirmeler yapmaya çalıştım. Matematiksel

1 Yeni Fizik Kuvantumları, Louis de Broglie, çv. Yakup Şahan, Kabalcı Yayınevi, 1992, sy. 277

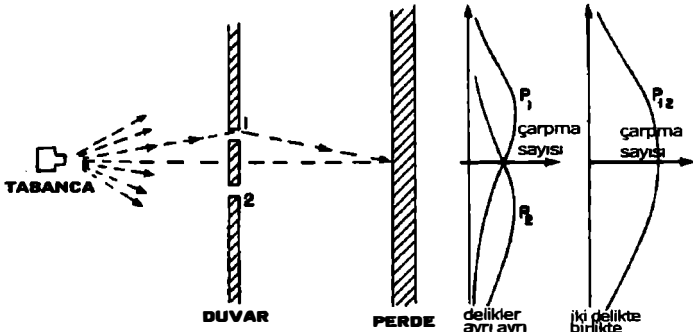
ifadeler kullanmamaya çalıştım. İsteyenler, Wikipedia'dan karmaşık sayılara ve olasılık konularına on dakika (bilemedin birkaç saat) göz gezdirerek anlatılanları daha iyi anlayabilirler. Bahsettiğim kuantum nemacılarının ipliğini pazara çıkarabilecek soruların akıllarda oluşabileceğini umarak başlıyorum, kolay gelsin.

Kuantum mekaniği; maddenin, tüm ayrıntılarıyla davranışının ve atomik ölçüde olup bitenlerin bir betimidir.² Feynman ustanın bu açık saçık tanımında büyük bir giz yatmaktadır: maddenin davranışı. 19. yüzyıla kadar fizik açısından, ışık dâhil olmak üzere bütün maddelerin parçacık gibi davrandıkları düşünülüyordu. Bu asırda, elektronların varlığı ve hareketlerinin kimi zaman parçacık davranışı modeline uyum göstermeyişi gözlemlendi. Bu gelişme, fiziğin pek de uzak olmadığı ama iki yüzyıl öncede bırakmış olduğu bir tartışmaydı. Işık, tanecik mi yoksa dalga mıdır? Huygens ve Newton arasındaki bu atışmadan tabii ki dönemindeki her tartışma konusunda olduğu gibi galip çıkan, ışığın tanecik modeliyle Newton olmuştu. Ama 1800'lerin sonlarında görüldü ki, ışığa davranış bakımından çok benzeyen elektronlar, ne parçacık ne de dalga gibi davranıyordu. Bu ikilem gibi görünen durum elektronlardan yaklaşık iki bin kat daha fazla kütleli proton ve nötronlar için de geçerliydi. Bu tartışmayı daha fazla uzatmadan başka bir şey söyleyelim diyor Feynman: *O, hiçbiri gibi değildir.*³

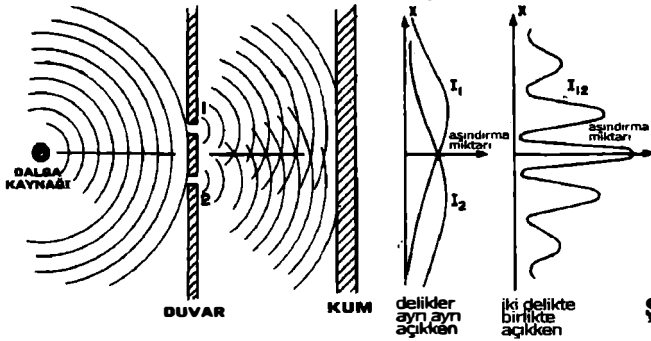
Kuantum mekaniğine göre istisnasız tüm maddeler hem dalga hem de parçacıktır. Kuantum kuramının önemli isimlerinden Louis de Broglie maddenin bu durumuna *dalga maddeleri* demiştir.

2 Altı Kolay Parça, Richard P. Feynman, çev. Celal Kapkın, Evrim Yayınevi, 2002, sy. 146

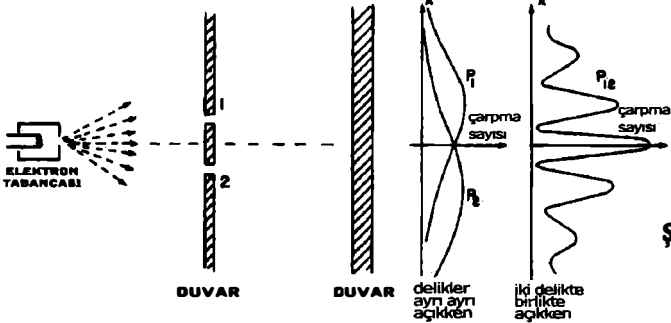
3 A.g.e., sy. 146



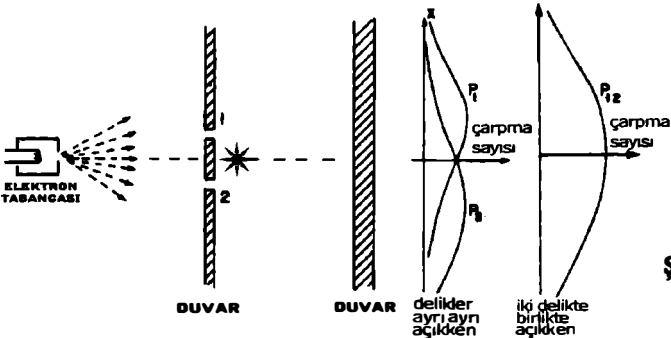
Şekil 1



Şekil 2



Şekil 3



Şekil 4

Maddenin bu ikili davranışını ölçebilmek gündelik hayatta mümkün değildir. Çünkü kuantum mekaniği tamamiyle çok küçük ölçeklerde gerçekleşen bir ölçüm kuramıdır. Bohr'a göre *ölçmediğimiz madde yoktur*. Metrenin milyon milyon milyon ... milyon katı küçük ölçeklerde ölçülebilen bu kuramın adını, parmak büyüklüğündeki bulaşık makinesi tabletlerine vermek, olsa olsa abesle iş-tigaldır. Hâlbuki teknolojik olarak baktığımızda kuantum mekaniği fotoğraf makinesinden, televizyona, nükleer enerjiye, hızlı trenlere, cep telefonlarımıza, atom bombasına kadar hayatımızın her yerindedir.

Kuantum mekaniğinin doğasını en iyi şekilde veren *Çift Yarık Deneyi*'ni (*Young Deneyi*) yaparak maddenin davranışındaki tuhaflığı inceleyebiliriz. Normalde parçacık olarak bildiğimiz, bölünemediğini varsaydığımız mermileri bozuk bir silahla Şekil-1'deki duvarımıza doğru ateşleyelim. Arkadaki perdenin her bir noktasına bir algılayıcı koyalım. Orta çizgiye göre simetrik olan hem üstteki hem de alttaki delik, ayrı ayrı eşit süre açık kalacak şekilde duvara ateş ettikten sonra algılayıcılardaki mermileri sayalım. Perdenin yanındaki ilk grafikteki eğriler bize bu sayıların oranlarını veriyor. Bu bilgiyi kullanarak açık olduğunu bildiğimiz bir delikten geçen herhangi bir merminin hangi noktaya düşeceğini kestirebiliriz. Bu da perdenin yanındaki ikinci grafikte mevcuttur. Bu olasılık hesabını, her bir algılayıcıdaki mermi sayısını açık olan delikten geçen toplam mermi sayısına bölerek yapabiliriz. Bu deneyi her iki delik açıkken yapmış olsaydık, her bir noktada herhangi bir delikten geçmiş bir merminin bulunma olasılığı; her iki delik de tek başlarına açıkken her bir noktadaki algılayıcıdaki olasılıkların toplamı şeklinde

olacaktır. Mermi gibi gözle görülür parçacıklar herhalde beklediğimiz gibi hareket ettiler.

Şimdi de aynı deneyi Şekil-2'deki su dalgalarıyla yapalım. Dalga kaynağımız suya periyodik ve eşit büyüklükte titreşimler versin. Yine duvarımızda ortaya göre simetrik üst ve alt deliklerimiz olsun. Bu sefer perde yerine suyun dalga hareketinin şiddetini ölçebilecek bir şekilde kumsal oluşturalım. Üstteki ve alttaki delikleri ayrı ayrı kapatarak dalgaları gönderdiğimizde kumsalda, mermi örneğinde olduğu gibi bir parlaklık-konum grafiği elde ederiz. Burada parlaklık, dalganın çarptığı noktadaki anlık dalga boyunun karesidir. Mermilerdeki olasılık grafiğimizin aynısını elde ettik. O halde, bir dalganın bir noktada bulunma olasılığına, dalga boyunun çarptığı noktadaki anlık dalga boyunun karesidir diyebiliriz.

