

Not Defteri

V u r a l A l t ı n

Evrensel Sabitler

Nerede kalmıştık? Planck büyüklüklerini veren boyutlu sabitlerden hangileri gerçekten evrensel? Temel yani, “daha temel diğer bazı sabitler cinsinden hesaplanamayan...”

Planck	İfade	MKS büyüklüğü
Uzunluğu, L_p	$(\hbar G/c^3)^{1/2}$	1.61624×10^{-35} m
Kütlesi, M_p	$(\hbar c/G)^{1/2}$	2.17645×10^{-8} kg
Zamanı, T_p	$(\hbar G/c^5)^{1/2}$	5.39121×10^{-44} s
Sıcaklığı, Θ_p	$(\hbar c^4/k^2 G)^{1/2}$	1.41679×10^{32} K
Yükü, Q_p	$(4\pi\epsilon_0 \hbar c)^{1/2}$	$1.8755459 \times 10^{-18}$ C

Boltzmann sabiti k... Çok sayıda parçacıktan oluşan sistemlerde, parçacıkların ortalama kinetik enerjisiyle sıcaklık arasındaki ilişki katsayısı bu. İdeal gazlar için $E=3kT/2$ örneğin. Burada asıl fiziksel değişken, kinetik enerji. Sıcaklık onun ortalama değerine göstergelik eden, yapay bir değişken. Dolayısıyla, k; biri fiziksel, diğeri yapay iki değişken arasında çevrim sabiti; ‘ayak’la metre arasındaki katsayıya benzeyen. Mikro ölçekte T diye bir şey yok aslında, örneğin tek bir atom için sıcaklık anlamsız. Öyleyse, k temel bir sabit değil. Başka? Boşluğun elektrik geçirgenliği $1/4\pi\epsilon_0$. Fakat manyetik geçirgenliği de μ_0 ve $\epsilon_0\mu_0=1/c^2$. Bu sabitler, elektromanyetik dalgaların boşlukta ışık hızıyla yayıldığına işaret etmekten başka, yeni bir şey söylemiyor. Nitekim, CGS sisteminde görünmüyorlar zaten... Ne kaldı geriye: c, \hbar , G. Bunlar niye temel?

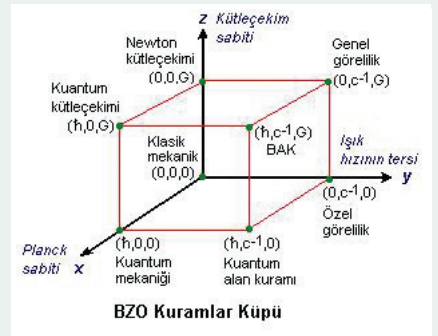
Işık hızı c, evrendeki ulaşılabilir en yüksek hız. Tüm başvuru sistemlerinde aynı. Kütleli parçacıklar boşlukta bu hızla, diğerleri daha yavaş hareket etmek zorunda. Özel görelilik kuramı, bunun sonucu. Yaptırım gücü var bu sabitin, evrenin yapısına kısıtlamalar getiriyor. O kadar ki, evrendeki tüm enerji; maddeyi de enerjiye çevir; tek bir elektronu dahi ışık hızına ulaştırmaya yetmiyor. Gerçi yüksek bir hız. Ama daha da yüksek olsa ne olurdu? Örneğin sonsuz olabilseydi, görelilik kuramı klasik mekaniğe dönüşürdü. Klasik mekaniğe hız sınırı yok çünkü. Peki, sıfır olsaydı? Herşeyin hareketsiz olduğu durağan bir evren. Uzunla zaman arasındaki bağ kopardı (‘decoupling’). Sıkıcı...

Planck sabiti \hbar , açısız momentum değişiminin en küçük birimi, kuantumu. Bunun da evrenin görünümünde belirleyici rolü var. Örneğin hidrojen atomunun yarı-klasik modeline bakalım. Elektronun açısız momentumu, \hbar ’n bir tamsayı katına eşit. Yani, yörünge yarıçapı a ise: m_e

