

RESİMLERLE GÖRECELİK KURAMI

Peter MOOSLEITNER

Burada iki gözlemci aynı şeyi aynı biçimde görüyor!

Resimde, zaman ve mekânın göreceliğini ölçmek için "hayali" bir araç görüyorsunuz. Bu, birçok ışık yılı uzunluğunda olan ve değişik hızlarda hareket eden iki uzay gemisiyle uzaya taahhütlenen bir ölçektir. Kuşkusuz, gerçekte böyle bir şey olmaz ama, buradaki resmin yardımıyla her iki astronot ekibinin iki süpernova patlamasının ne kadar uzaklıkta ve ne zaman meydana geldiğini hesapladıkları zaman ne olacağını daha iyi göz önüne getirebilirsiniz. Dilerseniz konunun ayrıntılı resimlerle görelim.

Bundan tam 70 yıl önce, Albert Einstein önceleri kendisine inanmak istemeyen dünyaya, Genel Görecelik Kuramı'nı açıkladı. Daha on bir yıl önce, zaten özel görecelik kuramı ile şaşkınlık, hayranlık ve karşı tepkiler uyandırmıştı. Bugün bile çoğumuza görecelik (relativite) konusunu kavrayabilmek zor gelmektedir. Şimdi, yeni bir yol izledik. Einstein'ın soyut formüllerini renkli çizimler biçimine soktuk. Bunlar ilk defa olarak, zaman ve yerin uzaydaki çığınca görünen davranışlarını açıklayabilmektedir.

- Galilei bile, görecelik ilkesini biliyordu, Örneğin, biz insanların, yerkürenin hareketlerini fark etmediğimizi söylüyor.

Hiç kimse, üzerinde bulunduğumuz yerkürenin devam olarak ortalama 30 kilometrelik bir hızla uzayda hareket ettiğini umursamıyor. Bu hareket eşbiçimli olduğu için "mutlak" olarak belirlenemez (bir otomobilin hızlandığını ya da frenlendiğini, başka bir dış bilginin yardımı olmaksızın anlayabiliriz). Yerin eşbiçimli hareketini ancak göreceli olarak, yani diğer bir cisim, ya da sabit yere "göre" belirleyebiliriz. Albert Einstein kendi görecelik kuramını anlatırken, örnek-durum olarak tren yolculuğunu belirtmeyi severdi. Biz, bu resimli açıklamamızda örneği biraz değiştireceğiz, çünkü gerekli olan, evrensel boyutlarda iki trenin hareketini göz önüne getirebilmektir. Ancak o zaman kendi deneyimlerimizle bil-

diğimizden başka türlü bir olayla karşılaştığımızı kavrayabiliriz. Gördüğünüz resimde, her iki yolcu birbirlerine yaklaştıklarını ya da uzaklaştıklarını açıkça anlayabilmektedir. Ne var ki, kimin kime doğru geldiği, iki yolcunun eşbiçimli hareketi yüzünden anlaşılabilir. Eşbiçimli hareket, her türlü hızlanmanın (ivmenin) yokluğu ile ortaya çıkar. Eğer yıldız ve gezegenlerin çekim kuvvetini yok sayarsak, her iki yolcunun da ağırlıksız olduğu ve kendilerini "askıda" hissettikleri sonucuna varabiliriz. O halde, herkes kendi hareketini ancak diğer uzay gemileri ya da gök cisimlerine "göre" göreceli olarak belirleyebilir.

- Eğer Baron von Münchhausen cep fenerini yarkarsa ne olur? Yanıt, akıllara durgunluk vericidir!

