

9.sayı

Tarih, Edebiyat, Bilim Teknik

# KUTLU ZUHUR DERGİSİ

Hakikat zuhur edene değin.

# Zuhur Tarih

## Eserler:

Maskenin Ardındaki Krallık: IV. Baldwin

Osmanlı Devleti'nde Cülus



## **Maskenin Ardındaki Krallık: IV. Baldwin**

Orta Çağ tarihinin en sıra dışı, trajik ve bir o kadar da saygı duyulan figürlerinden biri olan Kudüs Kralı IV. Baudouin (IV. Baldwin) –bilinen adıyla "Cüzzamlı Kral"– 1174-1185 yılları arasında hüküm şürmüş bir Haçlı hükümdarıdır.

IV. Baudouin, 1161 yılında Kudüs'te doğdu. Kudüs Kralı I. Amalrik'in oğluydu. Çocukluk döneminde, dönemin ünlü tarihçisi ve başpiskoposu Surlu William (William of Tyre) tarafından eğitildi. Hastalığının keşfi ise trajik bir çocukluk oyununa dayanır:

Baudouin arkadaşlarıyla saray bahçesinde oynarken, diğer çocukların aksine kollarına aldığı darbelere ve tırnak izlerine rağmen hiçbir acı hissetmediği fark edildi. Hocası William bu durumu incelediğinde, çocuğun sağ kolunda tam bir his kaybı olduğunu gördü. Kısa süre sonra bunun; o dönem "Tanrı'nın laneti" olarak görülen ve tedavisi bulunmayan cüzzam (lepra) hastalığı olduğu anlaşıldı. 1174 yılında babası I. Amalrik aniden ölünce Baudouin, henüz 13 yaşında tahta çıkmak zorunda kaldı. Yaşı küçük ve hasta olduğu için 16 yaşına gelene kadar krallığı onun adına Trablus Kontu III. Raymond gibi naipler yönetti. O dönemde cüzzamlı insanlar toplumdan tamamen dışlanır ve tecrit edilirdi; ancak Baudouin kral olduğu için soylular bu duruma sessiz kalmak zorunda kaldılar.

IV. Baudouin, 16 yaşına bastığında naipleri görevden alarak krallığın yönetimini tamamen eline aldı. O sırada İslam dünyasını birleştirerek Kudüs'ü geri almayı amaçlayan güçlü bir lider yükseliyordu: Selahaddin Eyyubi.

Montgisard Savaşı (1177)

Genç kralın askeri dehasını kanıtladığı en büyük karşılaşma Montgisard Savaşı olmuştur:

Şartlar: Selahaddin Eyyubi, yaklaşık 26.000 kişilik ordusuyla Kudüs'e doğru ilerliyordu. Baudouin'in elinde ise sadece 500 civarı şövalye ve birkaç bin piyadeden oluşan (toplamda yaklaşık 3.000 - 5.000 kişilik) küçük bir güç vardı.

Savaş: Selahaddin, karşısındaki kralın çocuk ve hasta olduğunu bildiğinden onu küçümsedi ve ordusunu geniş bir alana yaydı. Bu stratejik hatayı fark eden 16 yaşındaki Baudouin, ordusunu hızla topladı. Savaş meydanında cüzzamlı elleriyle doğrularak askerlerinin önünde diz çöktü ve Gerçek Haç (True Cross) önünde dua etti. Bu hamle, Haçlı askerlerinde muazzam bir motivasyon yarattı.

Sonuç : Haçlı ordusu, hazırlıksız yakalanan Eyyubi ordusunu bozguna uğrattı. Selahaddin Eyyubi, muhafızları sayesinde canını zor kurtararak Kahire'ye çekilmek zorunda kaldı. Bu zafer, Baudouin'in sadece "hasta bir çocuk" olmadığını tüm dünyaya gösterdi.

Hastalığın İlerlemesi ve Karak Kuşatması (1183)

Zaman geçtikçe cüzzam, Baudouin'in vücudunu tamamen ele geçirdi. Hastalık yüzünü tanınmayacak hale getirdi (popüler kültürdeki maske efsanesi buradan gelir), gözlerini kör etti, el ve ayak uzuvlarını kullanılamaz duruma getirdi.

Buna rağmen krallığı bırakmadı. 1183 yılında Selahaddin, Karak Kalesi'ni kuşattığında Baudouin hareket bile edemeyecek kadar hastaydı. Ancak yatağından kalktı ve kendisini at sırtında taşıyamadıkları için bir sedyeyle askerlerinin önünde savaş meydanına getirtti.

Dönemin tarihçileri, bu anın askeri ve psikolojik gerçeğini şöyle aktarır:

Selahaddin Eyyubi'nin gözcüleri, Kudüs'ten gelen yardım ordusunu rapor ettiğinde İslam ordusu uzun süredir kuşatmadaydı ve yorgundu. Kalenin önünde iki ateş arasında kalma riski belirdi: Bir yanda kale müdafileri, diğer yanda ise krallarının sedyesi etrafında kenetlenmiş, moral olarak en üst seviyeye çıkmış taze bir Haçlı kuvveti vardı.

Selahaddin, askeri dehasının bir gereği olarak taktiksel bir karar aldı. Krallarını o halde gören Haçlı askerlerinin kayıtsız şartsız ölümüne savaşıacağını ve bu riskli çarpışmanın İslam ordusuna stratejik hiçbir fayda sağlamayacağını gördü. Karşılarındaki amansız direnci ve lojistik riskleri tartan Sultan, ordusunu yıpratmamak adına asil bir hamleyle kuşatmayı kaldırdı ve geri çekildi. Savaş meydanında, sedyesinde can çekişen genç bir kralın kazandığı büyük bir stratejik zafer kaldı.

#### Ölümü ve Mirası

IV. Baudouin, hastalığına daha fazla direnemeyerek 1185 yılında, henüz 24 yaşındayken Kudüs'te hayatını kaybetti. Mezarı, Kudüs'teki Kutsal Kabir Kilisesi'ne (Holy Sepulchre) defnedildi; ancak bu mezar, yüzyıllar sonra yaşanan istilalar ve yangınlar sebebiyle günümüze ulaşamamıştır.

Popüler Kültürdeki Yeri: Ridley Scott'ın yönettiği Cennetin Krallığı (Kingdom of Heaven - 2005) filminde ünlü aktör Edward Norton tarafından muazzam bir şekilde canlandırılmış; yüzündeki gümüş maskesi ve bilge duruşuyla modern dönemin en popüler tarihi figürlerinden biri haline gelmiştir.