Peki deneyi, iki delik de aynı anda açıkken yaparsak ne olur? Mermilerdeki sonucu elde edebilir miyiz? Grafikten de anlaşıldığı üzere sonuç hiç de beklemediğimiz gibi çıktı. Acaba neden? Bu sorunun yanıtı, hatta belki kuantum mekaniğinin gizemi de burada, nevi şahsına münhasır dalgamızın boyundadır. Bu boy bildiğimiz gerçel sayılara sıklıkla tekabül etmez ve bir karmaşık sayıdır. Yani bir gerçel bir de sanal kısımdan oluşan bütünlüklü bir sayıdır. Haliyle cebiri de birazcık farklılık yaratır. Burada detaylarına girmeyeceğim bu farklılık aynı noktanın üzerine gelen dalgaların faz durumlarının ilişkisini grafiğimize yansıtmıştır. Grafiğe yansıyan bu fırlamalar ve çökelmeler parçacıklarda olmayan dalgaya has bir özelliğin müjdecisidir: Girişim, başka bir deyişle üst üste binme. Girişim yapan iki dalganın arasındaki açısal faz farkını da işin içine koyarak baktığımızda

grafikteki fırlamalar ve çökelmeler anlaşılabilir. Girişimde, mermilerde olduğu gibi olasılıklar ayrı ayrı toplanırken, bu toplama dalga boylarının faz farkının kosinüs değeriyle çarpımının iki katı eklenir. Kosinüs, artı bir ile eksi bir arasında değer alan bir fonksiyondur. Fonksiyon pozitifken grafik yukarı doğru fırlarken, negatifken aşağı doğru çökelmektedir. Ayrıca yukarı fırlayan girişimlere *yapıcı*, çökelen girişimlere *yıkıcı* denir.

Aynı deneyi bir de Şekil-3'deki elektronlar için yapalım. Elektron tabancasıyla yolladığımız elektronlarımızı perdemizde bekliyor olalım. Sonuçta elektronların tıpkı dalgalarda olduğu gibi girişime uğradığını ölçtük. O halde, elektronlar dalga davranışlarına sahiptir.

Bu işte bir bit yeniği var. Elektronlar bizle dalga geçiyor olmalı. Onları perdede bekledik. Hangi güzergâhı kullandıklarına hiç dikkat etmedik. İyisi mi biz son deneyi perdeden değil de deliklerin yanından yapalım. Bunun için deney düzeneğine Şekil-4'deki gibi bir ışık kaynağı yerleştirelim.

Şimdi deliklerin yanındayız ve hangi delikten bir elektron geçtiğini ölçüyoruz. Bu durum bütün deneylerimizdeki tek açık delik durumuyla aynıdır. Diyelim ki üstteki ya da alttaki delikten bir elektron geçti, onun olasılık grafiğini biliyoruz. Haliyle iki delik de açıkken hangi elektronun hangi delikten geçtiğini bilerek yaptığımız denemede girişim olmadığından, elektronların herhangi bir noktada bulunma olasılıkları delikler ayrı ayrı açıkken hesaplananların toplamı olacaktır. O halde elektronlar parçacık gibi davranacaktır. Bu durumun sebebi ışık taneciklerinin (fotonların) elektronlarla etkileşime geçmeleridir.

Akıl alacak gibi bir şey değil. Ne yaptığımızı tekrar bir gözden geçirelim. İlk önce, perdede bekledik, elektronlar yoluna baksın dedik ve bir sonuç aldık: elektronlar dalga-
dır. Sonra bunlar yolda eğlenceye mi takıldılar deyip, yol-
daki konumlarını ölçmeye çalıştık ve yine bir sonuç aldık:
elektronlar parçacıktır. Bir başka deyişle bir elektron ışık
kapalıyken dalga, ışık açıkken parçacıktır.

Bu noktada imdadımıza müthiş Yılmaz Öner çevi-
rişleriyle bir başucu kitabı olan *Fizik ve Felsefe*'nin (Belge
Yayınları, 2000) yazarı Heisenberg koşuyor. Heisenberg'e
göre, hiçbir maddenin konumu ve hareketinin etkisi (fi-
zikçiler buna momentum diyor) aynı anda tam olarak
ölçülemez. Buna Belirsizlik İlkesi denir. Bu belirsizlik, öl-
çüm aletlerimizin teknolojisindeki noksanlıktan kaynak-
lanmaz. Belirsizlik, ölçüm yapmanın, yani doğayla etki-
leşmenin kaçınılmaz bir sonucudur.

Belirsizlik ilkemizi kullanarak son iki deneyi bir kez
daha gözden geçirelim. Elektronların ilk durumda perde-
ye nereden geldiklerini bilmeden yalnızca hareket etkile-
rini ölçmüştük. İkinci deneyde ise elektronun konumunu
belirlemiştik. Buradan şu sonuca varabiliriz; maddenin
bir özelliğini ne kadar tam doğru ölçmeye kalkışırsak di-
ğer özelliğinden o denli uzaklaşırız.

Bugün Kuantum Mekaniği'nin bu kadar sağlam bir ku-
ram olmasında en büyük pay sahibi hiç kuşkusuz kafala-
rımızdaki çözölemeyen soruları kendi üstlenen Belirsizlik
İlkesi'dir ve şu şekilde gösterilir:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Δx konumun, Δp momentumun belirsizliğini ve h de Planck sabitini gösterir.

Belirsizlik İlkesi'nin hangi sebepten ötürü böyle olduğu sorusunu yanıtlamayı bırakın, bu soruyu sormanız bile fizikçilerle başınızın derde girmesi demektir. Aşağı yukarı bu konuyla ilgili bilinenler bu kadar. Ama bu Belirsizlik İlkesi'nin düşünme dünyamıza katkısı çok büyüktür. Klasik mekanikle kuantum mekaniği arasındaki ayrılışın kökü burada bulunmaktadır.

Klasik mekanik bize şöyle bir şey vaat etti: Siz bana şu anki yerinizi ve konumuzdaki değişikliği verin ben sizin on yıl sonra nerede olacağınızı, hatta on yıl önce nereden ne hızla geçtiğinizi söyleyeyim. Büyük ölçüde Newton'un temellerini atmış olduğu bu düşünüş, büyük bir belirlenmeciliği doğururken aynı zamanda kaotik bir sürecin de başlamasına sebep olmuştur. Bu kaotiklik de, başlangıç koşulunu bilmediğimiz cisimlerin davranışlarını belirleme konusunda karşımıza çıkmıştır. Bir yandan geçmiş gelecek her şeyi bildiğini söyleyebilecek kadar güçlü, öteki yandansa sadece başlangıç bilgisini kaybettiğinde ya da işleyişte bir kesiklik olduğunda cahilin önde gideni.

Kuantum mekaniğinde ise olay çok daha mütevazı bir şekilde ele alınmakta. Öncelikle bir şey hakkında konuşmak için onun ölçülmesi gerekiyor ve ölçülmeyen maddeler hakkında bir anlık duruma bakıp hariçten gazel okunmuyor. Ölçümün doğasındaki Belirsizlik İlkesi göz önüne alınarak, olasılıklara dayanan ve maddenin iki farklı davranışını içeren bir düşünüşle, doğa üzerine tahminler yürütmek kuantumcuların olmazsa olmazı.

Klasik mekanikçilerin neden maddenin dalga özelliğini kavrayamadıklarını sorabiliriz. Bunun yanıtı ben-

ce kendi dönemlerindeki ölçüm koşullarının teknolojik anlamda gelişmemesine bağlanabilir. Çünkü Belirsizlik İlkesi'nin formülündeki Planck değişmezi yaklaşık olarak 0,00000.....000006 ki otuz dört tane sıfır bulunan bu sayı çok küçüktür. Top, tüfek gibi cisimlerin hareketlerinin deneyleriyle ölçülebilecek gibi değil. Aslında kuantum mekaniği, klasik mekaniğin eksikliğini bularak popüler kültürde pohpohlandığı ve birçok çakma sosyal bilimcinin atıp tuttuğu gibi klasik mekaniği bitirmemiştir. Aksine klasik mekaniğin geçerli olduğu boyutun belirlenmesine yardımcı olmuştur. Sonuç olarak baktığımızda; atomik ölçeklerde, yani yaklaşık metrenin milyarca kez küçük ölçeklerinde kuantum yasaları geçerlidir. Normal yaşantımızdaysa klasik mekanik, her geçen gün daha da güçlenmektedir.

Yazıya son sözler: Metni yazarken, Feynman'ın *Altı Kolay Parça* kitabından çokça yararlandığımı belirtiyim. Amacım bir giriş yapmak olduğundan kuantum mekaniğinin fizik dünyasına katmış olduğu çoğu kavramdan bahsetmedim. Konuya gazların bir odadaki rastgele hareketleri incelenerek de başlanabilirdi. Lakin o zaman bu bir dergi yazısı değil birkaç yüz sayfalık bir kitap olurdu. Anlata anlata bitmeyecek bu konunun tarihselliğinden ise kuramın güzelliğini bozmamak için kaçınmaya çalıştım. Ama bahsettiğimiz bu *Çift Yarıklı Deneyi*'nin Thomas Young tarafından 19. yüzyılın başlarında yapıldığını belirtmek gerekiyor.

YÜZYILIN DERBİSİ

FC KOPENHAGSPOR - HARBİSPOR

Kuantum mekaniği, kanımca, 20. yüzyılın en büyük keşfidir. *Dalga mı, Parçacık mı?* adlı yazıda, bu keşfi zorunlu kılan önemli bir konuya, dalga-parçacık ikilemine kapı aralamaya çalışmıştık. Bu sayıdaki metinse, kaldığı yerden bu akıllara ziyan düşünüşe değinmeye çalışmaktadır. Metin, iki bölümden oluşuyor. İlk bölümde, iki sayı önceki metni bir hatırlayacağız ve metindeki *Belirsizlik İlkesi* hakkında düşünmeye çalışacağız. İkinci bölümde ise bu ilke kafasına pek yatmayanlara göz atacağız. Kötü Kedi Şerafettin'den sonra en meşhur kedi olan Schrödinger'in kedisine bakacağız. Daha sonra da yer bilmez üç fizikçinin (Einstein-Podolsky-Rosen) ortaya attıkları bir paradokstan bahsetmeye çalışacağız: EPR Paradoksu, bilinen adıyla *Yer Bilmezlik Paradoksu*.