Eğer biri topla güller yolculuğu, bunların hareketini belirleyebiliriz. Unutmayalım ki, bir de hava direnci vardır. Uydurmacı Baron Münchhausen'in top gülleri üzerinde yaptığı yolculuk sırasında, rüzgâr kulaklarında hayli uğuldemiş olsa gerektir! Daha bundan yüz yıl önce, bilim adamları dünyanın da "bir şey" in içinden geçtiğine inanıyorlardı. Dünyanın içinden geçtiği bu ortama "esir" adı veriliyordu. Amerikalı bilimler Michelson ve Morley, ünlü deneylerinde, bir ışığın bu esirde hangi hızla hareket ettiğini belirlemeye çalıştılar. Deneylerinde, (Michelson 1881'de tek başına, 1887'de daha düzeltilmiş biçimde Morley ile birlikte hazırlamıştı) yerin hareket yönünde giden bir ışık ışını; bir ayna aracılığıyla yandan gelen bir ışık ışını ile karşılaştırılmaktaydı. Düşünü-





len şuydu: Esir; tıpkı hareket halindeki bir otomobile olduğu gibi, bir "rüzgar etkisi" doğuracak ve içinden geçen ışığı yavaşlatacaktır. Oysaki, deneyde iki ışın arasında hiçbir hız farkı belirlenemedi. Bunun sonucunda kimse artık esire inanmaz oldu. Bugün hepimiz biliyoruz ki, ışık her zaman aynı hızla, yani saniyede ortalama 300.000 kilometre yol alır. Yerin öz hareketi ışık hızında bir değişiklik meydana getirmez!

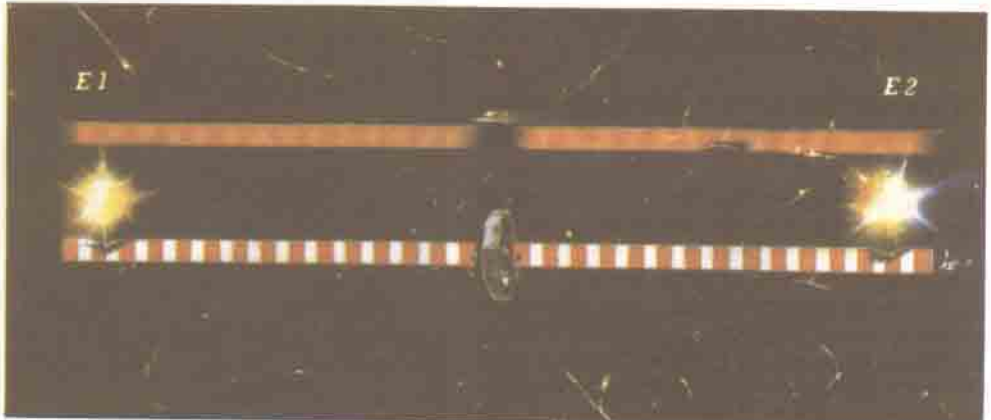
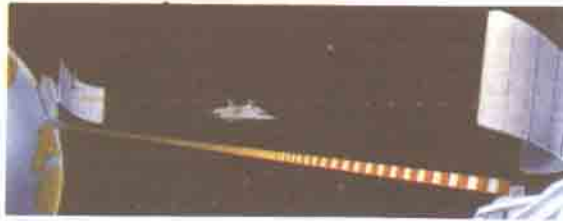
● Evrende hareket halinde olan ve dev metrelerle ölçen iki gözlemci, aynı olay konusunda tamamen değişik sonuçlara varıyorlar!