# Kaynakça:

Britannica:

[britannica.com/biography/Baldwin-IV](http://britannica.com/biography/Baldwin-IV)

World History:

[worldhistory.org/Baldwin\\_IV\\_of\\_Jerusalem](http://worldhistory.org/Baldwin_IV_of_Jerusalem)

Fordham Sourcebook:

[sourcebooks.fordham.edu/sbook.asp](http://sourcebooks.fordham.edu/sbook.asp)

**Fatma ŞAHİN**

# Osmanlı Devleti'nde Cülus

Cülus, Osmanlılarda tahta çıkacak şehzadenin padişahlığının ilan edilmesi dolayısıyla yapılan merasime verilen addır. Eski bir Türk-İslam geleneği olan cülus, en gelişmiş ve güzel şekliyle Osmanlılarda tezahür etmiştir.

Mevcut padişah vefat edince Darüssaade Ağası durumu sadrazama bildirirdi. Sadrazamın önderliğinde ulema ve ümera saraya giderek Sünnet Odası'ndan yeni padişahı alırlar; önceki padişahın vefat ettiğini söyleyerek ve sıranın kendisine geldiğini belirterek onu tebrik ederlerdi. Padişah; bir kolunda Darüssaade Ağası, diğer kolunda Silahtar Ağa bulunarak önce Hırka-i Şerif Dairesi'ne götürülürdü. Burada sadrazam ve şeyhülislamın biatından sonra, başında saltanat alameti olarak yusufi destar ve sırtında samur erkân kürkü ile eski Türk töresine göre müneccimbaşı tarafından belirlenen eşref saatinde Babüssaade önünde kurulan tahta otururdu. Nakibüleşraf'ın biat ve duasından sonra, bayram tebriklerinde olduğu gibi Kırım hanzadesi, rikâb-ı hümayun ağaları ve kapıcıbaşı ağaları gelip biat ederdi.

Şeyhülislamın duasından sonra sadrazam ve öteki vezirler gelip biatlarını sunarlardı. Nihayet teşrifatçı efendinin etek öpmesiyle birlikte merasim son bulurdu. Birkaç gün sonra ise padişah, Eyüp Sultan'da devrin en büyük âlimi tarafından kılıç kuşanırdı. Bir süre sonra yabancı elçilerin tebrikleri kabul edilirdi. Ardından cülûs; top atışlarıyla İstanbul'da, ulaklarla da yurdun diğer bölgelerinde duyurulurdu.

Kaynakça:

İpşirli, M. (1993). Cülûs. Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi (Cilt 8, s. 108-114). İstanbul: TDV Yayınları.

Uzunçarşılı, İ. H. (1988). Osmanlı Devletinin Saray Teşkilâtı. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Belgelerle Gerçek Tarih. (2012). Osmanlılar'da Cülûs Merasimi ve Biat. Erişim adresi:

<https://belgelerlegercektarih.com/2012/12/17/osmanli-larda-culus-merasimi-ve-biat/>

**Mehmet Sinan KILINÇ**

# Zuhur Edebiyat Eserler

Sendeki Ben

Ben Ne Vakit

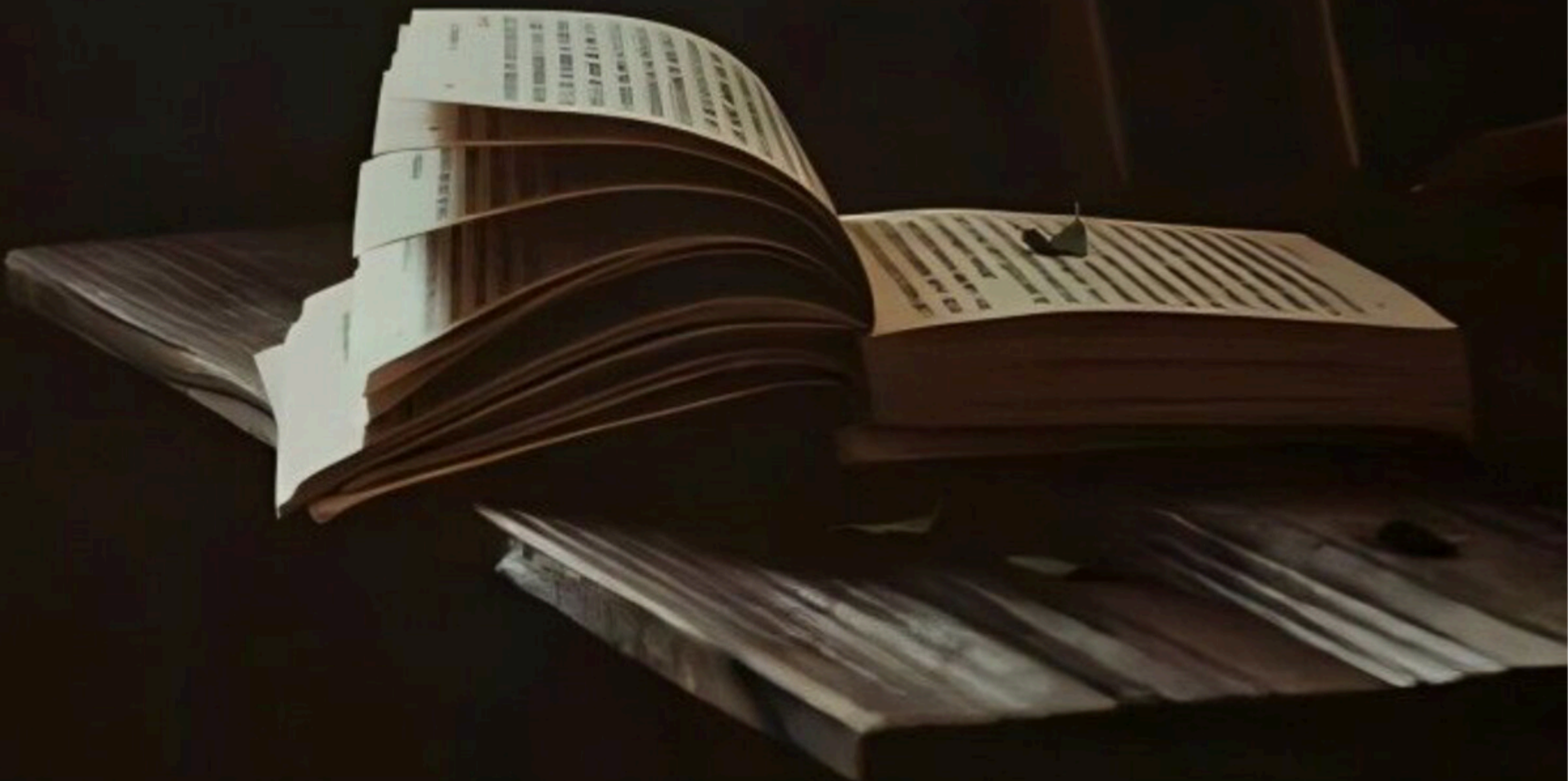
Aşk İle Biat

Çok Zaman Gezildiniz

Sükûtun Son Kalesi

Yalnızlığın Mahsusluğunda

Kalbimin Sırma Tülü Kudüs



## Sendeki Ben

Sen benim mahimsin;  
yolumu aydınlatan,  
zihnimi ferahlatan,  
ruhumu aklayan.