İlk Bölüm: FC Kopenhagspor

Geçen metinde bir sorumuz vardı: Madde bir dalga mı yoksa bir parçacık mıdır? Bu sorunun ekseninde, 1807

yılında Thomas Young'ın ışıkla yapmış olduğu *Çift Yarık Deneyi*'ni biz, mermi ve elektronlarla yapmaya çalıştık. Deneyimiz bize yeni bir kavrayış sunuyordu: kuantum mekaniği. Bu kavrayışa göre tüm maddeler hem dalga hem de parçacık özellikleri göstermekteydi. Bu yeni anlayışa göre maddeye, Fransız soylusu Louis de Broglie'un deyimiyle *dalga maddeleri* diyebilmekteyiz.

Young'ın deneyinden yola çıkarak Kuantum mekaniğinin en önemli parçalarından biri olan Belirsizlik İlkesi'ni elde etmiştik. Werner Heisenberg'in 1925'te uydurduğu bu ilkeye göre, konum ve momentum gibi fiziksel özelliklerin değişimleri kesin olarak ölçülemezdi. Bu konum ve momentum kavramları sırasıyla maddenin iki temel özelliğini, parçacık ve dalga olma durumlarını ifade etmekteydi.

Bu ilke, Kuantum mekaniğinin en önemli yeniliklerinden *ölçüm* kavramını temellendirmekteydi. Ölçüm yapan kişi ya da aleti artık sistemin bir parçası olarak görmek, Heisenberg'in bu ilkesinin sadece bilim değil başta sanat olmak üzere birçok konuda devrim yaratmasına sebep olmuştu.

İlkeyi örnekleyelim. Hareketi düşünelim. Hareketini ölçmek istediğimiz madde, neredeyse kütsüz diyebileceğimiz elektron olsun. Ölçümümüz ışıkla gerçekleşecektir. Ölçüm esnasında ışık elektronla etkileşime geçecektir, bir başka deyişle ışık elektrona toslayacaktır. Ölçümünden aldığımız veri de ışıkla elektronun etkileşmiş, ortaya karışığı olacaktır. İşte, Belirsizlik İlkesi bu noktada devreye girer. Burası çok önemli. Bir ölçümdeki bir maddenin ne konumunu ne de momentumunu tam olarak belirleyemeyeceğimizi, bunun bir sınırı olduğunu söyler.

1927'deki Solvay Kongresi'nde Danimarkalı büyük fizikçi Niels Bohr ve onun gibi düşünen birçok fizikçi hep birlikte Kuantum mekaniğini kendilerince yorumladılar. Birkaç dik başlı dışında herkesten kabul gören ve Kopenhag Yorumu olarak bilinen görüş, kabaca, bir fiziksel sistemin taşımış olduğu belirsizlikten ötürü ölçüm yapılmadan nasıl davranış sergilediğinin bilinemeyeceğini söylemektedir. Bir sistemin davranışı için söyleyebileceğimiz tek şey sistemin hangi ihtimalle ne yapacağıdır.

Olasılıklar üzerine kurulu gözükten bu yorum, *dalga fonksiyonu* adı verilen ki metinde sistemin taşıdığı *bilgi* anlamına gelecek hatta kısaca *bilgi* olarak kullanılacak bir yazılımla çalışmaktadır. Bu *bilgi*, bize cismin ne zaman, nerede, nasıl hareket edeceğinin olasılığını verir. Günlük hayatımızla *bilgi* arasında bir benzerlik kuracak olursak, bir kişinin işe A ve B diye iki farklı yoldan gidebildiğini ve toplamda kaç kere A ve B yollarını seçtiğini hesapladığımızı (bu durumda A ve B'den gitme olasılıklarını biliriz diyelim ki bunlar sırasıyla yüzde 30 ve 70 olsun) düşünelim. Kişi yarın hangi yolu kullanacağını bize sorduğunda *bilgimize* göre şunu söyleriz; yüzde otuz A, yüzde yetmiş B yolunu kullanacaksın. Bugünden bakarak ne A yolu ne de B yolu için bir kesinlik yoktur. Bir başka deyişle A ve B yolları birbiri üstüne binmiştir.

Klasik mekanik görüşüyle bu durumu ifade etmeye çalışsaydık nasıl açıklardık? A yolunu izleyen ve her gün işe gittiğini bildiğim bir kişiyi gördüysem şunu söylerdim: bu kişi yarın aynı saatte işine yine buradan gider. Çünkü kişinin hareketi periyodiktir ve klasik mekanik yasalarına göre de cismin hareketinin anlık *bilgisi* bizim, bırakın onun yarınını, on yıl önceki hareket *bilgisini* bile bilme-

mize yardımcı olacaktır. Bu anlamıyla klasik mekanik deterministtir. Ne var ki yarın öbür gün aynı kişiyi izlemeye devam ettiğimizde, kişinin A yolundan gitmediğini görebiliriz. Klasik mekanik, kişinin sadece A yolundan gittiğini kabul ettiği için, bu durumda ya kişimiz ölmüştür ya da klasik mekanik. Toprakları bol olsun.

Bilgi işletimcimizin, klasik mekaniğin iyice saçmaladığı bu duruma getirmiş olduğu yorum kanımca daha anlamlı hale gelmiştir. Peki diyelim, yarın aynı kişiyi A yolunda gördüğümüzde ya da görmediğimizde ne olacak? Bu durumda bizim *bilgimiz* çökecek ki bunu istiyorduk, yani ölçüm yaptığımızda belirsizliğin ortadan kalkmasını istiyorduk. *Bilginin* çökmesi, Kopenhag Yorumu'nun önemli özelliklerinden birisidir. Öğrenebileceğiniz, çökmenin sonunda elinizde kalandır. Çökmenin sebebiyse sistemi ölçmemizdir.

Kuantum mekaniğinin Kopenhag Yorumu'nu toparlayacak olursak; yaptığımız bütün ölçümler ölçüm esnasında ölçmeden etkilenecektir. Bu anlamda, bir sistemin durumu önceden belirlenemez. Hareketin, bir ölçümle hem momentum hem de konum değişimi tam olarak ölçülemez. Bu ölçümdeki hassasiyet çok küçük bir sayı olan Planck sabitinden büyük olmak zorundadır. Ölçüm yaptığımız her sistemin parçası oluruz. Ölçümünden önce *bilgimiz* vardır, neyin hangi olasılıkla gerçekleştiğini kestiririz.

Kopenhag Yorumu'na göre kuantum yasaları bütün evrende geçerlidir. Yalnız, ışıktan etkilendiğini daha rahat gözlemlediğimiz maddeler elektron gibi atom altı parçacıklar olduğundan, klasik mekanik yasaları gündelik yaşamdan atoma kadar geçerlidir. Şu an elimizdeki en geçerli fizik kuramının (Kuantum Elektro Dinamiği) ustala-

rından Richard Feynman'a göre kuantum mekaniği; madenin, tüm ayrıntılarıyla, davranışının ve atomik ölçüde olup bitenlerin bir betimidir. Usta, Belirsizlik İlkesi'nin, kuantum mekaniğinin Kopenhag Yorumunu koruduğunu düşünüyor. *Altı Kolay Ders* kitabında bu durumla ilgili olarak Heisenberg, momentum ve konumu aynı anda daha büyük bir doğrulukla ölçmek olanaklı olsaydı kuantum mekaniğinin çökebileceğinin farkında olurdu, diyor. Onun için bunun olanaksız olduğunu öne sürdü. Sonra insanlar oturup bunu yapmanın yollarını bulup çıkarmaya çalıştılar ve hiç kimse herhangi bir şeyin momentumuyla konumunu daha büyük bir doğrulukla ölçmek için bir çare bulmayı başaramadı. Kuantum mekaniği, tehlikesini içinde barındırıyor ama kuantum mekaniğinin varlığı kesin.

Bu Belirsizlik İlkesi etrafında toplanan fizikçilerin Kopenhag Yorumu diye başlayan bir makaleleri yoktur. Bu isim zamanla bilim dünyasında yer etmiştir. Bütün belirsizlikleri bir potada eritmesi ve yeni düşünme yöntemlerini dikkate almaması nedenleriyle de muhafazakâr bulunan bu yorum, Ortodoks yorum olarak da bilinmektedir. Varsayımsal ilkelerinin kolay anlaşılır olması ve diğer yorumlardan daha yaygın olması nedeniyle üniversitelerde bu yorum genellikle *Kuantum Mekaniği* olarak okutulmaktadır. Diğer yorumlar, açılımlar yok sayılmaktadır. En azından lisans ve yüksek lisans seviyelerinde yok sayılmaktadır.

Bölümün sonuna gelmişken, Kopenhag Yorumunun doğa anlayışına sunduğu anahtarı en kaba haliyle toparlayalım. Işık aynaya hep aynı şekilde gelip çoğu kez yansırken bazen de ayna tarafından soğuruluyor. Klasik mekanikçiler bu ayna karşısında darmaduman oldular.