$v_a=n\hbar$ (I). Öte yandan bu elektron, protonun çekme kuvveti altında merkezci ivmeleniyor: $m_e v^2/a=e^2/4\pi\epsilon_0 a^2$ veya $m_e v^2 a=e^2/4\pi\epsilon_0$ (II). (II)’yi (I)’e bölersek, $v=e^2/4\pi\epsilon_0 \hbar$. Bunu (I)’e yerleştirip, yarıçapı çözersek, $a=n\hbar/m_e v=4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2/m_e e^2$. En düşük enerji düzeyi, $n=1$ için: $a_0=4\pi\epsilon_0 \hbar^2/m_e e^2$. ‘Bohr yarıçapı’ bu. Atomların büyüklüğü hakkında fikir veriyor. Elektronun bu yörüngedeki hızı $v_0=e^2/4\pi\epsilon_0 \hbar$, bunun ışık hızına oranı da $\alpha=e^2/4\pi\epsilon_0 \hbar c$ oluyor; ‘ince yapı’ sabiti. İlginç: Demek ki bu ünlü sabit, Bohr atomundaki elektronun en alt yörüngedeki hızının ışık hızına oranı... Bu durumda, \hbar büyürse eğer; elektronun hızı küçülürken ve kinetik enerjisi azalırken, atomun yarıçapı büyüyor, bütün atomların: Evrenin manzarası, ölçeği değişirdi tümüyle, dışarıdan bakan birisi için; diğer unsurlar sabit kalmak kaydıyla. Ya küçülseydi, örneğin sıfıra gitse?... Açısız momentum o zaman; kesikli değerler arasında sıçrayıp durmak zorunda kalmak yerine, kesintisiz olarak değişebilirdi, klasik mekaniğe olduğu gibi. Peki atoma ne olurdu? Yarıçapı sıfır: atom filan olmazdı. Beklenen bir durum. Çünkü, açısız momentumu üzerinde kesiklilik kısıtı olmayan elektron, devamlı merkezci ivmelenildiği yörüngede; ivmelenen her yük gibi, sürekli ışıyıp, çekirdeğe düşerdi: Yörüngede duramaz, atom filan olmazdı. Klasik mekaniğin zaten, atomun varlığını açıklamakta zorlandığından, kuantum mekaniğinin doğumu zorlanmıştı. Keza radyoaktifliğin... Yani kuantum mekaniği, $\hbar>0$ olduğu için var; $\hbar=0$ olsaydı, klasik mekaniğe dönüşürdü. Planck sabitinin şimdiki değerinden başlayıp, 0’a kadar kaydığını düşünürsek; atomlar giderek küçülür ve kuantum mekaniğinin betimlediği evren manzarası giderek farklılaşıp, sonunda klasik mekaniğin betimlediği evren resmiyle aynılaşır; onunla çakışır. O resimde biz olmadık...

Öte yandan; spini tamsayı olan bozonlarla, kesirli olan fermiyonlar çok farklı davranıyor: \hbar önemli. Işık hızıyla birlikte kilit konumlarda duruyor bu ikisi ve birer evrensel sabit olmakla kalmayıp; c doğadaki hızlara üst, \hbar da bir diğer fizik değişkenine alt sınır koyuyor. Kütleçekimi sabiti G ise, bir nokta civarındaki enerji yoğunluğuyla, uzay-zamanın o nokta civarındaki eğrilik yarıçapı arasındaki ilişkiden kaynaklanıyor, enerji yoğunluğunun uzay-za-

manda yol açtığı bükülmeden. Kütle de enerjiye eşdeğer zaten: $E=mc^2$. Yani G, geometriyle ilgili bir sabit; konumu zayıf görünüyor, ama olsun. Değeri sıfır olsaydı; kütleçekimi olmazdı, gezegenler ve galaksiler... Bu üçü, bilinen fizik kuramının nirengi noktalarını oluşturuyor gibi. Şöyle ki; doğada hızın üst sınırı olmasa, yani ışık hızı sonsuz olsa, özel görelilik kuramı olmazdı. Halbuki var ve gözlemleniyor. Açısız momentum kesiksiz değişebilse ve değişimlerinin bir alt sınırı olmasaydı, yani \hbar sıfır olsaydı, kuantum mekaniği olmazdı. Halbuki var ve içinde yaşıyoruz. G’yi sıfır alınca; ya gezegenlerle galaksilerin oluşmadığı bir evrenle karşılaşırız, ya da kütleçekiminin diğer kuvvetlerin yanında gözardı edilebildiği mikro-ölçeğe gidip, kuantum mekaniğinin dünyasına giriyoruz. Kısacası; bu sabitlerin değişebildiğini varsayıp, eksenleri \hbar , c^{-1} , G olan bir koordinat sistemi düşünürsek, Bronshtein-Zelmanov-Okun (BZO) küpü...