Sen benim mahimsin;  
sırdaşım, yoldaşım olan,  
tezatlıklarıma şahit olan,  
suçlarıma, geçmişime ortak olan.

Sen benim mahimsin;  
kalbimi sarmalayan,  
sislerimi dağıtan,  
atomlarımı kucaklayansın.

Sen benim mahimsin,  
beni haklı bulansın.

Peki ama ben neyim?

Mehmet Ali KARAOĞLU



# Ben Ne Vakit

Ben ne vakit seni sevmeye kalkışsam  
Yırtıcılaşırdı sokakların lambaları  
Ben ne vakit seni sevmeye alışsam  
Dağılırdı Kleopatra'nın saçları

Gözlerin göğüme uğramadığında  
Günün büyüü yapraklarda kalıyor  
Aşkın türküsü uzaklarda çalıyor  
Duymuyorum seninle olmadığımda

Kırk sekiz yelde verdim de sislerini  
Bıraktım yüreğimde nefeslerini  
Bütün satırların defterimde kaldı

Varlığım seninle yokluğun benimle hoş  
Bugün de dünler gibi sevgimle sarhoş  
Bugün de aşk sende hicran bende kaldı

İbrahim Halil İmrak

# Aşk ile Biat

Bu bahar en keskin çiçeklerini veriyor.  
Neşeden âzâd olmuş bülbüller.  
Kayıp sandıklara döşeli al yazmalar.  
Birer birer kayıp gitmiş hatıralar.

Seni hissetmek şerefine nâilim.  
Yekvücut olmuş tüm güzel hislerim.  
Uzatsan bana bir zeytin dalı,  
ben versem sana bir beyaz gül,  
sonra unutuversek her kötüyü.

Sıla nur MUTLU

# Çok Zaman Gezildiniz

Anadolu'dayız hâlâ yüz yıl sonra  
Gitmedik, gitmeyeceğiz de biliniz!  
Cedlerimizden bize kaldı hâtırâ  
Nasıl geldiyseniz öyle de gidiniz!

Sefâlet günlerimiz kaldı mâzîde  
Bugün teknolojide üstünlük bizde  
Er meydânına bekliyoruz sizi de  
İttifak kurup yedi düvel geliniz

Yedi yüz seksen bin kilometre kare  
Türk'e yetecek mi düşünün bir kere?  
Hedefimiz kâinâttır, önce küre  
Kırılacak orta yerinden beliniz

Geçmişte nasıl korkuyordunuz Hun'dan?  
Çok Avrupalıyı etmişti yurdundan  
Oğuz yiğitler çıktı Ergenekon'dan  
Ağır olacak bu defa bedeliniz

Cezayir'den, Somali'den ve Libya'dan  
Yunanistan, Romanya ve İtalya'dan  
Almanya, Fransa ve Britanya'dan  
Gideceksiniz! Çok zaman gezildiniz

Demokrasi' diyerek pek çok milletin  
İrzına geçtiniz kadının erkeğin  
Derhâl! Ya özür dileyin ya geberin!  
Çaldığınız kara lekeyi siliniz

İnancında özgür olacak insanlar  
Çalsın Çan, üflensin Şofar, saygımız var  
Okunacak her coğrâfyâda Ezân'lar  
Milletleri hor görmeyecek diliniz

Yirmi Dokuz Ekim İki Bin Yirmi Üç  
Doğdu dünyanın hâkimi olacak güç  
Yargılanacak, cezâ' görecek her suç  
Mazlûmlara kalkamayacak eliniz

Bir gece ânsızın geleceğiz size  
Sihalarla çökeceğiz tepenize  
Dünyayı dar edeceğiz hepinize  
Âmân yok, olacağız Azrâil'iniz

EBEDÎ der: Gelirsiniz gerisinden  
Hakîkatlerin okursunuz tersinden  
Sıfır aldınız medenîyet dersinden  
Ne zaman yüksekti ki not siciliniz?

İhsan Fatih Polat

# Sükutun Son Kalesi

Zordur yalnız olmak ve yalnız kalmak... Bedenen değil, ruhen yalnızdır aslında insan. Kalabalıklar içinde o sessizlik... Yaşanmışlıkların içinde en sesli olanı, sessizliğin en derin yeridir. Mezara bile tek giren insanoğlunun fitratında yok mudur yalnızlık?

Sözlerin artık bir anlam ifade etmediği, kelimelerin kifayetsiz, bakışların yetersiz olduğu; duyguların görünen yüzü, görünmeyen özüdür yalnızlık... Sükûtun son kalesidir.

Susmak sessizlik değildir bazen. Susmak öfkedir, hayal kırıklığıdır, kırgınlıktır. Oldukça gürültülüdür susmak. O durgunluğun, o yorgunluğun adıdır işte yalnızlık. İnsan, konuşurken yalnız kaldığı için sükûtu seçmiştir aslında. Sözlerin dışa vurumu, duyguların yetersizliği; onu kendine kapatmaya bir hayli yetmiştir. Sessizliğin, düşüncelerin bile konuştuğu; hayallerin gerçekleştiği ve yıkıldığı derin bir suskunluktur yalnızlık... İnsanın kendiyle tanıştığı, baş başa kaldığı yerdir. Gurbetin bile anlamladığı o ağır duygunun yükünü taşıyabilendir. Özlemin, sevginin en derin hisleştiği, en güzel övüldüğü yerdir. İnsan en çok kendine hasrettir ve hasretin en güzelidir.

Asıl yalnızlığı ne zaman hisseder insan, biliyor musunuz? Yakınının uzak olduğunu anladığı an... Elini uzattığında tutmasına ihtiyaç duyduğu o insanın uzağında olduğunu gördüğü an... Bize iliklerimize kadar hissettiren, bu çok yakınımızdaki kalabalıktır yalnızlık. En ağırı da bu ya... Tercih değildir aslında, ısrarın eseridir. Öyledir ya; tercih edilmiş yalnızlık olgunlaştırır, içine düşülmüş yalnızlık çürütür. İnsana zorlanan bir acıdır aslında. Bilmezler işte. Acıyı da bilmezler, acınacağını da...