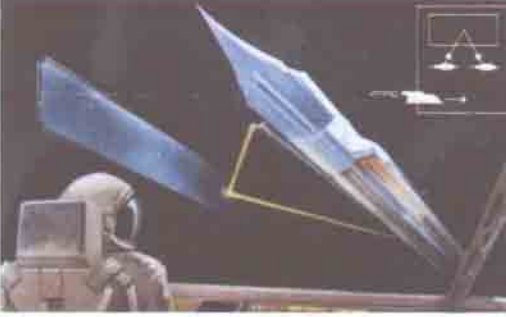
Buradaki durum, ön resimde görülenin aynısıdır, sadece bakış noktası değişiktir. İki astronot ekibinden herbirinin, birçok ışık yılı uzunluğundaki cetvelleriyle ne ölçtüklerini daha iyi görebiliyoruz. Aşağıdaki metrenin taramalarının görüldüğü gibi, uzay istasyonunun bakış açısından her iki süpernova patlaması aynı zamanda olmuştur; çünkü eşit uzaklıkta meydana gelmiştir. Buna karşılık, uzay istasyonu ekibi bu olaylardan daha geç haberdar olacaktır, çünkü ışık şimşeginin, patlama yerinden uzay istasyonuna erişmesi zaman alır. Şimdi ise uzay gemisine geçelim: Uzay gemisi, uzay istasyonuna göre üstün bir hızla hareket etmekte, daha doğru deyimiyle, hızı ışığınkine yakın bir orana erişmektedir. Bunun sonuçları: Burada görüldüğü gibi, bu uzay gemisi tam patlamanın şimşeginin uzay istasyonuna eriştiği zaman, uzay istasyonunun önünden geçerse gemidekiler patlamaların aynı anda olduğu iddiasına karşı çıkacak ve: "Yok canım, patla-

maların olduğu sırada E1 patlamasına E2 patlamasından çok daha yakındık" diyecektir. Görecelik kavramı açıkça, iki gözlemci arasında çok büyük uzaklıklar ve hız farkları olduğu takdirde, "aynı zamanda" kavramının artık bir anlamı kalmayacağını söyler. Resmimiz, küçük uzaklık ve hızlarda bu ayrılığın neden ortaya çıkmadığını da göstermektedir: Bu gibi hallerde, uzay gemisinin patlama ile ışık şimşeginin varışı arasındaki hareketi, pratik olarak sıfırdır.

● Ölçü olarak zaman: Yüksek hızlarda ölçüyü şaşıyor!

Daha önce birçok kere örnek gösterilmiş bir zihnin egzersizini ele alalım: Ne kadar hızla hareket edersek, zamanın da o ölçüde uzadığını kanıtlamak için radar ışınlarından yararlanıyoruz. Radar ışınları, uzay istasyonu tarafından doğrudan doğruya zaptedilebilir. Yerden her altı dakikada bir, bir impuls yollanmaktadır. Her altı dakikada bir de, uzay istasyonunda bir impuls alınmaktadır. Ne var ki, uzay gemisindeki saatler, başka türlü gösteriyorlar. Mürettebat, iki impuls arasında (saate göre) dokuz dakika geçtiğini görüyor. Bir bilgisayar, alınan impulsun, gemideki bir gönderici anten aracılığıyla hemen uzay istasyonuna iletilmesini sağlıyor. Uzay istasyonundakiler de uzay gemisinin sinyallerini altı dakika da bir alıyorlar. Dolayısıyla, doğrudan doğruya yerden gelen impulslarla bunlar arasında bir zaman farkı yok. Buna karşı; uzay gemisinde iki impuls arasındaki zaman, birbuçuk katına çıkıyor, çünkü ışık, süper hızla hareket eden uzay gemisinin ardından yetişmek zorunda. Buna karşı, uzay gemisi, önüne doğru ışınlar gönderirse, ışık hızı gene aynı kalır. Işık hızının artması söz konusu olamayacağına göre, zamanın değişmesi gerekir.





da hızlı hareket, ışığın yolunu uzatıyordu. Burada aynı zamanda ölçüyoruz, o halde ölçüğümüzün kısalması gerekecektir. Bu değişik zaman sistemlerinin sonucudur.