Bu küpün yüzeyinde hareket ederken; $(\hbar,c^{-1},G) \rightarrow 0$ limiti bize ‘klasik mekaniği’, $(c^{-1},G) \rightarrow 0$ ise kuantum mekaniğini veriyor. $(\hbar,G) \rightarrow 0$ özel görelilik kuramını, $(G) \rightarrow 0$ görelilik alanlarını, $(\hbar) \rightarrow 0$ genel görelilik kuramını, $(\hbar,c^{-1}) \rightarrow 0$ Newton’un kütleçekimi yasasını, $(c^{-1}) \rightarrow 0$ kuantum kütleçekimi kuramını... Bunların her biri; ‘kütleçekiminin kuantum kuramı’nın (BAK), yani ‘herşeyin kuramı’nın özel halleri. Bu sonucusu, (\hbar,c^{-1},G) üçlüsünün halen gözlemlenen değerlerine karşılık geliyor. Biz her köşede yaşıyoruz, küpün üstteki bize bakan köşesinin tanımladığı evrende. Fakat, herkesin tatminkar bulduğu bir BAK henüz bilinmiyor. Şimdiki en güçlü aday, üzerinde halen çalışılan sicim kuramı. Bir soru daha: Evreni betimlemek için en az kaç boyuta, dolayısıyla da en az kaç temel birime ge-

Not Defteri

reksinin var?...

Evren; kütle-enerjinin, uzay-zamandaki örgüsü. Dolayısıyla; uzay, zaman ve kütle için birer; yani üç temel birim lazım: MKS. Böyle diyor Lev B. Okun¹. Peki yük birimi ne oluyor o zaman? İki yük arasındaki kuvvetin hesaplanabilmesi lazım, keza iki akım arasındaki... Hah: Elektrik kuvveti kütleçekimiymiş gibi yazılabilir: $F_E = q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 r^2 = Gm_1 m_2 / r^2$. Burada m_1' ve m_2' , yüklerle eşdeğer, diyelim 'hayali' kütleler: $m_1' = q_1 / (4\pi\epsilon_0 G)^{1/2}$, $m_2' = q_2 / (4\pi\epsilon_0 G)^{1/2}$. Yüklerin yerine, bu eşdeğer kütleler kullanılabilir, aralarındaki kuvvetin hesabı için. Yük o zaman kütlelerin gölgesi gibi olur, yalnızca kütle birimi yeter... Aslında; kütle yükün gölgesi gibi, iki kuvvetin oranına bakınca; ama neyse...

MKS'ye karşılık, sicim kuramının öncülerinden Gabriele Veneziano, evrensel sabit olarak ışık hızı c ve sicim kuramındaki sicim uzunluğu λ_s ile yetinilebileceği, dolayısıyla sadece uzunluk ve zaman boyutlarının gerektiği kanaatinde: MS. Nihayet, Michael Duff, bu ikisinin dahi gereksiz olduğunu savunuyor. Çünkü, örneğin ışık hızının; zamanla uzunluk arasında bir çevrim katsayısından ibaret olduğunu düşünüyor: $x=ct$. Boltzmann sabiti k 'daki gibi... Öyle ya; uzunluğu 'ışık yılı'yla ölçüyoruz zaten, bir de zaman birimine ne gerek var? Gerçi zamanı metreyle ölçmüyoruz ama... Evren zaten boyutsuz denklemlerle betimleniyor, eşitliklerin iki tarafı da aynı boyuta sahip olmak zorunda. Örneğin $F=m.a$ ilişkisi; sol tarafı Planck kuvvetine, sağ tarafı da Planck kütlesiyle ivmesinin çarpımına bölmek suretiyle, boyutsuz olarak yazılabilir. O halde evrenin tüm fiziksel betimlemesi, değişkenlerin boyutsuz oranlarıyla yapılabilir, kuramsal olarak böyle. Ama; kuramın doğruluğunu sınamak için ölçüp biçmek gerektiğinde, işte o zaman boyut gerekiyor. Boyut; ölçme işleminin, gözlemcinin, vazgeçilmez aracı. Evrenin boyuta ihtiyacı yok da, bizim var sanki, gözlemci olarak. Ama ölçmek de kıyaslamaktı zaten, boyutsuz oranlar almak. O zaman, evrenin yapısı açısından asıl önemli olan, boyutlulardan ziyade, boyutsuz sabitler olsa gerek; 'boyutsuz evrensel temel sabit'ler. Veya 'parametre'ler. Ne gibi?...

