Mantık, Matematik ve Felsefe III.Ulusal Sempozyumu

20-24 Eylül 2005, Foça

Çağrılı Konuşma

Görelilik Kuramının Matematiksel Temelleri

(Birinci Bölüm)

Antik Çağda Evren

Timur Karaçay

Başkent Üniversitesi, Ankara

tkaracay@baskent.edu.tr

Giriş

Albert Einstein Özel Görelilik Kuramını 1905 yılında ortaya koydu. Aradan geçen yüz yılın en önemli fizik bulgusu (ya da bulgularından birisi) sayıldığı için, Görelilik Kuramının ortaya çıkışının yüzüncü yılı Fizik Yılı ilan edildi. Dünyanın bir çok ülkesinde bir çok üniversitede Görelilik Kuramını anlatan dersler, konferanslar düzenlendi. İstanbul Kültür Üniversitesi'nin öncülüğünde üçüncüsü yapılan *"Mantık, Matematik ve Felsefe Sempozyumu"* nun bu yılki konusu, iyi bir seçimle, Görelilik Kuramına ayrıldı.

Bu konuşmada, Görelilik Kuramı'nın Matematiksel Temellerini açıklamam istendi. *Analiz* ve *Lineer Cebir'*i iyi bilenler için, bir sömestrelik ders olan göreliliğin matematiksel temellerini bu konuşma metnine sığdıramayacağım açıktır. O nedenle, görelilikte, matematiğin nerede nasıl bir araç olarak kullanıldığını ortaya koymaya çalışacağım. Yüz yıldır her yönüyle incelenen bu konuda bilimsel açıdan bir yenilik getiremeyeceğim apaçıktır. Başka bir deyişle, konuşmam, konuyu bilenlere hiçbir katkıda bulunamaz. Gene de, konuyu benden az bilen gençlere bir yol gösterebilmeyi umuyorum. Hemen belirtmekte yarar vardır. Bu gün, matematikçiler, Görelilik Kuramı'nı Einstein'in ortaya koyduğu yöntemle incelemiyorlar. Aradan geçen yüz yılda göreliliği daha iyi açıklayan matematiksel yapılar ortaya kondu. Bunların bir kısmı geometrik modeller kullanır, bir kısmı da cebirsel modeller kullanır. Daha iyi matematiksel modellerin ortaya çıkmış olması, Einstein'in yaptığı işin önemini azaltmaz. Olsa olsa, Einstein'in yüz yıl önce kurduğu görkemli tiyatroda matematikçiler iyi oyunlar sergiliyor diyebiliriz.

Genel Görelilik Kuramı gravitasyon kuramıdır. Bu kuramın önemini anlayabilmek için, tarih boyunca graviyasyonu insanoğlunun nasıl algıladığını bilmek gerekir. O nedenle, gravitasyon kavramının evrimiyle ilgili çok kısa bir tarihçe verdikten sonra Galilei ve Newton'un ortaya koydukları Klâsik Mekaniği, görelilik açısından ele alacağız. İkinci Bölümde Özel Göreliliği, Üçüncü Bölümde de Genel Görelilik Kuramını açıklamaya çalışacağız.

1.Bölüm

A. Antik Çağda Evren Modelleri

Antik Çağda Evren Modellerini bilim tarihi açısından incelemek yerine, bizim asıl amacımız olan Görelilik Kuramına giden yoldaki işaretler olarak ele alacağız. Dolayısıyla, geçmişte kurgulanan önemli evren modellerine ve hareket yasalarına, kronolojik sırada, göz atmakla yetineceğiz.

Babilliler

Fırat ve Dicle ırmakları arasında kalan zengin topraklarda yaşayan insanlar, mezopotamya diye anılan bu verimli yerlerde, tarih öncesi uygarlıkların en önemlilerinden birisini kurmuşlardır. Her uygarlık gök cisimlerinin hareketini; yani evreni merak etmiş, onu gözlemiş ve o günün olanakları içinde açıklamalar getirmiştir. Babillilere göre, dünya büyük bir (düzlemsel) dairedir, çevresi büyük ırmaklarla çevrilidir, bu ırmakların ötesinde aşılamaz dağlar vardır. Hiçbir insan o ırmağı geçemez. Dağlar, çok sağlam bir maddeden yapılan gök kubbeyi bir kemer gibi tutar. Kuzey dağları boyunca uzanan ve dış dünyaya açılan büyük bir tünel vardır. Bu tünelin, bir ucu doğu, öteki ucu batı dağlarında olan iki büyük kapısı vardır. Güneş hergün doğu kapısından içeri girer, batı kapısından çıkar. Geceleri kuzey tünelde dinlenir.