Orhan Veli'nin de dediği gibi:

“Bilmezler yalnız yaşamayanlar,  
Nasıl korku verir sessizlik insana;  
İnsan nasıl konuşur kendisiyle;  
Nasıl koşar aynalara,  
Bir cana hasret,  
Bilmezler.”



Bazen sadece sevmiştir insan. Gurbetin yalnızlığını, özlemin yalnızlığını ve en çok da ince belli yalnızlığı sevmiştir insan... Onu da sever, onsuzluğun verdiği hasarı da... Sözlerin bile süslenmeye hevesi kalmamış. Yorgunluğun üstünde bir yorgan gibi ağırlaşmış. Tek seni ısıtmış, tek seni üşütmüş... Sevmeyi de, sevilmeyi de öğretmiş yalnızlık.

İşte böyledir yalnızlık... Yaraların en derini, acıların en güzelidir. Şairin de dediği gibi: "Kimsenin Fatiha bilmediği köyde öldüm." diye... Ama Rabbimiz de buyurmuş ki: "İnsanı biz yarattık ve elbette içinden geçenleri biliriz; biz ona şah damarından daha yakınız." Vesselam

Ömer Muhammed MUTLU



# Yalnızlığın Mahsusluğunda

Ey yalnız kalamayan insan! Kendi yüzüne bakmak neden bu kadar zor? Ne göreceğini düşünüyorsun da buna cesaretin yok. Bir başkasının tuttuğu aynaya neden kapalısın o vakit? Bu da bir yalnızlık çeşidi değil mi? Hangi zayıflık çıkacak karşına, hangi travmana denk geleceksin sence? Hangi yolu keşfedeceğini ve yürüyeceğini bilmemekten mi bu kaçış? Seni sen yapacak yoldan kaçılır mı? Bu hâlin neyin eseri? Bilmek bu kadar mı korkutuyor seni? Etrafındakilerle kapattığın, kalbindeki hangi delik? Hangi kuyuyu görmüyorsun içine düştüğün? Hangi boşluğu dolduruyorsun ya da öyle zannediyorsun? Kendine zannın neden başkasından çok? Çok mu iyi tanıdığını düşünüyorsun kendini? Başkasında teyit etmeye çalıştığın nedir? Hayatındaki hangi eksikliği, kırığı, döküğü tamamlamaya, tamir etmeye çalışıyorsun? Bir sor kendine, bir hasbihal et! Başkasıyla edemediğin kadar... Başkasından beslemeye çalıştığın kalbini gör! Başkalarını da yok saymadan, eksiltmeden, kendinle birlikte bu zanlar çukuruna çekmeden yaşamaya gayret et! Varlıklarını kabul etmenin gerçek yolu, önce kendi varlığını kabullenmen.

Sen en çok sana yakışırsın.Sende tecelli eden, Rabbin gör dediği ne varsa ona yaklaşıarak, kabul ederek, sırrın peşinden giderek.Dışından önce içini çoğaltarak yakışırsın kendine.Böyle olunca bil ki, başkası sendeki hâli fark eder Hatta bazen sen istemezsin yanında, onlar talep eder seni tüm gerçekliğin ve olmuşluğunla.Öyle mutmain,hakiki,derin ve dengeli bir hâl ki, İşte o vakit, insanlar sende sükûn bulmaya başlar.Zaman geçer ve asıl istediğinin bu olmadığını fark edersin. Kendini özlersin artık, görmeye başladığın,kaçmadığın,tanıdığın,her fırsatta dinlediğin, büyötmeye çalıştığın, küçük çocuğu özlersin. Onun yolculuğuna eşlik etmek haz vermeye başlar. Kendine ulaşmak için yürüdüğün yol güzelleşir, adım atmalara doyamazsın.Bir zamanlar seni korkutan şey, sığındığın en güzel liman olur."Yalnızlık sana da mahsus" Sen ol diye! Bul diye seni! Sev diyel!Oradan ulaş diye seni en çok sevene.Cesaret et ve başla! Kalabalık ve aydınlık yolculuğa...

**Yüksel Çapal**

# Kalbimin Sırma Tülü Kudüs

Eşk-i çeşmdin süzüldün yüreğime  
Hüzn-ü iz'andın sızdın dimağıma  
Ah-u fizardın da düştün lisanıma  
Yine od oldun yaktın bizi ey Kudüs

Rahman'dan ala bir lütufsun sen  
Sultanı zişan'dan kutsi bir emanet  
Selahaddini Eyyubi'den bir hitabsın  
Yine od oldun da yaktın bizi ey Kudüs

Miraçsın sen mirac'a yol ayatte israsın  
Beytullah'a kibleydin evvelinde usrasın  
Ezansın tekbirsın la-ı lisan Bilal'e nidasın  
Yine od oldun da yaktın bizi ey Kudüs

Mümine onursun sen izzet-i ademsin  
İstiklal-i islamsın istikbal-i alemsin  
Zamanı ahirde dımağ-ı ümmette elemsin  
Yine od oldun da yaktın bizi ey Kudüs

Burcunda sancağım çekildi asumana  
Surların atam Kanuni'den yadigar bana  
Toprağında izim var ecdadımdan mana  
Yine od oldun da yaktın bizi ey Kudüs