Kopenhagcılar, Belirsizlik İlkesi'ne dayanarak bu içinden çıkılması imkânsız sorunun üstünden atlayıp bir *bilgi* yazılımıyla daha sonraki sorulara mükemmel cevaplar verdiler. Kopenhagcıların takım kaptanı Niels Bohr, bu durumu *Ölçmediğimiz şey, hiçbir şeydir* diye meşrulaştırdı. Işığın neden yansıyıp neden yansımadığını merak etmiyorsanız, bu yorum gayet başarılıdır. Ama illa daha açık futboldan yanaysanız ve *Benim derdim gerçek nedir?* diye sorarsanız, Kopenhagspor'u desteklemeyin. 1-0 olsun, bizim olsun takımıdır Kopenhagspor.

İkinci Bölüm: Harbispor

Bu bölümde, kalesinde Heisenberg, defansta Broglie, Pauli orta sahada Dirac gibi genç yıldızlarla dolu ve forvetinde Danimarka milli futbol takımında da oynamış Bohr'un kaptanlığını yaptığı Kopenhagspor'a goller atmanın yolunu arayanların onurlu mücadelesini inceleyeceğiz. Görece daha yaşlı bir kadroya sahip bu takımın kalesini yılların eskitemediği, Kedi lakaplı kaleci Schrödinger korurken, takımda orta sahanın bütün yükünü emektar Albert çekmekteydi. Paf takımdan as takıma yeni katılan Rosen ve Podolsky'yle taze kan ihtiyacını karşılıyordu.

Ölüme Terk Edilen Kedi

Kopenhag yorumuna karşı olanların ortak noktaları, ilk bölümün sonundaki *gerçeklikle* kafayı bozmuş olmalarıydı. Mesela kalecimiz Schrödinger, ilk bölümdeki *bilgi*yle kuantum mekaniğinin hareket denklemini yazmıştı. Buna rağmen, kendince gerçeği aramaya devam etmekteydi. Bu arayış, ünlü Schrödinger'in Kedisi paradoksunun ortaya çıkmasına neden oldu.

Ünlü kedi paradoksunun fikri gayet basittir. *Schrödinger'in Kedisinin Peşinde* kitabında John Gribbin'in aktardığı gibi aktarırsak; içini göremediğimiz bir kutunun içerisinde radyoaktif bir kaynak, radyoaktif bozunmayı kaydeden bir cihaz, siyanür gibi bir zehir taşıyan cam şişe ve canlı bir kedi hayal etmemiz gerekiyor. Kutu öyle düzenlenmiş olsun ki, tesadüfen ışıma yapan kaynak yüzde elli ihtimalle bozunacak kadar açık durur. Eğer kayıt cihazı bozunma kaydederse, cihazın ucuna bağlı bir çekiç camı kırar ve kedi siyanürü teneffüs ederek ölür. Aksi takdirde kedi yaşar. Bizimse kutuyu açmadan kedinin yaşayıp yaşamadığını bilme imkânımız yoktur. Kopenhag Yorumuna göre kedinin sağlık durumu için söyleneceklerin, Çift Yarı Deneyi'ndeki dalga ve parçacık için ya da bizim işgiden kişi örneğimizdeki A ve B yollarının tercihi için söyleneceklerden farklı bir yanı yoktur. *Gerçek* olan bizim *bilgimizdir*. Ölçüm yapana kadar içeride yüzde elli ölü yüzde elli canlı bir kedi ikamet etmektedir. Canlı ve ölü kedi, kapalı kutuda üst üste binmiştir. Ölçüm yaptığımızda, yani kapağı açtığımızda *bilgimiz* çöker.

Elektronun yarı dalga yarı parçacık olduğunu kabullenmek zordu, ama kedinin hem canlı hem cansız olduğunu düşünmek daha da zor. Kedinin aynı anda canlı ve ölü olduğunu söyleyen, 1935 yılında ortaya atılmış bu paradoks, *gerçek* ile Kuantum Mekanikinin arasındaki farkı göstermeye çalıştı. Hâlâ çözüme kavuşmamış bu paradoks, gözlem yapan kişinin kutuya müdahale etmeden içeride ne olup bittiğini öğrenip öğrenemeyeceğinin araştırıldığı yeni bir sorunsal alan açmıştır.

Einstein, Schrödinger'in aksine Belirsizlik İlkesi'nin akla uygunluğunu sorgulamamıştır. Belirsizliği ortadan

kaldırarak, tek bir ölçümle sistemin hem momentum hem de konumunu ölçebilecek bir ölçüm sistemi bulmanın çabasıdır, Albert.

Tart da Göreyim

İki farklı düşünce deneyiyle Belirsizlik İlkesi'ni çökertmeye çalışan Albert'ın ilk deneyi *kutudaki saat* deneyidir. Daha önceden ağırlığı ölçülmüş, içinde sadece bir saat ve ışık tanecikleri (*foton*) bulunan kapaklı bir kutu düşünelim. Belli bir saatte kutuyu açıp kapatalım. Ve sonra kutunun ağırlığını tekrar ölçelim. Bu şekilde kutudan çıkan ışık kütlesini ölçmüş oluruz, kütle de enerjiyle aynı anlamı taşıdığından sistemin bir anda hem enerji hem de zaman değişimini ölçebiliriz. Bu ölçümün Belirsizlik İlkesi'yle ne alakası var diye soranlara açıklamak gerekirse; Belirsizlik İlkesi'nde momentum ve konum değişimlerini kullanmıştık, aynı ilke enerji ve zaman ikilisiyle de ifade edilebilmektedir. Bu ifadenin gösterimi zor değil, basit bir boyut analiziyle (çarpma bölmeyle) anlaşılır ama metni boğacağından gösterimi yapmadım.

Bohr, Einstein'ın deney düzeneğindeki ölçümün geçerli olamayacağını iddia etti. Haklıydı, çünkü kütlenin ölçülebilmesi için bir çekim alanını ölçebilecek bir yay gerekliydi. Yayın uzaması ölçülerek cismin kütlesi ölçülebilirdi, fakat yayın konumdaki değişikliği ne kadar hassas ölçülürse cismin momentumdaki (hareketindeki) değişimi belirsizleşmeye başlıyordu ve Belirsizlik İlkesi işlemeye devam ediyordu.

Arkadaşım Nerede?

Einstein inatçıydı ve John Gribbin'in dediği gibi *dürist adamdı, makul deneysel kanıtları kabul etmeye her zaman için hazırды*. Kutudaki saat deneyindeki yanlışı gördü.

Kutudan ümidini kesti ve 1935 yılında yeni bir düşünce deneyiyle karşımıza çıktı: EPR, Einstein, Podolsky, Rosen Paradoksu. Üç kafadar fizikçi *Fiziksel gerçekliğin Kuantum mekaniksel tarifi tamamlanmış sayılabilir mi?* adlı makalelerinde, Kopenhag Yorumunun belirsizlikten ötesini algılamadaki yetersizliğini göstermeye çalışmıştır.

Bu orta saha üçlüsü makalelerinde, ölçülene kadar birbirleri dışında hiçbir şeyle etkileşime geçmeyen iki parçacık hayal etmişti. Biz daha anlaşılır olsun diye parçacıklar yerine aynı kiloda iki patenci Hale ve Jale'yi buz zeminde, birbirlerine sarılmış şekilde gözümüzün önüne getirelim. Bulundukları yere sıfır noktası diyelim. Durgun patencilerin toplam momentumları, hızları sıfır olduğundan sıfırdır. Hale Jale'yi itsin, bu durumda patencilerimizin biri ileri doğru giderken diğeryse Newton'un etki tepki prensibi uyarınca geri doğru gidecektir. Hareketleri boyunca birbirlerine göre zıt konum ve hızlara sahip olan Hale ve Jale'nin toplam momentumları ve kütle merkezleri başlangıçtaki değerlerini korur ve sıfırdır.

Üstteki paragrafın ışığında ve Belirsizlik İlkesi'nin de karşı gelmediği şekilde; Hale'nin momentumunu ölçtüğümüzde, Jale'nin o anki momentumunu da ölçmüş olduğumuzu ve aynı şeyi konumlar için de yapabileceğimizi söyleyebiliriz. Belirsizlik İlkesi'ne göre Hale'nin momentumunu ya da konumunu ölçtüğümüzde onunla etkileşime geçeriz ve Hale'nin ölçtüğümüz bilgisini bozarız. Bu şekilde Jale'nin de fiziksel ölçümünün belirsizliğini ölçmüş oluruz. Bir başka bir deyişle, Hale'yle etkileşime geçip Jale'nin momentumu ya da konumuyla ilgili bir *bilgiye* sahip olduk. Üçlümüze göre, Jale'yle etkileşime geçmeden onun *bilgisine* sahip olmakta, ölçüm yapmadan yani etki-

leşime geçmeden Jale'yi etkilemekteyiz. *Kızım sana söylüyorum, gelinim sen anla* hesabı. Bu etki, nedenselliğe aykırıydı. *Uzaktan etki* adıyla kavramlaştırılan bir iletişimle bu etkinin açıklanmasına üçlümüz karşıydı.

Akla yatkın olmayan *etkileşmeden etkileşimde olma*, nedenselliği içermediğinden Kopenhag Yorumunun *fiziksel gerçeklik vurgusunun eksikliğine* vurgu yapmaktaydı. Kopenhagsporlular, Jale'nin fiziksel *bilgisini* ölçene kadar, bunun nesnel bir anlam taşıyıp taşımadığına kafa yormadan gayet mutluydular. Bohr ve arkadaşları açısından; gerçeklik, kuantum dünyasında günlük anlamını kaybediyor. Bu Kopenhag Yorumu, fizikçilerin büyük bir kısmı tarafından desteklenir. Buna karşın, Einstein ve Schrödinger'in başını çektiği, görece daha az kişinin savunduğu bakış açısından; kuramın geçerliliği *gerçekliğe* bağlılığına tabidir.