Babilliler birinci dereceden denklemleri çözebiliyordu. M.Ö. 1900-1600 yıllarına ait olduğu belirlenen bir kil tabletinde $a^2 + b^2 = c^2$ eşitliğini sağlayan sayılar görülmüştür. Bu da gösteriyor ki, gemetrik ispatı bilmeseler bile, Pisagor bağıntısını biliyorlardı. Bu tabletlerin sayılar kuramıyla ilgili en eski tabletler olduğu sanılıyor. Babilliler 60 tabanlı sayma sistemini kullanıyorlardı. Bu gün kullandığımız zaman sistemi oradan gelir. Bir günü 24 saate, bir saati 60 dakikaya ve bir dakikayı 60 saniyeye bölmüşlerdir. Çemberin 360 derecelik merkez açı ile ölçülmesi de onlardan gelmektedir.

Mısırlılar

Eski Mısırlılar dünyayı, kuzey-güney doğrultusu daha uzun olan dikdörtgensel bir düzlem, gök kubbeyi yerden yükselen dört sütun üzerinde duran bir çatı gibi algıladılar. Güney tarafta gök yüzünde büyük bir nehir vardır, *"tanrı güneş"* her gün bu nehirde gezintiye çıkar.

Mısırlılar'ın gök cisimleriyle ve matematikle ilgilenmeleri pratik bir nedene bağlıdır. Her yıl Nil nehri taşar, ekili alanlarda sınırları yokeder. Taşma zamanını doğru bilmek ve taşkından sonra tarlaların yokolan sınırlarını yeniden belirlemek için gerçekçi bir takvime, yeterli matematiğe gereksemeleri vardı. Mısır takvimi bir yılı 365 gün olarak almış ve bunu değiştirmeden yüzyıllar boyunca kullanmıştır. Her yıl oluşan ¼ günlük artıklar toplanınca 730 yılda, mevsimler 6 ay geriye kayar. Başka bir deyişle, kış başlarken takvim yaz başlangıcını göstermektedir. 1460 yıl sonra, takvim gerçek mevsimlere yeniden uyum sağlar. Bu uzun sürede, Mısırlılar'ın takvimde düzeltme yapmayı düşünmemiş olmaları şaşırtıcıdır.

Mısırlılar, zamanı göstermek için su saatini icat ettiler. M.Ö.1450 yıllarına ait bir su saati Berlin Müzesinde sergilenmektedir.

Hint

Eski Hint uygarlığında, evren 4.32×10^9 yıllık periyotlarla doğar, gelişir, çöker ve ölür. Bu oluşum, tıpkı bir farenin doğumu, yaşaması ve ölümü gibidir ve onun kadar doğaldır.

Çin

Çinlilerin M.Ö.1300 yıllarına kadar geriye giden astronomi gözlemleri vardır. Güneş tutulmalarını ve 1054 yılında patlayan ve iki yıl süren supernovayı gözleyebilmişlerdir.

Eski Yunan

Mitoloji

Eski yunan kozmolojisi kaçınılmaz olarak mitoloji ile bağlantılıdır. Ona göre dünya yukarıdan hava ile, çevresinden su ile ve onun altında da cehennem ile sarılıdır. Bir süre sonra denizcilerin ticaret amacıyla yaptıkları gezilerde Eski Mısır ve Babil uygarlıklarının kalıntılarıyla tanıştılar. Böylece, mitler yerlerini zamanla daha gerçekçi ve mantıklı görüşlere bırakmaya başladı.

Anaxagoras (499 B.C. - 428 B.C.) Ionia doğumlu Anaxagoras, güneşin tanrı olmadığını, ayın güneşten gelen ışınları yansıttığını savunduğu için mahküm edilmiştir. Anaxagoras'ın mantıksal çıkarımlarla ulaştığı başka ilginç görüşleri vardır. Örneğin, meteorların maddesel yapısının dünyanınki ile aynı olduğunu görmüş, sonra şu sonuca varmıştır: Meteorlar dünyanın dönmesi esnasında dünyadan kopan parçalardır, uzayda hızları azalınca tekrar dünyaya düşmektedirler. Bu günkü bilgilerimizle bunun yanlışlığını biliyoruz. Ama Anaxagoras'ın dünyanın yuvarlaklığı, dönmesi ve merkezkaç kuvvet gibi kavramlara o günlerde sahip olması şaşırtıcıdır.

Milet'li Tales (M.Ö. 585) Babillilerin gözlem sonuçlarını inceleyerek güneş tutulmasını öngörmüştür. Ama o, dünyanın okyanusta yüzdüğü, depremlerin dalgalar nedeniyle oluştuğu görüşündedir.

Democritus, sonsuz ve ölümsüz evren kavramını, **Parmenides** ise küresel ve hareketsiz dünya görüşünü ortaya sürmüşlerdir.