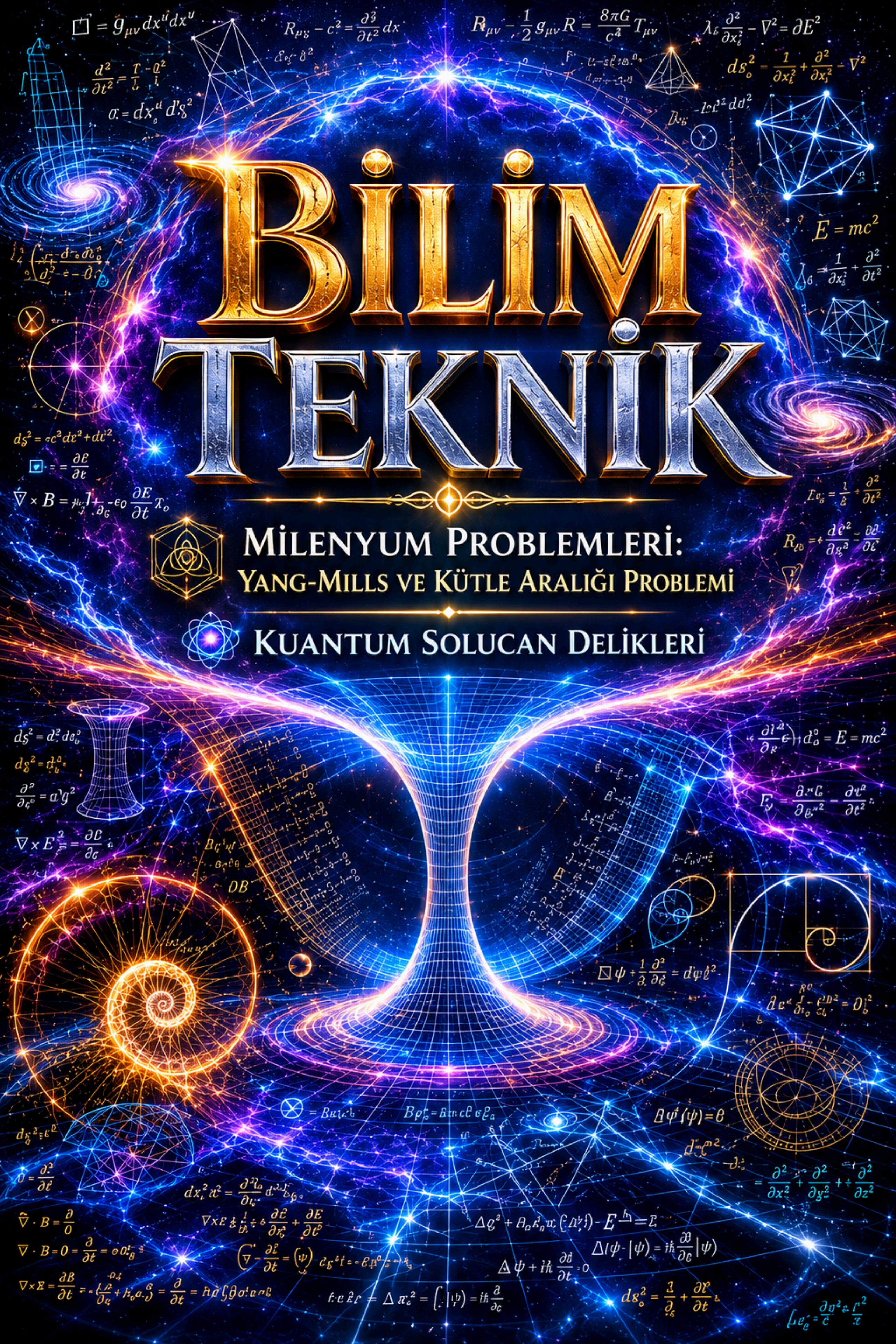
Pare pare olsa kalbim teki Mekke'de  
Gül Resulüm aldı da biri Medine'de  
Bir sırma tül oldunda topladın kendinde  
Yine od oldun da yaktın bizi ey Kudüs

Üzeyir ÖZKUL

# BİLİM TEKNİK

MİLENYUM PROBLEMLERİ:  
YANG-MILLS VE KÜTLE ARALIĞI PROBLEMİ

KUANTUM SOLUCAN DELİKLERİ



$$\square = \bar{g}_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$
$$R_{\rho\sigma} - c^2 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} dx$$
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$
$$\lambda \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} - \nabla^2 = \partial E^2$$
$$\frac{d^2}{dt^2} = \frac{r - q^2}{l}$$
$$\alpha = dx_0^\mu d's^2$$
$$ds^2 = \frac{1}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_j^2} - \nabla^2$$
$$E = mc^2$$
$$\frac{1}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$
$$ds^2 = c^2 dt^2 + dx^2$$
$$\square = \frac{\partial E}{\partial t}$$
$$\nabla \times B = \mu_0 J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$
$$R_{\mu\nu} = \frac{d^2}{\partial g_{\mu\nu}^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$
$$L_{\mu\nu} = \frac{1}{g} + \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$
$$ds^2 = d^2 d\theta_0^2$$
$$ds^2 = \frac{1}{g_{\mu\nu}^2}$$
$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = \alpha' g^2$$
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$
$$\frac{\partial l^2}{\partial R} + d_0^2 = E = mc^2$$
$$E = \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$
$$\square \psi + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = d\varphi \ell^2$$
$$d\epsilon^2 \frac{\partial^2}{\partial t_0^2} = D_0^2$$
$$d_0^2 = \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$
$$\nabla \cdot B = \frac{\partial}{\partial t}$$
$$\nabla \cdot B = 0 = \frac{\partial}{\partial t} = \epsilon_0 \alpha' g^2$$
$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} = \hbar \rho \int \theta \sigma' a \rho b$$
$$f: c \hat{e} r = \Delta \pi_c^2 = \left( \cdot \right) |\psi\rangle = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$
$$\Delta \psi + i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$$
$$\Delta \psi + \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$$
$$ds_0^2 = \frac{1}{\partial_s} + \frac{\partial \rho}{\partial t}$$
$$L_{\mu\nu} = \frac{\partial \eta^2}{\partial c} \frac{r^2}{\pi}$$

# Milenyum Problemleri: Yang-Mills ve Kütle Aralığı Problemi

Milenyum Problemleri'ne dışarıdan şöyle bir baktığımızda, her zaman odak noktasının matematik olduğunu ve en büyük atılımların yine bu alanda yapıldığını görebiliriz. Fakat öyle bir Milenyum Problemi vardır ki matematikten önce fizik alanının bir mihenk taşıdır ve fizik hakkında bildiklerimizi yeniden düşünmemize sebep olma kapasitesine sahiptir: Yang-Mills ve Kütle Aralığı Problemi. Özellikle kuantum fiziğinde büyük rol oynayan ve tüm bilim insanlarının küçücük de olsa bizi çözüme yakınlaştıracak bir ipucu için bile can attığı türden bir problemdir. Kuantum fiziğinin bir parçası olmasından kaynaklansa gerek; karmaşık matematiği ve yılların bilgi birikimini gerektiren bir anlayışla bile çözülemeyen bu problem, adeta uzaylılardan çıkma bir bakış açısı gerektiriyor gibi görünüyor. Ancak elbette temelleri attığımızda böyle bir problemi anlamak bizi ilginç bir yolculuğa çıkaracaktır.

Bu problemle cebelleşmeden önce uğramamız gereken hayati öneme sahip bir alan vardır. Öyle ki şu anda kuantum fiziğinin de temelini oluşturan bir kuram ve çalışma alanıdır: Kuantum Alan Teorisi (QFT).