EPR paradoksu, Einstein ve Bohr arasında yıllarca mektuplaşmalarla tartışıldı. Einstein hayattayken sonuçlanamayan bu tartışma, aksi adam öldükten birkaç yıl sonra sonuçlandı. Bohr, tartışmayı kazandı. Einstein, nesnel deneysel sonucu göremedi. Görebilseydi kabulleneceğini söylüyor John Gribbin.

Amma velâkin, Kopenhag yorumunun *fiziksel gerçeklik* üzerinde eksikliğinin olduğunu düşünen, belirsizliği ortadan kaldırılabilecek çalışmalar hâlâ devam etmekte. Kuantum mekaniğinin sadece atom altı dünyada hâkim kılınamayacağını düşünüyorum. Bilebilmenin sınırlanamayacağını hissediyorum.

Kaynakça Tadında Paragraf

Yazıyı yazarken John Gribbin'in müthiş iki kitabından, *Schrödinger'in Kedisi'nin Peşinde* ve *Schrödinger'in Yav-*

ru Kedileri'nden (Metis Yayınları), özellikle yazının ikinci bölümündeki paradoksları açıklarken çok yardım aldım. İlk bölümü yazarken de Yılmaz Öner ve Heisenberg'in *Fizik ve Felsefe* (Belge Yayınları) kitabı ve Çift Yarıık Deneyi için her zaman olduğu gibi ustamız Richard Feynman'ın kitapları, *Altı Kolay Ders* (Evrin Yayınları) ve *Fizik Yasaları Üzerine* (Tübitak) ilaç gibi geldi. Kanımca, bu kitapları okumak herkes için faydalıdır. Bazı yerler anlaşılamayabilir. Öyle durumlarda paniğe kapılmayın. Kendinizi kötü hissetmeyin. Aktarıcı konuyu iyi kavrayamamıştır diye düşünün. *Siz ancak rüyanızda görürsünüz* diyenlere inat, bırakın kitabı, uyuyun. Demlenme algıyı yalınlaştırır. Uyku, belki de anlamamıza yol açar. Kim bilir?

NE PARÇACIKMIŞ!

Temmuz 2012’de aranan parçacık Higgs Bozonu nihayet gözlemlendi. Yapbozun son parçasının da bulunmasıyla Standart Model (SM) adı verilen ve kütle çekimi dışındaki diğer tüm etkileşimleri kuramsal açıdan açıklayan yapı, deneysel olarak da kendini doğrulamış oldu. Arşimet’in sıvıların kaldırma kuvvetini bulurken olduğu gibi bir hamam sefasında bulunmayan Higgs Bozon’u, İsviçre-Fransa sınırında kurulu Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi Cern’de gözlemlendi. Kırk yıldır aranan azılı parçacığa adını veren Peter Higgs’in gözyaşlarına boğulduğunu dünya televizyonları canlı yayınladı. Memleketteyse, Cern ve dolayısıyla aranan parçacık, özellikle konu üzerine araştırma yapan sevgili hocam Engin Arık ve çalışma arkadaşlarının hayatlarına mal olan kazadan beri medyada daha fazla yer almaya başlamıştı. Şimdi “Ne bulundu? Ne işimize yarayacak? Hayatımızda neler değişecek?” vb. sorular gündemimizi meşgul etmekte.

SM'nin son parçasının ne olduğunu anlamanın yanı sıra anlatmanın da pek kolay olmadığı ortada. Bu anlamama halinin, SM'nin içerdiği kavramların sayıca çok olması ve bunların gündelik dilimizde pek de yerinin olmamasından kaynaklandığını düşünüyorum. Adı pek hoşuma gitmese de popüler bilimin bu topraklarda gelişmemişiği, bu kavramlara olan yabancılığın nedeni olabilir.

Konuya birazcık ısınabilmek için SM gibi, yine bir fiziksel tahayyülü, Bohr Atom Modelini incelemeyi bu yazıda önümüze koyalım. Hem bazı temel fiziksel kavramları daha iyi yerine oturtalım hem de Bohr Modeli'nin neyi nasıl anlattığını, hangi derde çare olduğunu açıklayalım. Bu sayede, bu kavramlarla önceden oluşturulmuş tahayyülü, Periyodik Tablo'yu ve kaba hatlarıyla atomik ölçekte kuantum mekaniğinin neyi anlattığını anlayabileceğiz. Ve bunların hayatımıza neler kattığına bakabileceğiz.

Bohr Atomu

Fizikçiliğinin yanı sıra 1920 olimpiyatlarında futbol oynamasıyla da meşhur olan Neils Bohr yaklaşık yüz sene önce basit ve anlaşılır bir atom tarifinde bulundu. Bohr'a göre atomun merkezinde (çekirdeğinde) protonlar (artı yükler) ve nötronlar (yüksüz bir parçacık) atomun etrafındaysa elektronlar (eksi yükler) bulunmaktaydı. Güneş Sistemi'ne benzettiğimiz bu varsayımda, çekirdekteki proton ve nötronları Güneş ve etrafta dolaşan elektronları da Dünya gibi düşünebiliriz. Ayrıca bu düşünce Bohr'un atom düşüncesindeki ilk belitidir (aksiyom) ve bu beliti Newton'un meşhur $F=ma$ denkliğiyle gösterebiliriz. Buradaki proton ve elektron arasındaki elektriksel kuvvet ve ivme sırasıyla şu şekildedir:

$$F_e = k \left(\frac{q_p \times q_e}{R^2} \right)$$

$$a = \frac{V^2}{R}$$

Ayrıca k , evrensel elektrik çekim sabiti¹, q_p ve q_e ise elektron ve protonun yükleri ve R de atomun yarıçapıdır. Sadece görsel olarak Güneş Sistemi'ne benzemekle kalmayan atom sistemi matematiksel olarak da Güneş-Dünya ikilisiyle aynı biçimdedir. Ve bu noktaya kadar her şey Klasik Mekanik görüşüyle uyumludur.

İkinci belit Klasik Mekanik ile ayrılmaya başlar. Burada Bohr'un ikinci belitle ilgili karışık bir açıklaması var. Ayrılmayı anlamak için bu açıklama yerine 1924'de Louis de Broglie'nin dalga-parçacık ikilemine getirdiği yorumu kullanalım. Broglie'ye göre, ayrılmış her enerji seviyesine tekabül eden bir dalga ve bu dalganın bir de boyu (λ) olmalıdır. Matematiksel olarak gösterdiğimizde

$$n\lambda = 2\pi R_n$$

olacaktır. Buradaki her n enerji seviyesi, R_n de bu enerji seviyelerine tekabül eden yarıçap uzunluklarıdır. Planck'ın enerji ayrışmasıyla uyumlu bu düşünceyle, elektronların çekirdeğe göre nasıl bir mevzilenme aldıklarını da resmedebiliriz. Bir başka deyişle, bu enerji değerleri de ancak ve ancak atom çekirdeğinden belli uzaklıklarda bulanabildi. Durgun suya düşen bir taşın ürettiği dalgaların belli aralıklarda tepe yapması, bu enerji ayrışmasının en

¹ Bu isimlendirme yanlıştır. Aslında k , $1/4\pi\epsilon_0$ dur. Burada ϵ_0 , evrensel geçirgenlik sabitidir ve değeri 10^{-12} 'dir. k ise ϵ_0 'dan uydurma bir sabittir. Bu gerçek, dipnotlara önem veren okurun hakkıdır!

güzel örneklerindendir. Toparlayacak olursak, Bohr atom için bize, (i) merkezde proton ve nötronların, etrafta dolaşan elektronların olduğunu, (ii) dolaşan elektronların gelişigüzel her yere dağılmadıklarını, belli yörüngelerde turladıklarını söyledi.

Bir Ara Paragraf

Eğer Klasik Mekanik yasalarıyla ikinci belite baksaydık şöyle bir sonuca varacaktık: Elektronların çoğu çekirdeğe yakın şekilde hareket etmelidir. Hatta bu tür bir hareket, çekirdeğe çok çok yakın elektronlarla protonların elektriksel çekimlerinden ötürü birleşecektir, diyecektik. Boşluksuz bir evrene sahip olacaktık. Ve dolayısıyla da bildiğimiz hiçbir şey bildiğimiz gibi olmayacaktı. Böyle bir düşünce, güzel bir bilimkurgu romanına konu olabilir. Hayatlarını doğaya Klasik Mekanik yasalarıyla bakmaya adanmış insanların, atomik ölçütlere yaklaştıkça düşüncelerinin yanlışlandığını görünce hissettikleri ağır olsa gerek.

Yeniden Bohr

Kaba hatlarıyla² belirttiğimiz Bohr Atom Modeli, hidrojen³ atomu için tam sonuç vermektedir. Yani deneyle kuram tamamen uyuşmaktadır. Atom sayısı hidrojenden, yani birden fazla atomlar içinse kuram tam sonuçları vermemektedir. Ne var ki, Bohr Atom Modeli'nin asıl başarısı, atom sayılarına göre elementlerin enerji değerlerinin

2 "Kaba" kelimesinden kasıt, elektronun yörüngesinin çember olmaması, elektronun bizim burada tanımlamadığımız "spin" diye bir şeye sahip olması vb. şeyleri göz ardı etmemizdir. Burada sadece ana hatlarıyla atom modeline bakıyoruz.