Pisagor (M.Ö. 580) Kendi adıyla anılan felsefe okulunu kurmuştur. Matematik, astronomi ve müzikte önemli bulgular yapan ve inanç ağırlıklı bu okul, bigileri gizli tuttuğu için Pisagor'un ürünleri tam olarak bilinmemektedir. Buna rağmen, çok ileri bir kozmoloji geliştirdiler. Dünyanın mükemmel bir küre olduğunu, bu şekildeki on tane gök cisminin de dünya ile birlikte merkezdeki ateş etrafında birer çember yörüngede döndüğünü, ateşin insanlar tarafından görünemez olduğunu savunmuştur. Bu görüş önemlidir, çünkü, gök cisimlerinin bir merkez etrafında döndüğü ilk kez ortaya atılmış oldu. Bu evren modeli, ufak değişikliklerle 2000 yıl boyunca ayakta kalabilmiştir.

Samoslu Aristarchus (310 B.C. - 230 B.C.) Aristarchus geometrik yolla güneşin dünyadan çok daha büyük olduğunu kanıtladı. Sonra, böyle büyük bir cismin küçücük dünyanın etrafında dönemeyeceği, onu dünya etrafında dönüyor gibi görünmesinin nedenini, dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesine bağladı. Böylece, Aristarchus, 17. yüzyılda Copernicus'un ulaşacağı heliocentric evren modelinin başlıca nedenini ortaya koymuş oluyordu. Yazık ki bu görüşü Aristo red edecek, dolayısıyla 1800 yıllık bir zaman kaybına yol açacaktır.

Aristo (M.Ö. 384 - 322) Aristo, kendi döneminde önem taşıyan hemen her konuda görüş bildirmiş büyük bir düşünürdür. Mantık biliminin kurucusudur. Ortaya sürdüğü her düşünce, bir mantık süzgecinden geçmiştir. O zamanın bilgileri ve koşulları altında ortaya koyduğu fikirlerinin birçoğu, elbette, bu gün yanlıştır. Ama o, 2300 yıldır düşünceleriyle aramızdadır.

Örneğin, Aristo, *"Dünya bir anda ortaya çıkmadı, o her zaman vardı, ebediyen değişmeden varolacaktır"* der. Bu görüş, kilisenin *"yaratılış"* dogmasına karşıdır. O nedenle kilise önce Aristo'yu dışlamak istemiş, ama onun yüzyıllardır yayılmış fikirlerini beyinlerden silemeyeceğini anlamıştır. Bu nedenle, kilise adamları, Aristo'nun düşünceleriyle kilisenin görüşlerini bağdaştırmak için yüzyıllar süren zorlu bir çabanın içine girmiştir. Sonunda kilise, onun tümdengelimli mantık sistemini ustaca kullanmanın yolunu bulmuştur. Bilindiği gibi, $p \Rightarrow q$

çıkarımında p nin doğruluğu ya da yanlışlığı mantığın sorunu değildir. Mantık, p önermesi geçerli ise, q önermesinin de geçerli olduğunu söyler. Başka bir deyişle, mantık doğru düşünmenin aletidir, doğruyu bulmanın değil! Örneğin, p yerine *"Dünya 7 günde yoktan yaratıldı"* önermesini koyarsanız, p önermesi, Aristo'nun yukarıda anılan düşüncesine ve modern fiziğin *"Hiçbir şey yoktan var olmaz"* ilkesine aykırı düşer. Ama Aristo mantığı p önermesini geçerli sayıp ondan sonuçlar çıkarmaya devam eder. Böylece, kilise, p öncülü (premise) yerine kendi görüşlerini koyarak istediği q vargısını elde edebilmiştir. Bu oluşumda Aristo'yu kusurlu göremeyiz. O mantık denilen güzel bir alet yarattı; kilise o aleti kötü kullandı ve ortaçağ karanlığını yaratmayı başardı. Bu nedenle, 17. yüzyıldan sonra modern bilimi kuranlardan bazıları, Aristo'yu kusurlu görmüşler ve tümdengelimin bilimsel bir yöntem olmadığını savunmuşlardır. Ama, matematik tümdengelimlidir, onu yok sayarsak ortada bilim kalmaz.

Aristo'nun Hareket Yasaları

- Uzaklık, cisme etki eden F kuvveti, m kütlesi ve t zamanı tarafından belirlenir.
- F kuvveti kütlesi m olan cismi t zamanda d uzaklığa götürüyorsa, $m/2$ kütleli cismi $t/2$ zamanda aynı d uzaklığa götürür.
- F kuvveti kütlesi m olan cismi t zamanda d uzaklığa götürüyorsa, $m/2$ kütleli cismi t zamanda $2d$ uzaklığa götürür.

Aristoya göre, cismin hareket edebilmesi için bir kuvvet ona sürekli etkimelidir. Etki edebilmesi için de, kuvvetin cisme dokunması gerekir. Sabit bir kütleye sabit bir kuvvet sürekli etki halindeyse cisim sabit bir hızla hareket eder.