Örneğin, temel parçacıkların kütlelerinin oranları, kuarklarla leptonların: 11 tane. Sonra, 'ince yapı sabiti' var, α ; hidrojenin enerji düzeylerinin ayrışma büyüklüğünü belirleyen. Bohr atomundaki elektronun, en alt yörüngedeki hızının ışık hızına oranıydı bu: $\alpha = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \hbar c$. Başka hünerleri de var α 'nın. Proton yükünün Planck yüküne oranı, $e/Q_P = e / (4\pi\epsilon_0 \hbar c)^{1/2} = \alpha^{1/2}$ oluyor. İki yük arasındaki kuvvet, yüklerin çarpımıyla orantılı olduğuna

göre; iki proton arasındaki kuvvetin iki Planck yükü arasındaki kuvvete oranı α 'ya eşit. Bu ince yapı sabiti aynı zamanda, elektromanyetik kuvvetin diğer kuvvetlere oranla şiddetinin ölçüsünü veren 'bağlantı sabiti' ('coupling constant'). Dolayısıyla, bir sürü elektromanyetik olayda karşımıza çıkıyor. Fakat, henüz kimse bu sabitin, nereden geldiğini veya nasıl hesaplanabileceğini bilmiyor. Gerçi başka evrensel sabitler de var, sık karşılaştığımız. Örneğin π sayısı, ya da doğal logaritma tabanı e . Fakat bunları hesaplamak mümkün, istenen duyarlılıkla. En azından; $\cos(\pi)=-1$ ve $\ln(e)=1$ olduğuna göre, $\arccos(-1)$ ile $\exp(1)$ 'in seri açılımlarından. Fakat α için böyle bir formül, algoritma henüz yok; bilgisayarda hesaplamak için. Şimdilik, içerdiği değişkenlerin ölçülen değerlerinden hareketle, yaklaşık olarak hesaplanabiliyor². Richard P. Feynman, bütün kuramsal fizikçileri meraklandıran bu sabitin "Tanrı'nın cezası bir gizem" olduğunu söylemiş. Ardından da, π ve e ile arasında bir ilişki olabileceği öncesizini sergilemiş: 40 yıl önce...

Nereden geldik buraya? Boyutsuz temel sabitler, ya da parametreler: Güçlü bağlantı sabiti, zayıf bağlantı sabiti, kütleçekimsel ince yapı sabiti ve diğerleri. Toplam olarak, iki düzine kadar³. Evreni isabetle betimleyen bir 'Birleşik Alanlar Kuramı'nın, yani 'Herşeyin Kuramı'nın bu sabitleri öngörüp, hesaplayabilmesi lazım. Halbuki mevcut kuramlar bunu yapamıyor ve sabitlerin, kuramlara dışardan, parametre olarak yerleştirilmesi gerekiyor. Bazı kuramlar, bu sabitlerin değişebileceği öngörüsünde. Örneğin, ince yapı sabiti α 'nın, enerji ölçeğine bağlı olarak; farklı evren modellerinde veya aynı evrenin farklı evrelerinde, değişik değerler alabileceği... Bu olasılığı sınamak için yapılan gözlemlerin sonuçları çelişkili. Dolayısıyla, α 'nın zamanla değişip değişmediği sorusu, biliminsanları arasında hararetle tartışılıyor. Çünkü α 'nın değişmesi, evrenin 'yeniden ölçeklenmesi' demek. Niye öyle, bu ne demek?...

Örneğin, tüm boyutsuz temel sabitler aynı kalmak kaydıyla, ışık hızının ansızın yarıya, $c/2$ 'ye indiğini varsayalım. Planck uzunluğu $L_P = (\hbar G / c^3)^{1/2}$, $\sqrt{8}$ katına çıkmış ve uzaydaki, atomlar dahil her şeyin boyutu büyürken, metrelerinki de uzamıştır. Yeni metremizin uzunluğu M ; eski metre cinsinden, $\sqrt{8m}$ olur. Öte yandan Planck zamanı $T_P = (\hbar G / c^5)^{1/2}$, $\sqrt{32}$ ile çarpıl-

