



Aralık / December 2023

Cilt/Volume: 7

Sayı/Issue: 2

ISSN: 2587-1706

Anadolu Öğretmen Dergisi
Anatolian Journal of Teacher



www.dergipark.gov.tr/aod

DOI: 10.35346/aod.1391416

ZAMAN ÜZERİNE GÜNCEL DÜŞÜNCELER

Prof. Dr. Özden ASLAN ÇATALTEPE

İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 34876, Yakacık/Kartal İstanbul, Türkiye
E-posta: ozden.aslan@gedik.edu.tr, ozdenaslan@yahoo.com

ÖZET

Zaman fizikteki temel niceliklerden biridir. Zamanın sistemler üzerindeki anlamı ya da etkisi sistemin karakteristik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu makalede öncelikle bilim insanları ve filozoflar tarafından yapılan ve sanal, öznel zamanlar, anti-zaman, zaman vektörleri ile negatif zaman gibi kavramları içeren çeşitli çalışmalardan kısa bilgiler verilmiştir. Sonrasında fizikteki zaman kavramının varlığı, klasik ve kuantum fizik konuları bağlamında uzay, zaman, belirsizlik ilkesi ve entropi gibi niceliklerin yardımıyla incelenmiştir. Böylelikle, zaman kavramı aracılığıyla fizik bilimindeki diğer niceliklere daha anlaşılır bir bakış açısıyla bakılması mümkün olabilecektir.

Anahtar kelimeler: Zaman, Klasik fizikte zaman, Kuantum fiziğinde zaman.

CURRENT THOUGHTS ON TIME

ABSTRACT

Time is one of the fundamental quantities in physics. The meaning or effect of time on systems varies depending on the characteristic features of the system. In this article, first brief information is given about the concepts of virtual, subjective time, anti-time, time vectors and negative time researched by scientists and philosophers. Then the existence of the concept of time in physics is investigated by the help of the concepts of quantities such as space, time, uncertainty principle and entropy in terms of classical and quantum physics. In this way, it may be possible to look at other quantities in physical science from a more understandable perspective through the concept of time.

Keywords: Time, Time in classical physics, Time in quantum physics.

1. GİRİŞ

Bilim insanları ve filozoflar uzun süreden beri zamanın varlığını ya da gerçekte ne olduğunu araştırmaktadırlar (Einstein, 1905; Einstein, 1915; Einstein, 1916; Hawking, 1992; Jammer, 2007; Ashtekar, 2015; Karpenko, 2016, Valente, 2019). Klasik sistemlerde zaman, gözlemciler için aynı değere sahipken, göreceli (rölativistik) hızlarda hareket eden sistemlerde hıza bağımlı hale gelir. Dolayısıyla zaman, her sistem tarafından farklı şekillerde algılanabilen ve sistemlere göre değişebilen bir özelliğe sahiptir. Bu bağlamda kuantum mekaniksel özellikler sergileyen insan beyninin zaman kavramını farklı şekillerde algılaması kaçınılmaz olacaktır. Ghaderi, termodinamik entropi aracılığıyla beynin zaman algısını araştırmıştır. Bilindiği gibi evrende (Şekil 1) entropi (düzensizlik) zamanla artar ve bu artış zamanın okunun yönünü de belirler. Beynin entropisi, beyin faaliyetlerine bağlı olarak artıp azalabileceği için bu durumda farklı zaman vektörleri üretir. Ghaderi, hafıza çalıştığında zamanının geçmişe doğru bir geçişe neden olduğunu öne sürmüştür. Dolayısıyla beyin ile evren arasındaki zaman uyumsuzluğu, beyindeki öznel zamanı ortaya çıkarmaktadır (Ghaderi, 2019).



Şekil 1. Kapalı bir sistem olarak evren (Ghaderi, 2019).