Şimdi bunların yanlış olduğunu biliyoruz. Çünkü, sabit bir kuvvetin etkisindeki cisim ivme kazanır, dolayısıyla hızı değişir. Ama bu yasalar 1800 yıl boyunca sorgulanmadan varlığını sürdürdü.

Aristo'nun hareket yasalarına ileride tekrar döneceğiz. Şimdilik, onun evren modelinden sözetmekle yetinelim. Önce, dünya kendi ekseni çevresinde dönüyor diyen Aristarchus'un görüşüne karşı oluş nedenini söyleyeceğiz. Dünya kendi ekseni etrafında dönüyor olsaydı,

1. Dikey yukarı atılan bir taş aynı yere düşmezdi,
2. Dünya etrafında kuvvetli bir rüzgâr oluşurdu.

Heliocentrik (gün-merkezli) modelin doğuşunu 18 yüzyıl geciktiren bu yanlış düşüncenin, o günkü bilgilere göre kuvvetli bir mantıksal çıkarıma dayandığını görüyoruz.

Aristo'nun evren modeline gelince, 55 gök cisminin dikkatle gözlenmiş hareketlerini içeren karmaşık bir yapıdır. Bu modele göre, gök cisimleri dünya etrafındaki küreler üzerinde dolanırlar. Aristo'nun evren modelinin *heliocentrik* modele gidişi geciktirmiş olma gibi kötü bir ünü vardır. Ama, model gerçek bir bilimsel çalışmanın ürünüdür. Yıldızlar dikkatle gözlenmiş, hareketlerine ait veriler kaydedilmiştir. Bu verileri kullanarak, Aristo, gök cisimlerinin gelecekteki hareketlerini tahmin edebilir duruma gelmiştir. Örneğin, Mars gezegeninin bir yıl sonraki konumunu belirleyebiliyordu.

Eratosthenes (M.Ö. 276 - 197) Şimdi Libya içinde olan Cyrene'de doğdu, İskenderiye'de yaşadı. Dünyanın çevresini, bu gün de geçerliği olan ilginç bir geometrik yöntemle ölçtü. Dünyanın bir küre olduğunu, Mısırdaki Aswan kenti ile İskenderiye kentlerinin bir büyük çember üzerinde (diyelim ki, aynı meridyen üzerinde) bulunduğunu ve bu çember boyunca aralarındaki uzaklığın

5000 stadia olduğunu biliyordu. Bir çubuğun Aswan'daki gölgesi ile İskenderiye'deki gölgesi arasında yaklaşık 7.2 derece olduğunu ölçtü. Bundan sonrası basit bir orantıyla bulunur. 7.2 derecelik merkez açıyı gören yay uzunluğu 5000 stadia ise, 360 derecelik merkez açıyı gören tam çember yayının uzunluğu ne olur?

Bunlardan çıkan başka önemli bir sonuç var. Kilisenin direnmesine rağmen, dünyanın yuvarlak olduğu (gizliden) genel kabul görmüştür. Gerçekten yüzyıllar sonra Columbus'un dünyayı dolanmak için (batıya giderek doğuya ulaşmak istiyordu) yola çıkışı bunun iyi bir delilidir. Columbus, düz dünyanın ucuna ulaşıp aşağı düşmekten hiç korkmadı. Onun yanlışı, büyük olasılıkla, dünya çevresini olduğundan çok küçük tahmin etmesidir. İyi ki, yarı yolda hiç ummadığı Amerika kıtası vardı. Yoksa Columbus'un tayfaları açlık ve susuzluktan kırılabilirdi.

Batlamyus (Ptolemy (M.S. 100 - 170) Mısırda doğdu, İskenderiye'de yaşadı. Büyük bir astronom ve geometricidir. 127-141 yılları arasında astronomik gözlemler yaptı. Bulduğu verileri *Almagest* adlı kitapta topladı. Bu kitap halen astronomide güncel sayılacak değere sahiptir. Aristo'nun evren modelini geliştirerek Mars'ın uydusunun hareketlerini *epicycle* adı verilen sistemle açıkladı. Onun evren modeli 1543 yılında Copernicus'un modeli ortaya çıkana kadar yaşayacaktır.

Roma İmparatorluğu

Roma imparatorluğunun, takvim düzenlemeleri dışında, kozmolojiye yaptığı hiçbir katkı görülmemektedir.

Ortaçağ ve Kilise

Aristo'nun kilise görüşleriyle uyuşmayan görüşleri çoktur. Örneğin, 1277 yılında Paris piskoposu Aristo'nun 219 doktrinini listeleyip öğretilmesini ve tartışılmasını yasaklamıştı. Bütün bunlara rağmen, kilise Aristo'nun parlak düşünceleriyle başedememiş, zamanla onların bir kısmını kilisenin resmi görüşü haline getirmiştir.