## Kuantum Alan Teorisi (QFT)

Gözle gördüğümüz dünyanın düzenini anlamak için kullandığımız birincil aracımız, hiç şüphesiz ki klasik fiziğin yasaları olmuştur. Fakat odağımızı gözle görülemeyen dünyaya, yani atomu oluşturan parçacıklara kadar daraltırsak işler değişir. Klasik fizikte sahip olduğumuz neredeyse hiçbir teori ya da yasa bu dünyada çalışmaz. Kuantum fiziğinin doğuşu da buradan kaynaklanır. Bu fizik alanının asıl amacı mikroskobik dünyadaki tüm zorlukları aşmaktır ama doğru düzgün ölçüm bile yapılamayan, hiçbir şeyin tam olarak net olmadığı bir alandan bahsettiğimizi unutmamalıyız. Tabii ki bu durum bilim insanlarını bezdirmeye yetmedi. Yeni geliştirilen fikirler ve yöntemlerle atom altı parçacıkları anlamak için ellerinden geleni yaptılar ve yapmaya da devam ediyorlar. Kuantum Alan Teorisi de 1920'lerin sonlarında geliştirilmiş bu alandaki en önemli atılımlardan birisidir. Paul Dirac, Werner Heisenberg ve Wolfgang Pauli'nin fitilini ateşlemesiyle başlayan QFT hâlâ fizikçiler için sağlam bir çalışma alanıdır.

Kuantum Alan Teorisi, kendisinin atası diyebileceğimiz Kuantum Mekanikliği'nin aksine parçacıklara bilindik katı cisimler gözüyle bakmaz. Özellikle aniden hiçlikten var olan parçacıklar gibi Kuantum Mekanikliği'nin çözemediği sorunlara, bu parçacıklara birer "alan" diyerek açıklama getirir. Elbette bir futbol topuna futbol sahasının kendisi demek gibi bir şey çok anlamsız görünse de mikroskobik dünyada bizi bir sonuca götüren şeyler de bu tarz farklı bakış açılarıdır. Bu alandaki ilk çalışmanın elektromanyetik olayların büyük çoğunluğuna bir açıklama getirmeyi başardığını düşünürsek, parçacıkları küçük toplardansa dalgalanarak hareket eden alanlar olarak görmek o kadar da yanlış bir yaklaşım olmasa gerek.

QFT'nin iskeletini Kuantum Mekanikliği ve Özel Görelilik kurar. Özel Görelilik, burada asıl her şeyi değiştiren kilit elemandır. 1905 yılında Albert Einstein'ın bir makalesinde anlattığı bu kavramda özellikle bir formül hayat kurtarıcıdır. Belki de bilimle en ufak alakası olmayan bir insanın bile gördüğü, Einstein deyince ilk akla gelen formüldür:  $E = mc^2$ . Buradaki enerjiyi, bizim bildiğimiz hıza bağlı bir kinetik enerjiden ziyade hareketsiz bir parçacığın bile kütesinden dolayı sahip olduğu "Durgun Kütle Enerjisi" olarak düşünmeliyiz.

Durgun Kütle Enerjisi, ışık hızının sabit olmasından dolayı tamamıyla kütleyle bağlıdır. Fakat burada QFT'yi anlamak için doğru bir yorumlama yapmak lazım. Kütlede kaynaklı bir enerjiden ziyade enerjiden kaynaklanan bir kütlede varlığından söz etmek, QFT'nin Kuantum Mekanikliği'nden farklı yapmayı başardığı şeydir. Parçacıklara bir "alan" gözüyle bakmasından dolayı QFT, bunları uzayda dalgalanan bir enerji gibi görür. Atomu inşa eden proton ve nötronun bizzat kendisini var eden bu parçacıklar, temelinde dalgalanma sonucu ortaya çıkan enerjilerdir. Protonun kütesini oluşturan şey de bu enerjinin ta kendisidir. Bu yeni yaklaşım Kuantum Mekanikliği'nin açıklayamadığı hiçlikten var olan parçacıklara açıklama getirmeyi başarmıştır.

Kuantum Alan Teorisi, Özel Görelilik böyle bir ustalikle kendine yedirip birçok probleme çözüm getirmiş olsa da matematikçileri rahatsız eden devasa bir kusuru vardır: Matematiksel olarak kanıtlanamayan yöntemlere başvurması. Her ne kadar kuantum dünyasıyla tutarlı sonuçlar üretse de QFT, kendisini hâlâ tam bir matematiksel temele oturtamamıştır. Fizikçiler için “çalışan şeye dokunma” kuralı geçerli olsa da matematikçiler için QFT kâbusun farkıdır. Özellikle Renormalizasyon adındaki yöntem bazı durumlarda hayat kurtarıcı olsa da bu kâbusun birincil kaynağıdır. Temel tanımıyla bu yöntem denklemlerde kontrolden çıkıp sonsuza fırlayan bir değeri bildiğimiz sonlu değerlere indirgeyen sürecin ismidir. Sonsuz kütle veya sonsuz enerji gibi kavramlardan kurtulmak için birebirdir ama matematiksel olarak doğruluğu ispatlanamamıştır. Sürecin kendisi deneylerle desteklense bile matematik dünyasında kabul görmemiştir ve her şeyi sorgulayan matematikçilerin Kuantum Alan Teorisi'nin de aslında tamamen bir illüzyon olabileceği ihtimalini düşünmelerine sebep olmuştur.

Kuantum Alan Teorisi'nin bu eksiği Yang-Mills probleminin de temelini oluşturmaktadır ama 1 milyon dolarlık problem yalnızca QFT'nin matematiksel yetersizliğinden ibaret değildir. Bu devasa ödülü hak etmiş Yang-Mills'in biz meraklı insanlardan ne istediğini kavramak için bilim insanlarının her zaman ilgisini çekmiş bir başka konuya değinelim: Evrenin tüm davranışlarını tek bir matematiksel dilde ifade etme çabası.

## Her Şeyin Teorisi

Tüm evreni bir arada tutan dört temel kuvvet vardır: kütleçekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve güçlü nükleer kuvvet. Evren üzerinde cisimlerin var olmasını sağlayan, atomların hareketlerini kontrol eden tüm kuvvetler bu dört ana başlıkta toplanmıştır. Yıldız sistemlerini oluşturan kütleçekiminden tutun da atomların çekirdeğini stabil tutan güçlü nükleer kuvvete kadar her şey bu dört kuvvetin bir tezahürüdür. O zaman bu dört kuvvetin dördünü de açıklayacak tek bir teorinin varlığı aynı zamanda her şeyi açıklamaz mı? Bu hevesle fizikçiler “Her Şeyin Teorisi” adında bir kuram geliştirmeye koyuldular ve bu amaçla dört temel kuvveti anlamaya çalıştılar.