Kotchoubey'e göre ise insan bilinci sanal bir mekân olarak tanımlanmakta ve zaman boşluğu üzerinde bir köprü kurarak, güçlü bir zaman boyutu ortaya koymakta, böylece bellek çift yönlü bir işleve sahip olmaktadır. Yani organizma sadece geçmişle değil, geleceğiyle de ilişkilendirilmektedir. Bu durumda dış zaman ve bilinç (öznel, sanal) zamanı olarak iki farklı zaman kavramı ortaya çıkmaktadır. Dış zaman ile sanal zamandaki serbest yolculuğun birleşimi, kişiye herhangi bir uzak veya olası sonucu hızlı bir şekilde gerçekleştirme yeteneği sağlamaktadır (Kotchoubey, 2018). Kozłowski ve Marciak-Kozłowska, insan bilincini beşinci kuvvet olarak tanımlamış ve insan bilincine ait iç enerjiyi, bilinç alanının kuantumunu, mesafesini hesaplamış ve karakteristik zamanını ise 1 saniye olarak bulmuştur (Kozłowski & Marciak-Kozłowska, 2017). Marciak-Kozłowska ve Kozłowski, ayrıca evrenin pozitif ve negatif zamanları olan iki evrenden oluştuğunu ve evrenin negatif zamanla sona erdiğini öne

sürmüşlerdir (Marciak-Kozłowska & Kozłowski, 2017). Bakry ve arkadaşları ise benzer şekilde negatif zamanın "Büyük Patlama" öncesi dönem, pozitif zamanın ise patlama sonrası dönem olduğunu belirtmişlerdir (Bakry vd., 2021). Antonov, anti-zamanla ilgili makalesinde doğada çok sayıda evren-anti evren çiftlerinin bulunduğunu ve anti-evrenlerde evrenlerdeki madde, uzay ve zamanla aynı miktarlarda anti-maddenin, anti-uzay ve anti-zamanın bulunduğunu açıklamıştır (Antonov, 2021). Zaman felsefesi olan eternalizm bakış açısıyla ise tüm zamanlar eşit derecede gerçektir (Slavov, 2020). Bu çalışmaların yanı sıra zamanın bir illüzyon olduğunu belirten pek çok araştırma da mevcuttur. Callender'e göre zaman "anlardan" meydana gelen kesikli bir yapıdan oluşur (Callender, 2010). Kozyrev ise yıldızların ve gezegenlerin zaman akışını enerjiye dönüştürdüğünü öne sürmüş; ayrıca zamanın akışı yoluyla yeni bir tür astronomik gözlem geliştirmiş ve kullanmıştır (Rokityansky, 2008).

Son yıllarda, zaman, negatif zaman ve anti-zaman kavramları ilgi çekici bir araştırma alanı haline gelmiş ve birçok bilim insanı ve filozof tarafından araştırılmaya devam etmektedir. Bu makalede ise zaman kavramı klasik ve kuantum fiziğinin çeşitli alanlarında incelenmiştir. Bu bağlamda, zaman, frekans, periyot kavramları kısaca açıklanmış ve hareket, momentum, Maxwell Denklemleri, entropi, zaman genişlemesi, enerji-zaman belirsizliği, zaman geri dönüşüm simetrisi ve kara deliklerin çekim alanında zamanda meydana değişimler olmak üzere çeşitli alt konular altında zaman olgusu incelenmeye çalışılmıştır.

2. KLASİK FİZİKTE ZAMAN

Zaman, uluslararası System of International (SI) birim sisteminde tanımlanan temel büyüklüklerden biridir ve sembolü t 'dir. Zaman; saat, dakika ve saniye cinsinden ölçülür. SI sisteminde zamanın birimi saniye (s)'dir. Bir cismin bir saniyedeki döngü sayısına frekans (f) denir. Frekansın birimi, hertz (Hz)'dir. Periyot, bir cismin bir döngü veya salınım yapması ve orijinal konumuna dönmesi için geçen süre olarak tanımlanır. T sembolü ile gösterilir, birimi saniyedir. Frekans ve periyot arasındaki bağıntı $f=1/T$ şeklindedir. Hz biriminde ifade edildiğinde, Sezyum 133 atomunun temel enerji seviyesindeki iki süper ince düzeyi arasındaki geçişine karşılık gelen frekansın sabit değeri olan $9.192.631.770 \text{ s}^{-1}$ 'e eşittir. Kısaca Sezyum-133 atomunun $9.192.631.770$ defa salınım yaptığı süre saniye olarak adlandırılır (SI Units–Time, 2023; Second: Introduction, 2023; Temel SI Birimleri, 2023).