B. Modern Zamanlarda Evren Modelleri

Nicholas Copernicus (1473 - 1543)

Polonya'da doğdu. Krakov Üniversitesinde matematik, astronomi ve felsefe okudu Sonra İtalya'ya gitti. Bologno Üniversitesinde liberal sanatlar, Ferrara'da tıp, Padua'da hukuk eğitimi gördü. Kilise yasaları üzerine doktora derecesi aldı ve Fraenberg kilisesinde göreve başladı. Burada çıplak gözle yaptığı uzun gözlemlerden sonra, yıldızların dünya merkezli değil, güneş merkezli dairesel yörüngeler çizdiği sonucuna vardı. Böylece, Pisagor'un ortaya koyduğu yer-merkezli (geocentric) evren modeli, tahtını 1800 yıl sonra, gün-merkezli (heliocentric) evren modeline bıraktı. Copernicus ilk sonuçlarını 1514 yılında müsvette olarak elden ele dolaştırdı. *De Revolutionibus Orbium Coelestium* adını verdiği eseri 1543 yılında yayınlandı. Derler ki, 1542 yılında felç geçirip yatağa düşen Copernicus, ölmeden biraz önce kitabının ilk kopyasını görebildi.

Copernicus, yer merkezli evren modelini yıkınca dünya güllük gülüstanlık olmadı. 1616 yılında Papa Pius V dünyanın hareketsiz durduğunu, günmerkezli sistemin kâfir işi olduğunu açıkladı ve Copernicus'un kitabını yasakladı ve kara listeye aldı. Kitap 1822 yılına kadar kara listede kaldı.

Pisagor'dan beri yerine oturmuş ve kimseyi rahatsız ediyor görünmeyen yermerkezli evren modeli ortadan kalkınca, bir yandan kilisenin baskısı, öte yandan yeni modelin belirsizliği (geleceği konusundaki endişeler), ister istemez bilimle uğraşanları çekimser kılıyordu. Bu çekimserliğin yanında, yeni modelin çekiciliği de kuşku götürmezdi. Kepler, Galilei ve Newton bu çekiciliğe kendisini kaptıran ve modern bilimin oluşumuna büyük katkılarda bulunan adların başında gelir.

Johannes Kepler. (1571 - 1630)

Tübingen'de okurken Copernicus'un evren modeliyle tanıştı. 1596 yılında yazdığı *Mysterium Cosmographicum* adlı eserinde onu savundu. 1609 yılında yayınladığı *Astronomia Nova*'da ilk iki yasayı, 1619 yılında yayınladığı *Harmonices Mundi*'de üçüncü yasasını yayınladı. Copernicus'un devrim yaratan evren modeline son geometrik biçimi veren Kepler'in gezegenlerin hareketlerini geometrik olarak açıklayan üç yasası şöyledir:

1. *Bir gezegenin yörüngesi, bir odağında güneşin yer aldığı bir elipstir.*
2. *Gezegeni güneşe birleştiren doğru eşit zamanlarda eşit alanlar süpürür.*
3. *Gezegenin periyodunun karesi güneşe olan ortalama uzaklığının küpü ile orantılıdır.*

Galileo Galilei (1564 -1642)

Galilei, Aristo'dan beri sorulan bir soruyu tersine çevirdi: *"Bir cismi düzgün doğrusal hareket ettiren şey nedir?"* sorusu yerine *"Bir cismi düzgün doğrusal hareketten alıkoyan şey nedir?"* sorusunu sordu. Yaptığı deneylerle Aristo'nun hareket yasalarını yıktı ve modern çağın en önemli fizik yasasını ortaya koydu:

Ağırlıklarına bağlı olmaksızın, bütün cisimler yere aynı hızla düşerler.

Oysa, Aristo ağır cisimlerin daha hızlı düşeceğini söylemişti. Böylece, Aristo imparatorluğu yıkım sürecine girdi. Bu yıkım elbette acısız olamazdı. Copernicus'un evren modelini savunduğu için, Galilei, engizisyon mahkemesi tarafından sorgulandı ve yeni evren modelini savunmaktan vazgeçmesi koşuluyla yaşam boyu ev hapsine mahkûm edildi. Ev hapsinden kurtulamadan yaşamı sona erdi.

Galilei Göreliliği

Çok konforlu (sarsıntısız) bir otobüsün orta sıralarında gözleriniz kapalı gidiyorsunuz. Yol, otobüste hiçbir sarsıntı yaratmayacak pürüzsüz bir asfalt kaplamaya sahip olsun. Şoför sabit bir hızla doğrusal bir hatta (ivmesiz) giderken, otobüsün hareketini algılayamazsınız. Ama, dönemeçlerde otobüsün dönüşünü, tepeüstlerine çıkışını ve vadilere inişini algılarsınız. Benzer olarak, şoför fren yaparak hızı azaltırken ya da gaza basarak hızı artırırken hareketi algılarsınız. Çünkü, bu durumlarda otobüs ivmeli hareket halindedir. Şimdi bunu başka bir biçimde ifade edelim.