3 Burada hidrojenin atom sayısının bir olması ve nötronun bulunmaması bu sonucu doğurur.

bulunmasında ve hangi enerji seviyesinde kaç tane elektronun bulunacağını vermesinde yatar. Bu modele göre, birinci enerji seviyesinde 2, ikinci enerji seviyesinde 8, üçüncü enerji seviyesinde 18, dördüncü enerji seviyesinde 32 elektron bulunmaktadır. Genel bir formülle her bir enerji katmanında bulunabilecek elektron sayısını şu şekilde yazabiliriz: $2n^2$

Periyodik Tablo

Mendelyev'in 1869'da oluşturduğu periyodik tablo, elementlerin atom sayılarını o dönemki bilinen kimyasal özelliklerine göre sıralamaktadır. Periyodik tablo kabaca⁴, bir elementin hangi tür elementlerle nasıl bir etkileşimde bulunacağını, elektriksel iletkenliğin hangi elementlerde olacağını göstermektedir. Bohr Atom Modeli'yle periyodik cetveli açıklamaya kalkıştığımızda tablonun satırları, enerji seviyelerini göstermektedir. Yine bu satırların sonunda en fazla elektrona sahip elementin elektron sayısı da Bohr'un belirttiği gibi $2n^2$ bağıntısıyla tam olarak uyuşmaktadır. Böylece kimyanın bütün kuramsal arka planı sağlamlaşmıştır. Bir başka deyişle Kuantum Mekaniği moleküler boyutta da kendini başarıyla sınamıştır.

Peki Bunlar Ne İşimize Yaradı?

Elektron, proton ve nötronların hangi şartlarda nasıl davranışlar sergilediğinin daha anlaşılır hale gelmesi, onları bir bakıma daha iyi tanıma, bu temel parçacıklara uygun yeni fikirlerin ortaya atılmasına yol açtı. İletişim açısından, duman ve posta güvercinini eski sayarsak, telgraf ve telefonun 19. yüzyılın tamamına ve 20. yüzyılın ilk

⁴ Periyodik tablonun ayrıntılarına girmek en az birkaç yazı gerektirir.

yarısına damga vurduğunu söyleyebiliriz. Hatta istihbaratçılığıyla bilinen İttihatçılar, II. Abdülhamit tarafından Avrupa'ya telgrafı öğrenmek için gönderilmişlerdir. Ayrıca 1861 yılında ilk telgrafçılık okulu Gülhane parkının karşısına açılmıştır. Herhalde şimdi Çağlayan'a taşınan Çocuk Mahkemesi'nin eski yerindeydi.

Elektronun keşfi ve onun davranışına olan hakimiyetle birlikte bilginin dolaşım zamanının neredeyse sıfırlandığını söyleyebiliriz. 20. yüzyılın ortalarından itibaren yaşamın her alanında bir elektronikleşme etkisi görülmüştür. Eski muadillerine göre aşırı hızlı elektronik aletler, dünyanın toplumsallığını değiştirme ve ona yön vermede büyük bir alet çantasıdır.

Atoma bu derece hakim olmak insanlığı 20. yüzyılda büyük bir nükleer silah ve enerji belasının içine soktu. Japonya'ya nükleer silahlar atıldı. Toprak hâlâ kendine gelemedi. Karadeniz'in kuzeyinde santral patladı. Burada kanser aldı yürüdü.

Sonuç olarak, atomu daha iyi tanımamız başımıza iyi kötü birçok şey getirdi. Nasıl ki Boğaz Köprüsü'nden atlayan birinin ölmesi yüzünden yerçekimi yasasını ve dolayısıyla Newton'u, trafik kazaları için tekerleği keşfedenleri suçlayamayacaksak; Bohr, Einstein ve diğerlerini de atomu bu kadar anladıkları için suçlayamayız. Bakmamız gereken, böyle bir emeğin nasıl kullanıldığıdır.

MEŞHUR HIGGS BOZONU

Meşhur Higgs Bozonu'nu aradığımız ve dolayısıyla Standart Model'i (SM) anlamaya çalıştığımız bu ikinci yazıda, önce kısaca hangi kuramsal gelişmenin böyle bir model kurulmasına yol açtığından ve bazı temel fiziksel kavramlardan bahsedeceğiz. Daha sonraysa SM'nin ve onun son parçası Higgs Bozonu'nun ne olduğundan ve hayatımıza ne gibi etkileri olacağından bahsedeceğiz.

$x^2=4$ ise $x=?$

Ara başlıktaki soru, matematiksel açıdan doğru bir soru değildir. Çünkü x 'in hangi sayı kümesinde olduğu soruda verilmemiştir. Mesela doğal sayılar kümesine göre çözüm $x=2$ iken, gerçel sayılar kümesine göreyse çözüm $x=\{2,-2\}$ olur.

Kuantum mekaniğinde yukarıdaki denklem sistemi gibi bir ana denklemimiz mevcuttur. Bu denklem, Schrödinger denklemidir:

$$H\psi = E_n\psi$$

Denklemdaki H , sistemdeki enerji işletimcisini, ψ sistemin dalga fonksiyonunu ve E_n de her bir n 'inci seviye için sistemin enerji değerlerini ifade etmektedir. Bu denklemin çözümü (ψ) bize, sistemin bütün bilgisini içeren dalga fonksiyonunu vermektedir. Bu şekilde sistemin ne olasılıklarla nerelerde ve hangi enerjilerde olup olmadığını gözler önüne serebilmekteyiz. Kuantum salıngacı, sonsuz potansiyelli kutu vb. sistemler için tam sonuçlar veren Schrödinger denklemi, sistemler karmaşıklılaştıkça sistemleri çözmekte pek işimize yaramaz. Böyle durumlar için güzel çıkış yöntemleri de var ama biz onlarla ilgilenmeyeceğiz.¹

Kafadan Parçacık Üretme

$x^2=4$ denkleminde olduğu gibi yapacağımız şey, Schrödinger denkleminin çözümüne farklı bir tanım kümesinde bakmaktır. Bu bakışı atmış biri var. O, belki de geçen asrın en büyük dahisiydi: Paul Dirac. 18. yüzyılda Newton, 19. yüzyılda Maxwell ve 20. yüzyılda Dirac, Britanya'da yetişen çok büyük fizikçilerdir.

Paul Dirac, Schrödinger denklemini, Einstein'ın Özel Görelilik Kuramını içeren bir şekilde, yani zamanı da hareketlinin uzay-zaman fonksiyonuna dahil edip çözerek kurama yeni bir soluk, renk kattı. Yeni çözümler, tıpkı $x^2=4$ denkleminin çözümlerinde olduğu gibi, tanım kümesinin değişiminden nasibini aldı ve Dirac'ı farklı sonuçlara götürdü. Çıkan sonuçlara göre Dirac, örneğin

¹ Budurumları için Pertürbasyon Kuramına başvurulur. Pertürbasyon kuramı, tam olarak çözümlenemeyen bir problemin, bu probleme bağlı başka bir problemten yola çıkılarak yaklaşık bir çözüm elde etmek için matematiksel yöntemler içeren kuramdır. Kaynak wikipedia.

elektron için çözdüğümüz bir soruda, karşımıza elektronun yanı sıra elektron kütleğinde, fakat elektronun tersine artı yüklü ve yine elektronla ters dönüş (spin) sahip bir çözümün çıktığını fark etti. Ve bu yeni parçacığa *karşı elektron*, diğer bir adla *positron* dendi. Böylece bu türden görelî çözümlerle karşı parçacıkların oluşabileceğini düşünen Dirac ve diğer fizikçiler, kuramsal olarak yeni temel parçacıkları kağıt üzerinde üretmeye koyuldular. Çok da başarılı oldular. Bu süreçte bu tür parçacıkları seçebilecek deneylerle de desteklenen çalışmalar sonucunda parçacık fiziğinde yeni bir sayfa açılmış oldu. Görelilikle iç içe geçen bu kuantum mekaniğine göre temel parçacıkların ve hatta daha büyük moleküllerin bir arada bulunamayacakları bir karşıt maddelerinin olduğu fikri ortaya atıldı. Fikri sınavan ölçümler de bu fikirler doğrultusunda sonuçlar verdi.

Birbirini yok edebilen iki parçacığın düşünüldüğü bu türden ikililerin varlığının yanı sıra, yine 1930'lu yıllarda, atom çekirdeğindeki proton ve nötronların da temel parçacıkların birer çeşitlemesinden oluştukları hem kuramsal hem deneysel olarak ortaya kondu. Ek olarak, elektron gibi yeni temel parçacıklar ve bunların karşıt parçacıkları da birer birer bulundu. Bu bilgiler ışığında temel parçacıklarla yeni bir model oluşturuldu: Standart Model.

Parçacık Tablosu

SM'ye göre tablonun ilk üç sütunundaki parçacıklar karşı simetriye sahiptir. Yani bu parçacıkları kendi karşı parçacıklarıyla bir arada tutamazsınız. Ayrıca yine bu üç sütundaki ilk iki satırdaki parçacıklara güçlü nükleer

Maddenin üç nesli (Fermionlar)

	I	II	III	
kütle→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
yük→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
isim→	u yukan	c tılsım	t üst	γ foton
Kuarklar	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d aşağı	s garip	b alt	g gluon
Leptonlar	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e elektron nötrino	ν_μ muon nötrino	ν_τ tau nötrino	Z ⁰
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elektron	μ muon	τ tau	W [±]
				Bozonlar (Kuvvetler)

Kaynak: Wikipedia

çekim kuvvetlerini oluşturan kuark ailesi denilmektedir. Bu ailedeki kuarkların hiçbiri tek başlarına var olamazlar. Güçlü çekirdeksel kuvvetler oluşturdıklarından, ancak bir kuark çeşnisi halinde dengededirler. Kuark ailesinin üyeleri, karşı parçacıklarıyla birlikte: alt-üst, garip-tılsımlı ve aşağı-yukarıdır.