Fizikte zaman niceliğinin bulunduğu pek çok konu vardır. Klasik fizik konuları arasında yer alan klasik mekanik, termodinamik, elektromanyetizma gibi konuları içerisinde yer alan zaman niceliği, zaman kavramının önemini kolaylıkla ifade edecektir. Hareket konusunda yer alan hız (\vec{v}) ve ivme (\vec{a}) nicelikleri sırasıyla birim zamandaki yer değiştirme ($\Delta\vec{x}/\Delta t$) ve birim zamandaki hız değişimi ($\Delta\vec{v}/\Delta t$) şeklinde ifade edilir. Bu niceliklerin anlık yani belirli bir zamandaki değerlerini bulmak için ise zamana göre türevlerinin alınması gerekmektedir. Sabit ivmeli harekette ise konum, zamana ikinci dereceden bağlı bir polinom denklemi şeklindedir. Kısaca zaman kavramı olmadan hareket denklemlerini yazmak ve hareket hakkında bilgi sahibi olmak imkânsız hale gelmektedir. Böylece, zaman ve uzay birbiriyle iç içe geçmiş iki nicelik haline gelmiştir (Serway & Beichner, 2000).

Enerji konusunda yer alan güç niceliği ise birim zamanda yapılan iş olarak tanımlanır. İtme-momentum eşitliğinde yer alan kuvvet, \vec{F} ise Δt zaman aralığındaki momentum değişimi, $\Delta\vec{p}$ olmak üzere;

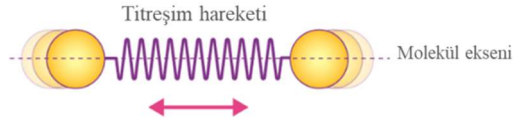
$$\vec{F} = \Delta\vec{p}/\Delta t \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir (Serway & Beichner, 2000).

Elektromanyetizma konusunda yer alan elektrik akımı niceliği; iletken bir cismin, kesit alanından birim zamanda geçen serbest elektronların sayısı şeklinde ifade edilir. Alternatif akımda ise akımın yönü ve şiddeti zamanla değişmektedir. Elektrik ve manyetik alanların birbirleriyle olan bağıntısını açıklayan dört denklemden oluşan Maxwell Denklemleri içerisinde de yine zaman kavramı ile karşılaşılır. Maxwell Denklemlerinden olan Amper Yasası, elektrik alanın zamanla değişiminin manyetik alanı oluşturduğunu açıklar. Faraday İndüksiyon Yasası ise manyetik alanın zamanla değişiminin elektrik alanı oluşturduğunu ifade eder. Elektrik ve manyetik alanların zamanla değişimleri sayesinde elektromanyetik dalga, herhangi ortama ihtiyaç duymadan uzayda ilerleyebilmektedir. Yine elektrik ve manyetizma bölümünde yer alan öz indüksiyon elektromotor kuvveti (emk), eğer devredeki bobin (solenoid) üzerinden geçen akım zamanla değişiyorsa, ortaya çıkmaktadır (Serway & Beichner, 1996a).

Zaman okunun yönünü (Klein, 2016) belirleyen entropi (düzensizlik) kavramı ise termodinamiğin temel konuları arasında yer alır. Entropi, bir sistemin mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjisini ifade eder. Entropi yani düzensizlik, evrende sürekli olarak artar ve bu durum zaman okunun yönünün sadece ileriye doğru olduğunu söyler (Ben-Naim,

2020). Termodinamikte zaman niceliği ile debi yani bir borunun kesit alanından birim zamanda geçen kütle miktarı konusunda da karşılaşılr. Ayrıca termodinamik süreçlerde sistemlerin çoğunlukla sanki-dengeli olduğu kabul edilir; yani sistemde zamanla bir değişiklik olmadığında sistemleri analiz etmek daha da kolay hale gelir (Çengel & Boles, 1996).



Şekil 2. İki atomdan meydana gelen bir molekülün gösterimi (Degree of freedom, 2023).

Zamanın tersi bir nicelik olan frekans kavramı ile molekülleri uyarmanın diğer bir modu olan titreşim hareketi konusunda karşılaşılr. Şekil 2’de verildiği gibi iki atomdan meydana gelen, esnek bir yapıya sahip molekülün atomlarının esnek bir yayla birbirlerine bağlandığı düşünülebilir. Uyarılan moleküller titreşecek ve buna karşılık titreşim yaparak belirli bir frekansta ışın salacaktır. Yay çarpanı k , indirgenmiş kütle μ olmak üzere sistemin titreşim frekansı;

$$f = 1/(2\pi\sqrt{k/\mu}) \quad (2)$$

şeklindedir (Serway & Beichner, 2000).