Sakin (hiç dalgasız) bir gölde düzgün doğrusal hareket eden (ivmesiz hareket) bir gemide penceresiz bir odadaki bir gözlemci ile, gölün kıyısında penceresiz bir evde oturan başka bir gözlemci düşünelim. Her iki gözlemcimiz istedikleri mekanik deneyleri yapabilecek aletlere (sarkaç, top, ip, cetvel vb.) sahip olsunlar. Şimdi şu üç soruya yanıt arayalım:

1. Gölün kıyısındaki gözlemci, yapacağı mekanik deneylerle göldeki geminin, gölün kıyısına göre, hareket ettiğini belirleyebilir mi?

2. Gemideki gözlemci, geminin gölün kıyısına göre, hareket ettiğini belirleyebilir mi?
3. İki gözlemcinin yapacağı mekanik benzer deneylerin sonuçları farklı mıdır?

Bu soruların her üçünün de yanıtları *"hayır"* olacaktır. Gölün kıyısında her yanı kapalı evde oturan gözlemcinin gölde hareket eden gemiyi algılaması olanaksızdır. Gemi düzgün doğrusal hareket ettiği için, gemideki gözlemcimiz de kamarasında geminin hareketini algılayamaz. Başka bir deyişle, her iki gözlemcinin yapacağı mekanik deneyler, geminin hareketine ait bir algılama yapamaz. Kapalı kamarada yapılan bütün mekanik deneyler, gölün kıyısındaki evde yapılacak benzer deneylerle aynı sonucu verir.

Dolayısıyla, geminin içinde yapılan deneylerle, kıyıdaki evde yapılan deneylerin mukayesesi de geminin hareketine dair bir ipucu veremez. Geminin kıyıya göre hareket ettiğini belirleyebilmek için gemideki gözlemci kamaradan çıkıp kıyıyı gözlemelidir. Benzer şekilde, kıyıdaki gözlemci de gemiyi gözlemelidir.

Bu söylediklerimiz, geminin düzgün doğrusal hareketi (ivmesiz hareket) için geçerlidir. Gemi hızını artırsa, yavaşlatsa, sağa ya da sola dönse kapalı kamaradaki yolcu o hareketleri hissedecektir. Mekanik deneyler de bunu algılayabilecektir. Başka bir deyişle, gemi ivmeli bir hareket yaptığında gemideki gözlemci (ya da mekanik deneyler) bu hareketi anında algılayabilir.

Ama, bu durumda, kıyıdaki gözlemci bu hareketleri algılayamaz. Gemi ivmeli hareket yaparken, gemideki deney sonuçları ile kıyıdaki deney sonuçları birbirinden farklı olacaktır.

Galilei, bu gözleminin sonucunu şu görelilik postülatı ile veriyor:

> *Birbirlerine göre sabit hız ve doğrultuda hareket eden iki gözlemci bütün mekanik deneylerde aynı sonucu elde ederler.*

Konaç Dizgesi (frame of reference)

Şimdi başka bir gözlem yapalım. Uzayda nesneleri birer nokta gibi düşünelim. Analitik geometriden bildiğimiz gibi, üç boyutlu uzayda nesneleri (noktaları) *(x,y,z)* ile, *xy*-düzlemindeki nesneleri *(x,y)* ile, *Ox*-ekseni üzerindeki nesneleri *x* ile ve *O(0,0)* başlangıç noktasını *O* ile gösterelim. Simetri ekseni *Oz*-ekseni olan bir burgu yüzeyi (helicoid) üzerinde ve burgu yüzeyinin eksene en uzak noktalarının oluşturduğu eğri (burgunun kenarı) üzerinde sabit bir hızla yukarı çıkan bir böcek varolsun. *A,B,C,D* gözlemcileri böceğin burgu üzerindeki hareketini gözlüyor. Varsayaım ki *A* gözlemcisi üç boyutu algılıyor, *B* gözlemcisi yalnızca *xy*-düzlemindeki cisimleri algılıyor, *C* gözlemcisi yalnızca *Ox*-ekseni üzerindeki cisimleri algılıyor, *D* gözlemcisi ise yalnızca *O(0,0)* noktasındaki cisimleri algılıyor. Bu dört gözlemcimiz, gözlem sonuçlarını rapor ederlerse, şunları yazacaklardır:

A gözlemcisi: Böcek sabit hızla burgunun dış kenar çizgisini takip ederek yukarı doğru tırmanıyor.

B gözlemcisi: Böcek *xy*-düzleminde bir daire üzerinde sabit bir hızla dönüyor.

C gözlemcisi: Böcek, *Ox*-ekseni üzerinde *[-1,+1]* aralığında, bir uçtan ötekine sabit bir hızla gidip geliyor.