mış ve saatler yavaşlarken, saniyeler uzamıştır. Yeni saniyemizin uzunluğu S ; eski saniye cinsinden, $\sqrt{32s}$ 'dir. Bu yeni evrendeki ışık hızı, yani $(c/2) m/s = (c/2) (M/\sqrt{8}) / (S/\sqrt{32}) = c (M/S)$ olur. Yani; ışık hızının yeni evrendeki, yeni birimler cinsinden sayısal değeri değişmez. Bu evren yeni den ölçülenmiş, fakat içerdiği boyutlu sabitlerin ölçülen değerleri aynı kalmıştır. Bu evrene dışardan bakmakta olan Tanrı benzeri bir varlık, sözkonusu değişikliğin farkına varırdı tabii. Fakat içinde yaşayanlar varamazdı. Halbuki evrensel (boyutsuz) parametreler için, durum böyle değil. Örneğin, güçlü kuvvet bağlantı sabiti %20 daha büyük olsaydı; iki proton birleşip, 'diproton'lara vücut verebilirdi. Evrende şimdiye hidrojen kalmaz; yıldızlar hidrojen yakıp, ışık ve enerji yayamazdı. Donuk bir evren, ölü... Bu durum; evrensel parametrelerin yaşamı mümkün kılacak şekilde 'ince bir ayar'a sahip olduğunu savunan 'antropik ilke'yi gündeme getiriyor. Buna karşıt görüşlerden biri; evrenimizin geniş bölgelerinde hayat bulunmadığını, dolayısıyla evrensel parametrelerin, pek öyle 'ince ayar'lı olmadığını savunuyor. Bir diğeri, farklı bir parametre kümesince betimlenen bir evrende, bizimkine benzer karbon-12 merkezli olmasa da, farklı yaşam türlerinin mümkün olabileceğini veya en azından, böyle bir evrende hayatın mümkün olmadığını kanıtlamanın olanaksızlığını vurguluyor. Öte yandan, çoklu evren kuramları, paralel birçok evrenin bulunduğu ve bunlardan bazıları hayata uygun iken, diğer pek çoğunun olmayabileceğine işaret ediyor. Stephen Hawking, evrenimizin pek de özel olmadığı ve 'Big Bang'le birlikte 'yok'tan başlayarak, hayatımızı barındırabilecek şekilde gelişmesi olasılığının %98 civarında olduğu görüşünde. Ama: "Evreni betimleyen bir kuram geliştirip denklemlerini yazabilirsiniz, fakat bu denklemlere 'ateşi üfleyp,' o evreni var eden nedir?" sorusunu da soruyor. Doğa bilimci Stephan Jay Gould ise, "evrenimizde niye hayat var?" sorgulamasını; tesadüfen düşüş gelen zararların ardından, "niye böyle oldu?" diye sorulmasına benzetiyor. Steven Weinberg'in yorumu ise şöyle: "Madde ayağa kalkıp, bilinç olmuş; kendini kavramak için." Yürüyor...

Siz ne dersiniz?...

¹ Duff, M.J., Okun, L. B., Veneziano, G., *Dialogue on the number of fundamental constants*, arXiv:physics/0110060 v3, 13 Sep 2002, JHEP03(2002)023.

² Aralık 2003 itibarıyla, CODATA ('Committee on Data for Science and Technology, ICSU) tarafından önerilen değeri, son iki basamaktaki hata payları parantez içinde olmak üzere; $\alpha = 7.297352568(24) \times 10^{-3} = 1/137.03599911(46)$.

³ http://hepweb.rl.ac.uk/ppuk/physFAQ/open_questions.html

¹ Geçen ayki yazının basılı kopyasında Planck yükü için verilen bu ifadedeki karekökü gözden kaçmış; Maxwell yasaları için verilen ifadeler ise, 'kes yapıştır' işlemleri arasında nabla (∇) harfinin grafikte çizilip yerleştirilmesi unutulduğundan, anlaşılmasız bir hal almış. Çok özür dilerim, şöyle olacaktı:

	MKS birimleriyle	Planck birimleriyle
Maxwell yasaları:	$\nabla \cdot E = (1/\epsilon_0)\rho$	$\nabla \cdot E = 4\pi\rho$
	$\nabla \cdot B = 0$	$\nabla \cdot B = 0$
	$\nabla \times E = -\partial B/\partial t$	$\nabla \times E = -\partial B/\partial t$
	$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \partial E/\partial t$	$\nabla \times B = 4\pi J + \partial E/\partial t$