Bu kuark ailesinin, en kararlı yapılarından ikisi, yani en uzun zamanda şekil şemali kaybolanları, atom çekirdeğindeki protonlar ve nötronlardır. Proton, iki yukarı ve bir aşağı kuarkın bileşimiyken, nötron ise bir yukarı iki aşağı kuarkın

bileşiminden oluşmaktadır. Bu bileşimlerdeki yukarı yerine $+2/3$ ve aşağı yerine de $-1/3$ koyarak, proton ve nötronun yük miktarlarını da hesaplayabilmekteyiz. Protonun yükü, $2 \times 2/3 - 1/3 = 1$ ve nötronun yükü de, $2/3 - 2 \times 1/3 = 0$ 'dır. Böylece, proton ve nötronu da temel parçacıklarla gösterdik.

Yine kuark ailesi gibi (kuark kelimesinin bizdeki karşılığı "lor peyniri" gibi bir şey) alttaki iki satırda Leptonlar ailesi vardır. Bu parçacıklar da elektron, müon, tau ve bunların karşı parçacıklarından oluşmaktadır. Leptonların, zayıf çekirdeksele etkileşimlerden sorumlu olduğunun söyleyebiliriz. Hem leptonlar hem de kuarklar açısından ortak olan, karşı simetriye sahip olmalarıdır. Mesela, bu karşı simetri yüzünden iki elektron aynı halde bulunamazlar. Bu duruma, Pauli'nin Dışarlama İlkesi de denir. Ek olarak da bu karşı simetriye sahip 12 parçacığa aynı zamanda Fermiyon denmektedir. İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin adından gelmekte olan bu parçacıklar, Fermi ve Dirac'ın istatistik yasalarına uymaktadır.

Tablomuzun dördüncü sütunuysa düzgün simetriye sahip parçacıkları bünyesinde barındırmaktadır. Bu tanecekler fotonlar, gluonlar, W ve Z bozonlarıdır. Bozon, düzgün simetriye sahip, bir arada aynı halde durabilen parçacıklara denmektedir. Kelimeye Bozon denilmesinin nedeniyse, Bose- Einstein istatistik yasalarına uygun parçacıklar olmalarıdır. Yani, Bozon Bose'dan gelmekte. Bu bozonlarda, fotonlar ve gluonlar kütsüz parçacıklarken, W ve Z ise yüksek enerjilere sahiptir.

Bu tablodaki 16 parçacığı kullanarak, kütle çekimi dışındaki tüm fiziksel durumların, bir başka deyişle elektiriksel Coulomb kuvvetlerinin ve zayıf ve güçlü nükleer (çekirdeksele) itme çekme kuvvetlerinin şeceresi bir yere kadar

dökülebilir. Bu şecerede geçmişe, evren oluşumuna kadar gidemesek de o zamana saniyenin çok çok altında yaklaşılabiliyoruz. Daha fazlası, ne kuantum mekaniğince izinli ne de bu mekanikten türeyen Standart Model'in denklemlerindeki matematiksel simetriden dolayı, tanımlıdır.

Buradaki tanımsızlığı basit bir fonksiyonla gösterebiliriz. Fonksiyonumuz $1/(x-2)$ olsun. Bu fonksiyonda x yerine sayılar koyarak bu fonksiyonun değerlerini bulabiliriz. Yalnız $x=2$ değeri için fonksiyonumuz $1/0$ olur ve değeri belirlenemez. Bu sebepten fonksiyonun tanım kümesine 2'yi dahil etmeyiz. Evren oluşumunun ilk zamanları da, bizim fonksiyonumuzdaki 2 noktası gibi, anlamsız bir noktaya dönüşür. Bu türden noktalara evrende tekil noktalar denir. Evren oluşumu dışında da bu tekillik noktaları evrende mevcuttur ve bu tekilliklerde fizik yasaları geçerliliğini yitirmektedir. Aslında buradaki durum kuantum mekaniğindeki belirsizlik ilkesinin bir sonucudur. Belirsizlik ilkesine göre, bir parçacığın konumu ve hızını tek ölçümle tam olarak ölçemeyiz. Yine bu durumla ilgili güzel bir örnek dönen bir cd'nin merkezinin dönüp dönmediği sorusudur. O noktayla ilgili pek bir şey söyleyemeyiz. Ama bir etrafından başlayarak, tüm fizik yasalarımızı çalıştırabiliriz.² Acaba merkezde ne olmaktadır?

Başkaları da Var

Bu parçacıkların bize anlatabilecekleri sadece evrenin var oluşu da değildir. Dirac gibi bir başka dahi olan Feynman'ın *Kedi:Tuhaf Bir Kuram*³ kitabında bu durum

2 Böyle tekil durumlar için işleri bozmayacak, Dirac Delta fonksiyonu gibi matematiksel düzenbazlıklar mevcuttur.

3 Pan yayınları, 1997, çeviri Ömür Akyüz. Bu, Feynmann'ın kitabı okunmalı, okutulmalı, sonra tekrar okunmalı, okutulmalı...

için, yola dökülmüş yağda oluşan renklenmenin, gökkuşağı oluşumunun, bitkilerin yaptıkları fotosentezin, moleküllerin oluşumlarının ve daha bir çok doğa olayının açıklanabileceğini söylemektedir. Gökyüzünün mavi oluşu, çıplak gözle sarı duran güneşin kara bir camın ardından yeşil gözükmesi gibi örneklerle Feynman'a ek yapabiliriz.

Yeniden Modelimize Döndüğümüzde

1960'lı yılların başlarında SM'nin nasıl işleyen bir model olduğu biliniyordu. Hatta bu tablodaki parçacıkların var olduklarını hem kuramsal açıdan düşünen hem de gözlemleyenler bu konuda birçok Nobel vb. ödülün sahibi de olmuşlardı. 60'ların başındaysa yeni bir soru soruldu: Acaba bu tablodaki parçacıkların oluşumunu etkilemiş bir mekanizma ya da parçacık var mı? Sorunun yanıtı, 1964 yılında, üç fizik grubu tarafından birbirlerinden bağımsız şekilde bulundu. İsmet Berkan'ın da 4 Temmuz'da gazetesinde yazdığı gibi, bu üç grubun mensubu ve hâlâ yaşayan altı fizikçi şöyledir: François Englert ve Robert Brout; Peter Higgs; Gerald Guralnik, C. R. Hagen ve Tom Kibble. Ömürleri yeterse bir iki yıl içinde, elli yıl önceki çalışmalarının ödülü olarak büyük ihtimalle de Nobel alacaklar.

Higgs ve Diğerleri Neyi Düşündü?

SM'nin çalışabilmesi için bu parçacıklara bir anlam (fiziksel açıdan buna kütle ya da enerji diyebiliriz) veren bir mekanizmanın olması gerektiği varsayıldı. Buna her yer Higgs bozonuyla dolu ve bu dolu ortamdan geçen temel parçacıklarımız Higgs ile etkileştikleri kadar kütle kazanıyor olmalı ya da bize kütle kazanmış gibi davranmalıdırlar dendi.

Bu Higgs Alanı'nı Peter Higgs'in yaptığı bir benzetmeyle anlatalım. Higgs, bu alanı karla kaplı bir yer ve temel parçacıkları da kar üzerinden kızakla, kar ayakkabısıyla ve günlük ayakkabıyla ilerlemeye çalışan insan olarak düşünmemizi söylüyor. Kızağın hızla karın üzerinden geçeceği ve günlük ayakkabıyla yürüyen insanınsa ağır şekilde ilerleyeceği aşikardır. Bu üç hareketliyi de uzaktan gözlemleyen bir kişi, üç hareketlinin kütleleri için şu yorumu yapacaktı: kızakla kayan hareketli diğer ikisine göre az ve günlük ayakkabısıyla hareket eden de diğerlerine göre fazla kütleye sahiptir. Böyle düşündüğümüzde, Higgs Alanı sanki bizi kandırıyor gibi duruyor. Ama ölçümden aldığımız ve alanın kütlenin oluşumu için söylediği şey, cismin, Higgs Alanı'yla etkileşimi ölçüsünde enerji ya da kütleye sahip olduğudur.

Higgs Bozonu denilen parçacıksa, bu Higgs Alanı'nı dolduran küçük niceliktir (karlı alanını dolduran kar tane-cikleri gibi). Bir başka deyişle de Higgs Alanı'nın ayrıklaşmış (kuantumlanmış) halidir. Bir bakıma, bu ayrıklaşma bu alanın çekili bir fotoğrafıdır. İşte böyle şeyler yaptığı düşünülen ve uzun zamandır aranan kütleleşme eylemine katılan parçacık budur.