● **Bir ışık şimşeği, bir uzay gemisi ile bir ayna arasında gidip geliyor: İkinci bir uzay gemisinden bakılınca, ışığın aştığı yol çok daha uzamış gibi görünüyor.**

Çok yüksek bir hıza erişmiş olan ve dışarıdaki olayları izleyen bir gözlemci için zamanın uzadığına bir örnek daha veriyoruz: Işık, bir uzay gemisi ile bu gemiye takılmış bir ayna arasında gidip gelsin. Uzay gemisi mürettebatının görüş açısından, ışık ışınları gidip gelirken en kısa yoldan geçeceklerdir. Resimde de bu görülmektedir. Büyük bir hızla uzay gemisinin önünden geçen diğer bir uzay gemisi için durum bambaşkadır. Bu geminin mürettebatı, gönderilen ışık ışınlarının aynaya eğri olarak geldiğini ve gene eğri olarak geri döndüğünü görecektir. İki ışının yolu, bir "V" şekli çizecektir. Herkes, eğri bir yolun düz yoldan daha uzun olduğunu bilir. O halde ışık, gözlemin yapıldığı gemiden bakıldığına göre, daha uzun bir yol açacaktır. Işık hızında ise bir değişiklik olamaz. Bundan şu tek sonuç çıkar: İkinci uzay gemisinde zaman "uzamıştır". Ondan bakıldığında, ışık uzun yolu aşmak için yeterli zamana sahip olacaktır.

● **İlk metre ölçüğünü çok büyük hızlarda hareket ettirsek, ölçek birdenbire kısalacaktır. Acaba neden?**

Çok yüksek hızlarda sadece zaman uzamaz, mesafeler de değişir. Daha önce verdiğimiz iki uzay gemisi örneğinde, daha hızlı giden uzay gemisinde zamanın daha yavaş geçtiğini görmüştük. Şimdi şu görülüyor: Eğer Paris'teki ilk metreyi, yani şu bütün metrelerin atasını bir uzay gemisi gibi hareket ettirerek çok yüksek hızlara erişirsek, metre bir dış gözlemciye göre ne kadar hızla hareket ederse, o ölçüde kısalacaktır. Bunun nedenini bu resimden doğrudan doğruya anlayamayız; ancak bir önceki örnekten çıkarabiliriz. Ora-

● **Neden hiçbir cisim ışık hızına erişemez ve neden enerji ile kütle yakın ilişkilidir?**

Top güllesi "impuls"u buna yeterli olduğu için zırh levhasını delebilmektedir. Zaten güllenin çarpış şiddeti impulsu bağlıdır. İmpuls, kitlenin hızla çarpımına eşittir. Güllenin kendisinden atılmış olduğu uzay gemisinin mürettebatına göre (şekilde görülmüyor), durum açıktır: Gülle, saniyede 1000 metre hızla, zırh levhasına doğru gitmektedir. Buna, hızlı bir başka uzay gemisinin mürettebatı itiraz edecektir. Onlar "Hayır, hızı sadece saniyede 800 metre" diyeceklerdir. Bununla birlikte metrenin doğru ölçtüğünü (çünkü hareket yönüne çarpaz duruyor) ve zırh levhasının gereken kalınlıkta olduğunu ikinci uzay gemisindeki astronotlar tartışmasız kabul ediyorlar. Saniyede 800 metrelik bir hızın deneylere göre buna yeterli olmadığına bilinmesine rağmen, gene de güllenin zırh levhasını delmiş olduğu herkesçe doğrulanıyor. Bu durumda tek çözüm şu: Güllenin hızının ikinci uzay gemisindeki gözlemcinin açısından azalışı oranında, güllenin kütlesinin artması gerekir. Bu da, enerji ve kütle ilişkisini gösterir.