Her Şeyin Teorisi'ni oluşturmak maalesef söylemesi kadar kolay olmayacaktı. Sonuçta bu kuvvetlerin tam olarak nasıl çalıştığını anlamak gerçek anlamda bir baş ağrısıydı. Neyse ki Albert Einstein 1915 yılında yayımladığı bir diğer makalesinde Genel Görelilik Kuramı'nı insanlığa tanıtarak bu uğraşın ilk meyvelerini vermesini sağlamıştı. Genel Görelilik Kuramı'na göre kütleçekim kuvveti bizi Dünya'nın merkezine doğru çeken görünmez bir güç değil, bizzat uzay-zaman bükülmelerinin sonucuydu. Gezegenler gibi yüksek kütleli bir cisim uzay-zamanı bükerek uzaydaki diğer cisimleri kendisine çekebiliyor ve yörüngelerin oluşmasını sağlayabiliyordu. Bu anlayışla beraber kütleçekim resmen sadece geometrik bir bakış açısıyla açıklanmış oldu. Bu durumda diğer üç kuvvet de sadece geometrik bir ifadeyle kuramlaştırılabilir miydi? Çalışmalar hiç vakit kaybedilmeden devam etti.

Bu üçlü arasında geometrik ifadesi en kolay olan elektromanyetik kuvvet olacaktı. Özellikle 1860'lı yıllarda James Clerk Maxwell tarafından ortaya konan Maxwell Denklemleri zaten elektromanyetizmayı modelleme konusunda büyük bir başarıya imza atmıştı. Yine de ortada bir sorun vardı. Maxwell Denklemleri klasik fiziğe uygun olarak tasarlanmıştı ve kuantum dünyasında klasik fiziğin ne kadar yetersiz kaldığını zaten biliyoruz. Bu sebeple Alman matematikçi Hermann Weyl, bu denklemleri kuantum fiziğine uyarlamak için karmaşık sayıları kullandı. Böylelikle yüklü parçacıkların oluşturduğu elektromanyetik kuvvetin ışığın enerji paketçikleri olan fotonlar aracılığıyla nasıl iletildiğini de sağlam bir geometriye oturttu. Elimizdeki yeni formüller ışığın ve elektromanyetizmanın geometrisini ortaya çıkarabilmekteydi. Fizikçiler kullanılan bu muazzam yöntemle Ayar (Gauge) Teorisi, inşa edilen yeni elektromanyetizma modeline ise Kuantum Elektrodinamiği adını verdiler.

Bu sefer sırada atom çekirdeğini ilgilendiren iki kuvvet vardı: zayıf nükleer ve güçlü nükleer kuvvet. 1960'lı yılların sonunda Steven Weinberg, Sheldon Glashow ve Abdus Salam'ın öncülüğünde geliştirilen yeni bir ayar teorisi sayesinde, zayıf nükleer kuvvet elektromanyetizmaya benzer şekilde geometrik olarak ifade edilebildi. Kurulan yeni kuram Elektrozayıf Teori başlığı altında toplandı ve hem elektromanyetizmanın hem de zayıf nükleer kuvvetin modellenmesini sağladı. Güçlü nükleer kuvvet için ise bize biraz daha farklı bir şey lazımdı. Karmaşık sayılarla kurulmuş Ayar Teorisi tek başına güçlü nükleer kuvveti açıklayamıyordu. Neyse ki 1954 yılında bu soruna çoktan bir çözüm bulunmuştu. Chen Ning Yang ve Robert L. Mills, Ayar Teorisi'nde daha önce yapılmamış bir şey yaptılar ve sayı grupları olarak adlandırabileceğimiz matrisleri kullanarak güçlü nükleer kuvveti Ayar Teorisi aracılığıyla geometrik olarak ifade etmenin yolunu buldular. Yang-Mills Kuramı, Ayar Teorisi'nin bir parçası hâline geldi ve fizikte Kuantum Kromodinamiği adı verilen yeni bir alanın doğmasını sağladı. 1970'lerin ortasında ortaya çıkan bu yeni alan güçlü nükleer kuvvetin gizemli geometrik modelinin çözülmesinde kilit rol oynadı.

Tüm bu gelişmelerin ardından insanın aklına mutlaka şu soru gelmiştir: Bunca şeyden sonra Her Şeyin Teorisi formüle edilebildi mi? Bu sorunun cevabı, beklentilerin aksine, koca bir hayır. Teorinin gerçek olmasının önünde hâlâ iki büyük engel bulunur. Birincisi, kütleçekim kuvvetinin Ayar Teorisi yardımıyla hiçbir şekilde modellenememesidir. Fizikçiler üç temel kuvveti, Ayar Teorisi'nin yardımıyla birleştirdi ve Standart Model adını verdikleri kuramı inşa ettiler; fakat kütleçekim kuvveti bu modele dâhil edilemedi. Böylelikle Her Şeyin Teorisi yerine Genel Görelilik ve Standart Model olacak şekilde iki farklı kuramla ortada kaldık. İkincisi ise güçlü nükleer kuvvetten kaynaklanmaktadır. Kuantum Kromodinamiği her ne kadar gerekli geometrik ifadeyi bize sağlayabilse de matematikçilerin bu alanın çalışmalarını doğru kabul etmesi için şart koştukları iki büyük koşul vardır. İşte bu iki koşulun matematiksel olarak kanıtlanması, Yang-Mills ve Kütle Aralığı probleminin bizden istediği asıl şeydir.

## Yang-Mills ve Kütle Aralığı Problemi

Artık son düzlüğe, bir milyon dolarlık sorunun kalbine vardık. Yang-Mills problemi aslında Kuantum Kromodinamiği'nin matematiksel olarak temellendirilmesidir. Bunu yapabilmek için ise iki problemin çözülmesi gerekir. Bunlardan ilki Aksiyomatik Varoluş (Axiomatic Existence) olarak isimlendirilir. İsmi göz korkutucu olsa da daha önceden bahsettiğimiz bir problemin ta kendisidir. Önceki paragraflarda Kuantum Alan Teorisi'nin kusursuz bir temelini olmadığından bahsetmiştik. Bu durum Kuantum Kromodinamiği'ni de etkiler. Çünkü Ayar Kuramı Kuantum Alan Teorisi'nin inşa ettiği sistematik fikir ve hesaplamaların bir tezahürüdür. Şu ana kadar dört temel kuvveti modelleme süreci hep QFT'nin bize sağladığı bilgi birikimiyle mümkün olmuştur. Hatta bu kuramlar Renormalizasyon gibi tek dayanağı deneyler olan teknikleri de kullanmaktan asla çekinmez. Dolayısıyla temelsiz bir QFT; temelsiz bir Ayar Kuramı ve Kuantum Kromodinamiği demektir. Bu durumda matematikçilerin ortak paydada bulunduğu bir nokta olmuştur: Fizikçilerin kullandığı Kuantum Alan Teorisi'nin kâğıt üstünde var olduğunun ispatı (ya da kendi temelleri üzerine çöktüğünün ispatı), Yang-Mills'in koşullarından birisi olmak zorundadır.