Fizik Açısından

Dört temel fiziksel etkileşimden üçünün (güçlü ve zayıf nükleer etkileşimler ve elektromanyetik etkileşme) bir mekanizmayla birlikte açıklanabildiği (SM) deneyle desteklenmiş oldu. Dolayısıyla bir bakıma SM de miladını doldurdu denilebilir. Ama yine de bu düşünce biraz haddini aşıyor. Temel olabilecek varlıklar elli yıldır, hatta ne elli yılı, doğayla birlikte var olan bir olgudur. İnsanlık buna

ancak son birkaç asırdır yaklaştığını zannetmekte ve zihninde bu şekilleri ifade etmektedir.

Fizikçikler için sorular şimdi yeniden şekillenecek. Rota, kütle çekimi ve SM'yi açıklayacak yeni bir kuramdır. Bu doğrultuda çalışmalar yarım asrı aşan süredir devam etmektedir. Hatta ismi bile bellidir: Kuantum Çekimi. Fizik düşüncesi açısından ilginç sayılabilecek bir tarihsel durum: geçen yüzyılın büyük bir kısmında astrofizikçilerle atom fizikçileri çok farklı boyutlarda çalışmalarına rağmen bugün aynı noktaya gelmektedirler. Bu olgu da sanki bazı şeylerin doğru gittiğine işaret gibi duruyor. Ne dersiniz, her şey yanlış olmasın?

İlerideki muhtemel kuramı (Kuantum Çekimi) güçlendirmesinin dışında SM, parçacıkların oluşumuna yönelik yani zamanda evrenin oluşumuna yönelik bir varsayımı güçlendirmekte. SM'ye göre evrende temel parçacık kadar karşı parçacığın da olması gerekmektedir. Bu varsayım, ancak ve ancak Higgs Mekanizması'yla mümkün oluyor.

Değişen Bir Şey Yok!

Hep okuduğum, gördüğüm, anlatılan, önce kuramın doğrulanması sonrasında da o kurama yönelik yeni teknolojilerin üretilmesi ve bunların toplumsal hayatta önemli işlevler almasıydı. Arşimet'in önce sıvıların kaldırma kuvvetini bulması, sonrasında gemi teknolojisinin değişmesi; manyetikliğin bulunup özellikle coğrafi keşiflere imkan sağlayan pusulanın icadı; Newton dinamiğince tasarlanan buharlı makinelerin bu durumu desteklemesi bunlara verebileceğimiz bazı örneklerdir. Örnekleri çoğaltmak gerekirse, elektromanyetik iletimle telsiz iletişiminin başlaması, gemilerin okyanus ötesine açılmasını çok daha gü-

venli hale getirmiş ve sömürgeciliğin artmasında önemli bir rol oynamıştır. Bohr atom modeli ve kuantum mekaniğindeki ilerlemelerle beraber bilgisayarın icadı da benzer bir örnektir.

Ne var ki Higgs Parçacığı'nın keşfi yolunda işler sanki biraz tersine döndü. Çünkü bu sefer, aranan parçacığı bulabilmek için daha parçacık bulunmadan teknolojisi gelişmek zorunda kaldı. Bu uğurda süperiletkenlik (yani hızlı trenler), www dediğimiz yaygın internet ve nanoteknoloji gibi yeni şeyler bulundu. Yolda bulduklarımız, yolun sonundaki parçacığa kıyasla daha işlevli gözüküyor. Bu anlamda, belki Higgs bozonu gelecekte bir şey değiştirmeye bilir ama fikri bile şimdiden toplumsal hayatın değişiminde büyük pay sahibi oldu, diyebiliriz.

SORULARLA HIGGS

Cern'den yapılan açıklama sonrasında Higgs bozonu, Cern'deki deney düzenekleri ve popüler hale gelen Tanrı Parçacığı gibi konular gazetelerde de epeyce yer aldı. Önceki iki yazıda, Higgs bozonunun fiziğine yoğunlaştım. Deney mekanizması ve ölçüm yöntemleri fazla teknik ayrıntı içerdiğinden ve bu konuları pek de sevmediğimden bunlardan uzak durdum. Tanrı parçacığı konusuna da değinmedim. Bu üçüncü bölümde ise hem bu tür güncel konulara bir bakmak hem de şimdiye kadar yazılanları toplamak için, gazeteci İsmet Berkan'ın 4 Temmuz 2012 günü kendi blogunda Higgs Bozonu ile ilgili yayımladığı *11 soruda Higgs bozonu*¹ yazısındaki soruları yanıtlamaya çalıştım. Böylece, kendimle mülakat yapma şansı da buldum. Bu sorular için Berkan'a teşekkürler.

1 <http://ismetberkan.blogspot.com/2012/07/11-soruda-higgs-bozonu.html>

1. Higgs bozonu nedir?

Standart Model'e göre temel parçacıkların kütle kazanmaları için gerekli alanı dolduran parçacıktır.

2. Higgs parçacığına kütleyi nasıl kazandırıyor?

Higgs Alanı'na giren parçacıklar, alanda etkileşebildikleri kadar enerjinin ve dolayısıyla kütlenin sahibi oluyorlar.

3. Higgs'in önemi ne?

Parçacığın kütlesinin oluşumunda yer almak ve dolayısıyla bu parçacıkların sorumlu oldukları fiziksel alan, elektromanyetik ve çekirdeksele etkileşimleri açıklayabilmektir.

4. Higgs olmasaydı ne olacaktı?

İşleyiş Higgs ile var olabiliyor. Higgs'i olmayan bir evrenin bu şekilde evrimleşmeyeceğini söyleyebiliriz.

5. Higgs'i nasıl gördüler?

Higgs, diğer temel parçacıklar gibi fotoğrafı çekilemeyen bir parçacıktır. Bu tür parçacıklar, etkileşimlerinden elde edilen verilerle saptanıyor. Higgs'i saptamanın iki zorluğu var: ömrünün çok kısa olması ve çok yüksek enerjiye sahip olması.

6. Higgs'in varlığından yüzde yüz emin miyiz?

Değiliz. Veri analiziyle oluşturulan her sonuç, hata ve güvenilirlik içerir. Higgs'in güvenilirliği, yüzde 99,9999426697. Yeni veriler oranı değiştirebilir.

7. Neden yüzde yüz emin olamıyoruz?

Ölçüm, ölçen ile ölçülenin etkileşmesinden ötürü belirsizliğe sahiptir. Alınan veri sayısı fazlaştığında, analizin güvenilirliği de artmaktadır.

8. Higgs bulundu diye boyumuz bir karış uzayacak mı?

Bilmiyorum. Ama Cern'de Higgs ve benzeri parçacıkları bulurken internet başta olmak üzere birçok yeni teknoloji üretildi.

9.Buna neden “Tanrı Parçacığı” deniyor?

Nobelli fizikçi Leon Lederman, kitabının başlığını yayıncısının satış kaygısıyla *Tanrı Parçacığı*² yaptı. Sonradan başta Lederman ve tüm parçacık fizikçileri, Higgs’in bu şekilde anılmasından rahatsız oldular. Son pişmanlık neye yarar?

10.Parçacığın Tanrıyla ilişkisi var mı?

Bunu Higgs bozonuna sormalı. Ama fizik evrenin işleyişine dair sorular sormaktadır. “Tanrı var mı yok mu?” sorusu, fiziğin tartışması değildir.

11.Peki Büyük Patlama nasıl oldu sahiden?

Fizik bunu bilmiyor. Büyük Patlama ya da Kara Delikler gibi konularda evrende “tekillik” denilen fizik yasaları saçmalamaktadırlar. Fizikçilere fazla da güvenmeyin. Ne de olsa her şey *Kurmaca*.

2 Leon Lederman, Dick Teresi, *Tanrı Parçacığı*, çev. Emre Kapkın, Evrim Yayınları, 2001.

“İstek ve çalışmayla herkes birçok şey hakkında kulaktan dolma bilgilerin çok ötesinde fikre sahip olabilir. Popüler fizik bu anlamda, fazla teknik ayrıntılara olabildiğince uzak durarak temel fiziksel kavramları bizlere sunabilmektedir.

Herkesin okuyabileceğine inandığım bu kitabın, özellikle de doğa bilimlerinden bir şekilde uzak durmuş kişiler için anlamlı olduğunu hissediyorum. Gençler için de bu ve bu tür kitapları okumak bambaşka ufuklar açacaktır. Çünkü birçok okulda gerek sistemsel nedenlerden (not falan filan) gerekse de öğretmenlerin yetersizliklerinden dolayı (sadece fizik için geçerli olmayan bir durum) konular bir papağana ezberletilir gibi gösterilmektedir.

Kurmaca da bir popüler fizik metnidir.”

Ancak “piyasa”da bolca bulabileceğiniz popüler fizik kitaplarından farklıdır. Farklıdır çünkü yazarın fizik serüveninin samimi hikayesi üzerine kurulmuştur. Fizikteki konu hiyerarşisine veya şemasına körü körüne bağlı kalmak yerine temel olarak yazarın düşünsel akışı kurguyu belirler. Farklıdır çünkü fizik deneylerinin yanı sıra sokağın gözlemlerini ve dilini de kendi doğal akışında barındırır. (Fizik de esasında böyle gelmedi mi günümüze? Düşen elmalar, hamamda yüzen taslar...) Bu yüzden daha canlıdır. Bu sayede aynı kitapta “Çaycı Rüstem ile Newton” buluşur. Bu kitapta akademik metinlerin uzmanlaşmış dillerinin soğukluğu yerine sokağın dilinin sıcaklığını, kimi ticari fizik kitaplarının yapaylığının yerine içtenlikle örülmüş bir “fizik serüveni” bulacaksınız.