3. KUANTUM FİZİĞİNDE ZAMAN

Kuantum fiziğinde zaman olgusu klasik fizikten daha farklı bir olgu, nicelik halini alır. Kuantum fiziğinde önemli bir sabit olan ve “ h ” olarak sembolize edilen Planck sabiti, enerjinin kuantum doğasını tanımlayan ve bir fotonun enerjisini frekansıyla ilişkilendiren temel bir evrensel sabittir. SI birim sisteminde sabit değeri $6,62607015 \times 10^{-34}$ joule.hertz⁻¹ (veya joule.saniye)’dir. Bilindiği üzere bir tam döngü, 1 Hz yani saniyede 360° veya 2π radyandır. Planck sabitinin 2π 'ye bölünmesi, değerden frekansı çıkarır ve elde edilen değer radianlarla kullanılmasına olanak tanır. Bu değere indirgenmiş Planck sabiti veya Heisenberg sabiti adı verilir ve \hbar (h-bar) olarak sembolize edilir ve değeri $1,054571817 \times 10^{-34}$ J.s’dir. Planck sabiti, atom ve atom altı parçacıkların dünyasından, zaman içinde yıldızlarda meydana gelen değişimlere kadar kuantum mekaniğinin tüm alanlarında büyük bir öneme sahiptir. SI sisteminde zaman birimi olan saniye günlük hayatta kullanışlıyken, “Büyük Patlama” sonrası evrenin erken dönemlerinden bahsederken SI birimi olan saniye yerine Planck biriminde yer alan ve değeri $5,4 \times 10^{-44}$ s’ye eşit olan Planck zamanı kullanılır. Planck zamanı bir fotonun Planck uzunluğuna ($1,62 \times 10^{-35}$ m) eşit bir mesafe kat etmesi için geçen süredir (Planck, 1900;

Serway & Beichner, 1996b; Zeh, 2007; Planck time, 2023). Bu durumda Planck zaman çizelgesine uygun bir fiziğin, önümüzdeki yüzyılda fizikçilerin önündeki en büyük zorluk olacağı aşikârdır (Haug, 2022).

Bir fotonun enerjisi $E=h.f$ formülü ile bulunur, burada h Planck sabiti, f ise fotonun frekansdır. Bir fotonun enerjisini bulmak üzere kullanılan bu formülde zaman kavramı, frekans yani zamanın tersi olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji-zaman belirsizlik ilkesi ise sonlu bir Δt zaman aralığında bir sistemin ölçülebilen ΔE enerjisinin doğruluğu üzerine bir sınır getirir ve $\Delta E.\Delta t \geq \hbar$ şeklinde ifade edilir. Başka bir deyişle, sisteme ait enerji artarsa, sistemdeki zaman algısı ters orantılı olarak azalacaktır (Serway & Beichner; 1996b).

Madde, hem dalga hem de parçacık doğasına sahiptir. Bir parçacığa ait dalganın zamana bağlı dalga fonksiyonu ψ ile ifade edilir ve aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\psi = e^{(\pm 2\pi i E t / \hbar)} \quad (3)$$

Schrödinger, yükün birkaç Angstrom'luk (10^{-10} m) bir alanla sınırlı olmasına rağmen dalga fonksiyonunun atom çekirdeğinden çok daha büyük mesafelerde ortadan kaybolduğunu ifade etmiştir (Schrödinger, 1926). Kuantum mekaniksel bir sisteme ait bütün ölçülebilir nicelikleri hesaplamak için dalga fonksiyonları kullanılabilir. Bir kuantum sisteminin hareket denklemi olan ve x-ekseni boyunca ilerleyen dalgalar için v dalga hızı olmak üzere Schrödinger dalga denklemi zamana;

$$\partial^2 \psi / \partial x^2 = (1/v^2) \partial^2 \psi / \partial t^2 \quad (4)$$

şeklinde bağlıdır (Serway & Beichner; 1996b).