D gözlemcisi: Böcek *O* noktasında hareketsiz duruyor.

Görüldüğü gibi, aynı hareketi, dört gözlemci çok farklı biçimlerde algılamaktadır. Bunun nedeni, gözlemcilerin algılama yetenekleridir. Bunu, matematik diliyle söylersek, gözlemcilerin kullandıkları koordinat sistemleri algılamalarını etkilemektedir. Lise bilgilerimize göre, koordinat sistemi, uzayda, bir cismin (noktanın) konumunu belirtir. Ama, hareket söz konusu olunca işin içine zaman da girecektir. Cismin hangi zamanda nerede olduğunu bilmek isteyeceğiz. Aslında, bu görelilik kuramını doğuran zor bir kavramdır. Ama, şimdilik, işe zamanı da bir boyut olarak katarak şu tanımı yapabiliriz:

> *Bir konaç dizgesi, bir başvuru (reference) noktasına göre bir nesnenin hangi anda , nerede bulunduğunu belirleyen araçtır.*

Bu tanım, aslında *(x,y,z)* ile gösterdiğimiz konumları, t zamanı göstermek üzere, *(t,x,y,z)* biçiminde göstermek demektir. Tabii, üç boyut yerine iki ya da bir boyutlu hareketleri de düşünebiliriz. O zaman *(t,x,y,z)* yerine *(t,x,y)* ya da *(t,x)* alabiliriz.

Hız

Şimdi gemiyi tekrar düşünelim. Geminin sabit varsaydığımız hızı ancak bir başvuru sistemine göre belirtilebilir. Farklı başvuru noktaları için, farklı hızlar ortaya çıkar. Örneğin, geminin içerdeki gözlemciye göre hızı 0 iken, kıyıdaki eve göre 0 ‘dan farklıdır. Aynı geminin, sahil yolunda hızla giden bir spor otomobile göre hızı, yukarıdakilerin her ikisinden de farklı olacaktır. Bundan çok önemli bir fiziksel sonuç çıkar:

> *Hız mutlak değildir.*

Bu sonuç Einstein’in Görelilik Kuramı’na giden yoldaki önemli kilometre taşlarından birisidir.

Isaac Newton (1643-1727)

Newton, insanın doğa olaylarını ve evreni anlayabileceği inancının yayılmasına neden olan kişilerden biridir. O, kuşkusuz, fiziksel bilimlere yön vermiş ve günümüze kadar süren 300 yıllık teknolojinin yaratılmasına neden olmuştur. Bu oluşumu yaratan ve bu gün kendi adıyla anılan hareket yasaları şöyle ifade edilir:

1. *Hareketli bir cisim dışarıdan bir kuvvetle etkilenmezse düzgün doğrusal hareketini ilelebet sürdürür.*
2. *Kütlesi m olan bir cisme uygulanan F kuvveti ile a ivmesi arasında F=ma bağıntısı vardır.*
3. *Her etkiye karşı ona eşit bir tepki vardır.*

Newton, gezegenlerin hareketleri için Kepler’in kurduğu geometrik modelin ve Galilei’nin gravitasyon ile ilgili deneylerinin matematiksel formülünü çıkardı. Ondan sonra, gezegenlerin neden güneş etrafında elips yörüngeler çizdiğini, ağır ve hafif cisimlerin neden aynı ivmeyle yere düştüğünü matematiksel yöntemle gösterir olduk. *M* ile *m* iki cismin kütleleri, *r* aralarındaki uzaklık, *G* gravitasyon katsayısı olmak üzere, iki cisim arasındaki *F* çekim kuvveti

$$F = G\, mM / r^2$$

bağıntısıyla verilir. Euler, Newton gravitasyon yasasının analitik biçimini verdikten sonra Lagrange, Hamilton, Jacobi, Clairaut, Laplace ve Poisson gibi ünlü matematikçiler, gravitasyon yasasının matematilsel temellerini sağlamlaştıran teoremleri kurdular. Bu arada potansiyel gibi yeni kavramları da ortaya çıkardılar. 20.yüzyıl başlayana dek, hareketle ilgili her şeyin Newton’un hareket yasalarıyla hesaplanabileceği inancı yerleşik kalacaktır. *Newton Mekaniği* ya da klâsik mekanik denilen ve teknikte muazzam bir uygulama alanı bulan bu yasaların uygulanamadığı durumlar şunlardır:

1. 10^{-8} cm den küçük uzaklıklar.
2. Gravitasyonu güneşe göre 10^{8} kat daha büyük olan cisimler.
3. Hızı 10^{8} m/sn den büyük olan cisimler.