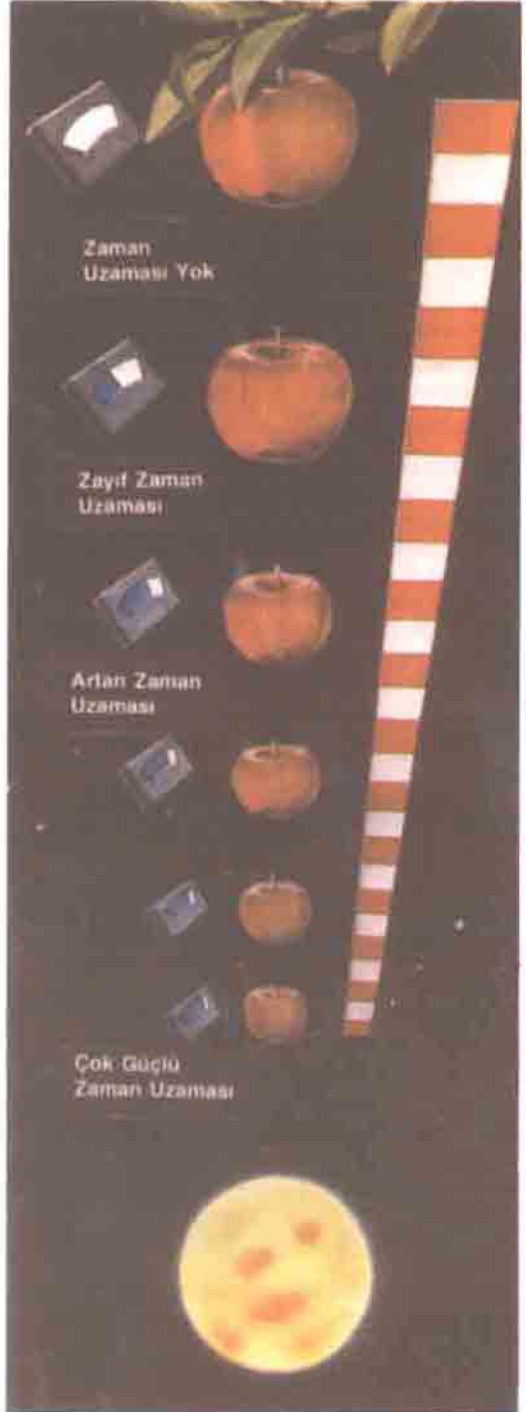
Işık hızına yakın hızlarda bir cisme ne kadar enerji verirsek verelim, artık hızı artmamakta, sadece kütlesi büyümekte, diğer deyişle "ağır"laşmaktadır. Enerji ile kütle arasındaki bu bağlantı, Albert Einstein'ı meşhur "Enerji, kütle çarpı ışık hızının karesine eşittir" yani $E=mc^2$ formülünü bulmaya yöneltmiştir.

● **Durmaksızın düşmekte olan bir kimse neler duyar? Yanıt: Kendisini tıpkı uzaydaki bir astronot gibi ağırlıksız hisseder!**

Görecelik kuramının şaşırtıcı tesbitleri, Einstein'ın "düşünce alışkanlıkları" ile "düşünce zorunlukları" arasındaki farkı gözetmesi sayesinde sağlanmıştır. Düşünce alışkanlıklarımızdan biri, yerçekimi ile ivme ya da hızlanmayı (örneğin bir füzenin motorlarının ateşlenmesinden sonra olduğu gibi) birbirinden çok ayrı durumlar gibi düşünmemizdir.

Aşağıda gösterilmiş dört durum, Einstein'ı bambaşka bir düşünceye sevk etmiştir. Einstein'a göre, çekim ve ivme aynı değerdedir. Kanıtı: Bir asansörün kablo koparsa, asansör içindekilerle birlikte aşağıya düşer. Kazanın kurbanları, uzay gemisindekilerin füze motorları durdurulduğu, yani artık ivme etkisinde olmadıkları zaman hissettikleri aynı ağırlıksızlığı duyarlar. Bizim ağır oluşumuzun nedeni, üzerinde bulunduğumuz sağlam zeminin, daha da yer içlerine düşüşümüzü önlemesidir. Aynı nedenden, astronotlar da, füze motorları

ğından, zaman uzayacaktır. Resimdeki elma, Güneş'e düşerken hızlanmıyor, sadece uzayan zaman içinde aynı hızla düşüyor. Yalnız, zamanı uzamamış dış gözlemciye göre hep hızlanırmış görünür.



onları ileriye doğru hızlandırdıkları zaman ağırlık kazanırlar. Dolayısıyla çekim ve ivme aynı değerdedir.