Zamanın göreliliği konusunda yer alan ve zaman genişlemesi olarak bilinen etkide durgun bir gözlemciye göre hareketli bir saat (ya da hareketli bir gözlemci), özdeş ve durgun bir saatten daha yavaş akar. Hareket eden gözlemci tarafından ölçülen zaman, Δt , durgun gözlemci tarafından ölçülen zaman ise $\Delta \hat{t}$ olmak üzere;

$$\Delta t = \Delta \hat{t} / \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (5)$$

denklemi ile verilir. Burada c ışık hızı, v ise hareket eden gözlemcinin hızıdır. Zaman kavramındaki bu duruma karadelikler örnek olarak verilebilir. Eğer bir yıldızın kütlesi Güneş'in kütlesinin yaklaşık üç katından fazlaysa, yerçekimi kuvveti diğer tüm kuvvetlerden fazla olacak

ve bu durumda yıldız bir kara deliğe dönüşecektir (Townsend 1997; Black Holes, 2023). Bir kara deliğin çekim alanına giren bir gözlemciye göre zaman genişlemesi meydana gelir. Bu mesafelerde zaman uzaktaki zamanlara göre daha yavaş akar. Bunun nedeni, kara delikler gibi büyük kütleli nesnelerin, uzay-zamanın kumaşını büken ve geren güçlü yerçekimsel alanlar yaratmasıdır (Gohd, 2023). Tüm bu bilgiler ışığında, Wheeler'in belirttiği gibi uzay-zaman maddeye nasıl hareket edeceğini, madde ise uzay-zamanın nasıl kıvrılacağını söyler (Wheeler, 2010).

Einstein, uzay ve zamanın şekillendirilebilir olduğunu ve birleşik dört boyutlu uzay-zamanın; bir buz patencisinin kendi etrafında dönmesi, uzak bir galakside bir yıldızın patlaması veya bir çift kara deliğin birbirinin etrafında dönmesi gibi bir kütle ivmelendiğinde, yerçekimsel dalgalarla titreştiğini açıklamıştır. Bilindiği üzere Einstein'ın görelilik teorisi, yerçekimini uzay-zamanın eğriliği olarak açıklar. Yerçekiminin son derece güçlü olduğu kara deliklerde eğrilik o kadar büyük olabilir ki, ışık dahil hiçbir şey bir karadelikten kaçamaz (Cosmic Chirps, 2017). Albert Einstein'ın yüz yıl önce öngördüğü ve ölçülmesinin hiçbir zaman mümkün olmayacağına inandığı kütleçekim dalgaları, (Einstein, 1905; Einstein, 1915; Einstein, 1916) ilk kez Eylül 2015'te gözlemlendi. Tespit edilen bu dalgalar 1,3 milyar ışık yılı uzaktan gelen kütleçekim dalgalarıydı. Geçmişten gelen bu kütleçekim dalgaları zaman içinde o kadar zayıfladı ki, Dünya'ya gelene kadar atom çekirdeğinden binlerce kez daha küçük bir hale geldi. Bu kütleçekim dalgalarını tespit eden bilim insanları, bu başarılarından dolayı 2017 yılında Nobel Fizik ödülüne layık görülmüşlerdir (Weiss vd., 2017; Cosmic Chirps, 2017).

Kuantum fiziğinin ilgili çekici konularından olan zaman simetrisi birçok bilim insanı tarafından incelenmiş ve bazı kuantum mekaniksel sistemler için zamanın tersine çevrilebilme özelliği yani zaman simetrisinin mevcut olduğu ifade edilmiştir (Bitbol 1988; Selby vd, 2022). Bu bağlamda kuantum mekaniksel özellikler sergileyen süperiletken sistemlerin zamanda geri dönüşüm simetrisi sergilediği gösterilmiştir. Dış manyetik alanı dışarlama özelliğine sahip diamanyetik karakterdeki süperiletkenler bu davranışlarının tersine, küçük bir manyetik alanda soğutulduklarında net bir paramanyetik moment kazanırlar. Bu etki, paramanyetik Meissner etkisi (PME) olarak bilinir. PME'nin kökeni, yörünge akımlarının kendiliğinden yön değişimi olarak düşünülebilir. PME'de manyetik momentin yönünün değişmesi ile manyetik kuantum sayısı arasındaki kavramsal ilişkinin geliştirilmesi nedeniyle zamanın yönünün ters çevrilmesi, zaman simetrisinin kırılması olgusuna atfedilmiştir (Onbaslı, Güven Özdemir Z. & Aslan Ö.

2009). Ayrıca yine süperiletken sistemlerde sıcaklık, zaman kavramıyla özdeş hale gelmektedir. Bu durumda eğer izole edilmiş bir süperiletken sistemde sıcaklık, kritik geçiş sıcaklığı altında kalırsa, yani sistem süperiletken durumda tutulursa, sistemde herhangi bir değişiklik olmayacağından zaman kavramının bir önemi olmayacaktır (Aslan Çataltepe, 2023).