Newton Mekaniği'nin geçerli olmadığı yerlerde Kuantum Mekaniği ve Einstein Mekaniği kullanılır. Kuantum Mekaniği atomaltı parçacıkların hareketlerini belirlemek için, Einstein Mekaniği ise hızı ışık hızına yakın büyük gök cisimlerinin hareketlerini açıklamak için kullanılır. Elbette bu üç mekaniği içine alan bir mekanik kuram yaratılabileceği inancını her fizikçi taşır.

Mutlak Uzay, Mutlak Zaman

Asıl konumuz olan Görelilik Kuramı'nın neden doğduğunu açıklayabilmek için, Newton'un hareket yasalarının gerisinde yatan düşünceyi biraz açmakta yarar vardır. Newton'a göre bütün hareketlerin içinde oluştuğu bir *"mutlak uzay"* vardır, o bize bir olayın *"nerede"* olduğunu belirtir. Mutlak uzay hareketsizdir, daima olduğu gibi kalır, kendi dışındaki her şeyden bağımsızdır. Mutlak uzayda yer belirleyebilmemiz için *"mutlak uzaklık"* olması gerektiği sonucu çıkar. Ayrıca, uzaydan bağımsız bir "mutlak zaman" vardır, o da bize olayın "ne zaman" olduğunu belirtir.

Newton çekim yasası, daha önce açıklanamayan bazı olayları aydınlattı. Örneğin, gelgit olayları, dünya ekseninin salınımı, gravitasyonun cismin ağırlığından bağımsız oluşu vb. olayların matematiksel bağıntıları ortaya çıktı.

Eylemsizlik Kütlesi, Gravitasyon Kütlesi

Newton'un ikinci yasasını $F = m_i a$ ile, iki cisim arasındaki çekim kuvvetini belirten denklemi de $F_{grav} = \frac{m_g M G}{r^2}$ biçiminde yazalım. Bu iki denklemdeki m_i ve m_g nicelikleri fizik tarihi bakımından önemlidir.

> Birincideki m_i niceliğini, cismin F kuvveti etkisinde kalarak a ivmesiyle hareket etmesine karşı koyuşun (etki-tepki) bir ölçüsü olarak görebiliriz. m_i sabit tutulduğunda, a ivmesinin artması için F kuvveti artmalıdır. Benzer şekilde, a sabit tutulduğunda, m_i niceliği büyüdükçe F kuvveti artar. Bu özelik nedeniyle $F = m_i a$ eşitliğindeki m_i niceliğine *eylemsizlik kütlesi* (inertial mass) denir.
>
> İkinci eşitlikteki m_g niceliği ise F_{grav} gravitasyon kuvveti ile doğru orantılıdır; m_g büyüdükçe F_{grav} artar. Bu niteliği nedeniyle, bu eşitlikteki m_g niceliğine *gravitasyon kütlesi* (gravitational mass) denir.

Newton Mekaniğinde, bu iki kütle, cismin farklı özelliklerini belirtir ve birbirlerine eşit olmak zorunda değildir. Newton, bu farkı doğanın bir niteliği olarak kabul etmiştir. Galilei'den sonra Huygens, Newton, Bessel ve daha başkaları m_i ile m_g arasındaki farkı ortaya çıkaracak ölçümler yaptılar. Ama bir cismin eylemsizlik kütlesinin gravitasyon kütlesinden farkını hesaplayamadılar, ölçemediler. 20.yüzyıl başlarında, Baron von Eötvös tahta ve platin gibi farklı maddelerle, 10^{9} da

1 duyarlılıkla yaptığı ölçümler sonunda m_i ile m_g arasında bir fark bulamadı. 1950/60 yıllarında R.Dicke tarafından bu ölçümler 10^{11} de 1 duyarlılıkla tekrarlandı.

Pratikte hesaplanamayan, ama klâsik mekanikte kuramsal olarak var görünen m_i ile m_g arasındaki farkı, Newton, doğanın bir niteliği olarak kabul etmiştir. Ama, Einstein, bu farkın bulunamayışını, görelilik kuramına giden yoldaki kilometre taşlarından bir başkası olarak yorumlayacaktır.

Galilei Yasasının Matematiksel Kanıtı

Şimdi M kütlesi olarak dünyayı alalım ve m kütlesinin F_{grav} gravitasyonu etkisiyle dünya merkezine doğru, a ivmesiyle çekildiğini varsayalım. Bu durumda,

$$F_{grav} = \frac{mMG}{r^2} = ma = F$$

eşitliğini kurabiliriz. Şimdi ortadaki eşitlikte m 'leri sadeleştirirsek $a = MG/r^2$ eşitliği çıkar. Bu da gösteriyor ki, m kütlesinin dünya (M) tarafından çekilmesi esnasında doğan a ivmesi çekilen m kütlesine bağlı değildir. Bu sonuç, Galilei'nin gözlemle ulaştığı

"Bütün cisimler aynı ivmeyle yere düşerler."

diyen yasasının matematiksel kanıtıdır.