● **Yerçekimi nasıl olup ta bir kuvvet olmaktan çıktı?**

Düşen elma öyküsü İngiliz bilgini Isaac Newton'u ölümsüz kılmıştır. Newton kütlelerin birbirini çektiğini belirtmiş ve hesaplanabilen bu çekim kuvveti ile bir elmanın yere düşüşü yanında, gezegenlerin Güneş etrafında dolanışını da açıklayabilmişti. Albert Einstein 1905'te özel görecelik kuramını ortaya koyup zaman ve mekânı göreceli olarak belirledikten sonra, hemen yerçekiminin niteliği üzerinde düşünmeye başladı. Sonunda iki cisim arasındaki çekimi açıklamak için bir kuvvet gerekmediğini kavradı. Kütleyle sahip her bir cisim etrafındaki mekânın eğrildiğini varsaymak yeterli olacaktı. Bu eğrilik ne kadar fazla olursa, bir ışık ışınının bu mekândan geçmesi o ölçüde zaman alacaktır. Hızı artmayacağı

FOTOĞRAFIN DÜŞÜNDÜRDÜKLERİ

Geçen sayımızda yer alan fotoğraf (altta) bir bağırsak kurdunun (*Taenia sagenata*) resmidir. . Elektron mikroskopla büyütülmüş bu

fotoğraf bağırsak kurdunun ünlü film kahramanı uzaylı E.T. ile benzerliğini gerçekten düşündürmüyor mu?

Yanda ise bu sayımızdaki bilmece fotoğraf görülüyor. Bakalım ne olduğunu bulabilecek misiniz?



● Mekân ve zaman nasıl birbirleriyle ilişkili ve neden evrende kara delikler var (ya da olabilir)?

Evrende bir ışık ışını hep aynı hızla, saniyede 300.000 kilometre yol alır. Çekim (mekân eğriliği) bulunan bölgelerde, yolunu dolandırmaya zorlanır. Işığın hızı gene aynı kalmakla birlikte, zaman uzar. Bu, özellikle bir kara deliğin içinde aşırı boyutlara ulaşır. Bu kara delikte, kütle minicik bir noktaya indirgenmekte ve sonsuz derecede yoğunlaşmaktadır. Buraya gelen bir ışık ışını, mekânın şiddetle eğrilmesi dolayısıyla o derece dolambaçlı bir yol izlemeye zorlanmaktadır ki, artık bir daha kara delikten dışarı çıkamamaktadır.



● Albert Einstein ile çekirdek enerjisi arasındaki ilişki nedir ve gerçekte maddede ne kadar enerji gizlidir?

Albert Einstein, "Yüzyılın formülü" dediğimiz, $E=mc^2$ denklemi ile atom bombasının yapımını sağlamış değil-



dir. Sadece, bilim adamlarını ve teknisyenleri böyle bir bombanın yapımının denenebileceği düşüncesine yönlendirmiş olabilir. Atom silahları patlatıldığında, sadece çok küçük miktarlarda madde enerjiye dönüşmektedir. Einstein'ın $E=mc^2$ formülü ile bir kilogram kütlede ne kadar enerji gizli olduğunu hesaplayabiliriz. Bu enerji, bir milyar tonluk bir ağırlığı 9,5 kilometre yükseğe, yani Everest dağından daha yukarılara çıkarmaya yeterlidir. Ancak bu enerjiyi açığa çıkarabilmek için, maddeyi tamamen enerjiye çevirmemiz gerekecektir. Bunun mümkün olup olmayacağını henüz bilmiyoruz.

P.M.'den kısmen kısaltarak çeviren Dr. Ergin KORUR

BİLİM VE TEKNİK