2023 Nobel Fizik Ödülü, attosaniye (10^{-18} saniye) cinsinden ölçülebilecek kadar kısa ışık darbeleri üretmeyi başarabilen bilim insanlarına verilmiştir. Maddelerin yapısında bulunan elektronların dünyasında meydana değişiklikler attosaniyenin onda birkaçı kadar bir sürede meydana gelmektedir. Attosaniye darbeleri maddenin iç süreçlerini test etmek ve farklı olayları tanımlamak için kullanılabilmesi gibi elektronikten tıba kadar birçok alanda potansiyel uygulamalara sahiptir (Şekil 3) (Electrons in pulses of light, 2023).



Şekil 3. Zaman niceliğinin farklı durumlardaki değerleri (Jarnestad, 2023).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zaman kavramı, her bir sistem için farklı özelliklere sahip olabilen ve eğer sistemde bir değişiklik mevcutsa bir anlam ifade eden fiziğin temel büyüklüklerinden biridir. Son yıllarda hem bilim insanları hem de filozoflar tarafından artan bir ilgiyle incelenen zaman kavramına farklı alanlarda karşılaşılmaktadır. Öznel ve sanal zamanlar, çift yönlü zaman, anti-zaman, negatif ve pozitif zaman kavramları bu bakımdan oldukça ilgi çekici araştırma alanlarından bazılarıdır. Fizik biliminde de zaman kavramı ile sıkça karşılaşılmaktadır. Mekanikten elektromanyetizmaya, Planck zamanından karadeliğe kadar zaman niceliği farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada zaman kavramına dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Böylelikle, zaman kavramı aracılığıyla fizik bilimindeki diğer niceliklerin daha anlaşılır olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aharonov, Y. & Zubairy, M.S.(2005). Time and the quantum: Erasing the past and impacting the future, *Science*, 307(5711) 875-879. DOI: 10.1126/science.1107787
- Antonov, A.A. (2021). Antimatter, Anti-Space, Anti-Time, *Journal of Modern Physics*, 12, 646-660. <https://doi.org/10.4236/jmp.2021.125042>
- Aslan Çataltepe, Ö. (2023). Gerçekliğin Fiziği, *Anadolu Öğretmen Dergisi*, 7(1), 84-95. <https://doi.org/10.35346/aod.1311176>
- Ashtekar, A. (2015). Time in fundamental physics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 52, 69-74, DOI10.1016/j.shpsb.2014.08.006
- Bakry M.A., Eid, A. & Alkaoud, A. (2021). An Idea about Negative Cosmic Time in the Big Bang-Big Rip Cosmological Model. <https://www.preprints.org/manuscript/202107.0238/v1> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023
- Ben-Naim A. (2020). Entropy and Time. *Entropy (Basel)*. 22(4):430. doi: 10.3390/e22040430.
- Bitbol M. (1988). The Concept of Measurement and Time Symmetry in Quantum Mechanics, *Philosophy of Science*, 55(3). 349-375. DOI: <https://doi.org/10.1086/289441>
- Black Holes, (2023). <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/black-holes/> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023
- Callender C. (2010). Is Time an Illusion?, *Scientific American*, 302(6), 58-65. DOI: 10.1038/scientificamerican0610-58
- Cosmic Chirps, 2017, <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/popular-physicsprize2017-1.pdf> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 12.12.2023
- Çengel Y & Boles M. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Mc Graw Hill/Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Degree of freedom, (2023). <https://byjus.com/chemistry/degree-of-freedom/> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891-921.
- Einstein, A. (1915). Die feldgleichungen der gravitation. *Albert Einstein: Akademie-Vorträge*, 88-92.
- Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49(7), 769-822.
- Electrons in pulses of light. (2023). <https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/popular-physicsprize2023.pdf> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Ghaderi, A. H. (2019). Heat transfer, entropy and time perception: Toward finding a possible relation between subjective and objective time. *Medical Hypotheses*, 122, 172–175. DOI: 10.1016/j.mehy.2018.11.018.
- Gohd C. (2023). What Happens When Something Gets 'Too Close' to a Black Hole? <https://universe.nasa.gov/news/241/what-happens-when-something-gets-too-close-to-a-black-hole/> / adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Haug E. G. (2022). God Time=Planck Time: Finally Detected!. fhal-03769825v1f. <https://hal.science/hal-03769825/> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.

- Hawking S.W. (1992), Chronology protection conjecture. *Physical Review D*, 46, 603–611. DOI:10.1103/PhysRevD.46.603
- Jammer, M. (2007). Concepts of time in physics: A synopsis. *Physics in Perspective*, 9(3), 266-280. DOI: 10.1007/s00016-007-0349-z
- Jarnestad J. (2023). F fig 2 230922 ENG-2, https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/fig2_fy_en_23.pdf adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Karpenko, I. (2016). Hat is time in modern physics?. *Epistemology & Philosophy of Science-Epistemologiya i Filozofiya Nauki*, 49(3),105-123, DOI:10.5840/eps201649354
- Klein, É. (2016). What Does the "Arrow of Time" Mean?, *KronoScope-Journal for The Study of Time*, 16(2), pp.187-198.DOI:10.1163/15685241-12341355
- Kotchoubey B. (2018). Human Consciousness: Where Is It From and What Is It for. *Frontiers in Psychology*, 9(567), doi: 10.3389/fpsyg.2018.00567
- Kozłowski M. & Marciak-Kozłowska J. (2017). Human Consciousness: Fifth Force. *Journal of Consciousness Exploration & Research*. 8(5), 365-372. DOI: 10.13140/RG.2.2.27112.88322
- Marciak-Kozłowska J. & Kozłowski M. (2017). Negative Time. https://www.researchgate.net/publication/318960078_NEGATIVE_TIME adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023
- Onbaşlı Ü., Güven Özdemir Z. & Aslan Ö. (2009). Symmetry breakings and topological solitons in mercury based d-wave superconductors. *Chaos, Solitons and Fractals*, 42 1980–1989. DOI: 10.1016/j.chaos.2009.03.149
- Planck, M. (1900). Zur theorie des gesetzes der energieverteilung im normal spektrum. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 2, 237.
- Planck time, (2023). <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/p/Planck+Time> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Rokityansky I.I. (2008). Absolute Motion As The Basis of Kozyrev's Theory of Time, *Acta geodaetica et geophysica Hungarica*, 43 (4), pp.461-469. DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.7
- Second: Introduction, (2023). <https://www.nist.gov/si-redefinition/second-introduction> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Selby J. H., Stasinou M. E., Gogioso S. and Coecke B. (2022). Time symmetry in quantum theories and beyond, <https://arxiv.org/pdf/2209.07867.pdf> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Serway, R.A. & Beichner R.J. (2000). *Fen ve Mühendislik için Fizik*, Cilt 1, (5th ed.), K. Çolakoğlu (Ed.), Palme Yayıncılık, Türkiye.
- Serway, R.A. & Beichner R.J. (1996a). *Fen ve Mühendislik için Fizik*, Cilt 2, (3th ed.) K. Çolakoğlu (Ed.), Palme Yayıncılık, Türkiye.
- Serway, R.A. & Beichner R.J. (1996b). *Fen ve Mühendislik için Fizik*, Cilt 3, (3th ed.), K. Çolakoğlu (Ed.), Palme Yayıncılık, Türkiye.
- Schrödinger E. (1926). An Undulatory theory of mechanics or atoms and molecules. *The Physical Reviews*, Second Series, 28(6), 1049-1070. DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRev.28.1049

- SI Units–Time, (2023). <https://www.nist.gov/pml/owm/si-units-time> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Slavov M. (2020). Eternalism and Perspectival Realism About the Now. *Foundations of Physics*, 50, 1398–1410. <https://doi.org/10.1007/s10701-020-00385-x>
- Temel SI Birimleri, (2023). https://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/si_poster.pdf adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Townsend P.K. (1997). Black Holes, <https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9707012.pdf> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.
- Weiss R., Barish B.C. & Thorne K.S. (2017) Gravitational waves finally captured, <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/press-40.pdf>, adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 12.12.2023
- Wheeler, J. A. (2010). *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. W. W. Norton & Company, Verlag. ISBN 978-0-393-07948-7.
- Valente, M.B. (2019). Time in the Theory of Relativity: Inertial Time, Light Clocks, and Proper Time. *Journal for General Philosophy of Science*, 50(1), 13-27. DOI10.1007/s10838-018-9415-2
- Zeh H. D.. (2007). Time in Quantum Theory, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0705/0705.4638.pdf> adresinden alınmıştır. Erişim tarihi: 1.11.2023.