Milenyum problemimizin çözümünde aranan son koşul ise probleme de ismini veren "Kütle Aralığı" adındaki terimin varlığının kanıtlanması üzerinedir. Kütle Aralığı için önce enerjinin kuantum dünyasında nasıl işlediğini bilmeliyiz. Çünkü enerji atomların dünyasında öyle kafasına göre istediği her değeri alamaz. Aynı bir merdiven basamağı gibi ancak belli değerlere sahip olabilir. Bu sayede parçacıklar yalnızca merdiven basamaklarındaki anlamlı enerji değerlerine sahip olabildiklerinde proton ve nötron gibi atomun temel parçacıklarını oluşturabilmektedir. Bu durum parçacıkların alabileceği en düşük enerji miktarını da etkiler. Sıfır gibi bir değerdense kuantum uzayında bulunan sabit bir taban enerji değeri (vakum durumu) vardır. Bu değer altındaki parçacıklar var olamaz.

Yang-Mills Teorisi'ne göre ise en düşük enerji seviyesi ile bir sonraki anlamlı enerji seviyesi arasında devasa bir fark vardır. Yani parçacıkların vakum durumundan ilk enerji seviyelerine sıçramaları için çok büyük miktarlarda enerjiye ihtiyaç duyarlar. İşte Kütle Aralığı'nın ortaya çıktığı yer de tam burasıdır. Bahsettiğimiz bu enerji, güçlü nükleer kuvvetin protonları oluştururken ihtiyaç duyduğu değer kendisinden başka bir şey değildir. Enerji sağlandıktan sonra bizim bildiğimiz protonlar oluşur ve tüm enerji Einstein'ın Özel Görelilik Teorisi'nde de anlattığı gibi  $E=mc^2$  formülüne uygun şekilde yoğunlaşarak kütleyle dönüşür. Protonun kütlesini oluşturan bu enerjiye de Kütle Aralığı denmektedir. Peki her şey biliniyorsa buradaki problem nedir? Maalesef deneylerle beraber de desteklenen Kütle Aralığı matematiksel olarak hâlâ kanıtlanamamıştır. Çünkü Kuantum Alan Teorisi'nde kullandığımız formüller ve yöntemler protonu oluşturan parçacıkları kütesiz olarak hesaplar. Matematikteki araçlarımız Kütle Aralığı'nın varlığını öngörecektir ve onu hesaplayacak yetkinliğe henüz erişememiştir. Her ne kadar var olması gerektiğini bilsek de matematiksel olarak nasıl ispatlayacağımız hâlâ bir soru işaretidir.

Kütle Aralığı'nın sakladığı sır ile birlikte, Yang-Mills ve Kütle Aralığı probleminin gizeminin sınırlarına dayanmış olduk. Kuantum fiziğini bu derecede ilgilendiren bir sorunun neden bir milyon dolar ödüle layık görüldüğünü artık net bir şekilde görebileceğimize eminim. Öyle ki, Aksiyomatik Varoluş'un yokluğunun ispatlanması kuantum fiziğini tamamen sarsabilecek ve evrene dair tüm bildiklerimizi yeniden yazmamıza sebep olabilecek kapasiteye sahiptir. Fakat elbette böyle korkunç sonuçlar doğurabilecek olsa bile cevap aramak bilim insanları için vazgeçilmez bir serüvendir. Günümüz matematiğinin hâlâ bu problemi çözecek kapasitede olmadığını biliyor olsak da her şey zaman meselesidir. Zira konuyla tamamen alakasız görülen bir buluş, Yang-Mills'i çözüme götürecektir anahtar olabilir.

## Kaynakça:

<https://www.claymath.org/wp-content/uploads/2022/06/yangmills.pdf>

[https://www-claymath-org.translate.goog/millennium/yang-mills-the-maths-gap/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=tr&\\_x\\_tr\\_hl=tr&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-claymath-org.translate.goog/millennium/yang-mills-the-maths-gap/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc)

[https://www-bluequbit-io.translate.goog/blog/quantum-field-theory/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=tr&\\_x\\_tr\\_hl=tr&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-bluequbit-io.translate.goog/blog/quantum-field-theory/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc)

<https://sites.google.com/view/utkuzorba/kuantum-alan-teorisi-ders-notlari>

<https://www.britannica.com/science/gauge-theory>

## Temel Makaleler:

- Einstein, A. (1905). Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? (Bir Cismin Eylemsizliği Enerji İçeriğine Bağlı mıdır?), Annalen der Physik, 18(13), 639-641.
- Einstein, A. (1915). Die Feldgleichungen der Gravitation (Yerçekiminin Alan Denklemleri), Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 844-847.
- Weyl, H. (1929). Elektron und Gravitation. I. (Elektron ve Kütleçekim. I.), Zeitschrift für Physik, 56(5-6), 330-352.
- Yang, C. N., & Mills, R. L. (1954). Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance (İzotopik Spinin Korunumu ve İzotopik Ayar Değişmezliği), Physical Review, 96(1), 191-195.
- Weinberg, S. (1967). A Model of Leptons (Bir Lepton Modeli), Physical Review Letters, 19(21), 1264-1266.

# Kuantum Solucan Deliklerinin Fiziksel Oluşum Koşulları ve Teorik Temelleri

Kuantum kütleçekimi ve uzay-zamanın kuantum kökenleri üzerine yürütülen teorik araştırmalar, kuantum solucan deliklerinin oluşum mekanizmalarını açıklamak için holografik ilkeye ve kuantum bilgi teorisine dayanmaktadır. Bu teorik altyapının merkezinde, iki maksimal dolaşık kuantum sistemi (Einstein-Podolsky-Rosen ya da EPR çifti) ile bunları bağlayan geçilemez bir Einstein-Rosen (ER) köprüsünün fiziksel olarak eşdeğer olduğunu öne süren ER=EPR Hipotezi yer almaktadır. Juan Maldacena ve Leonard Susskind tarafından 2013 yılında formüle edilen bu hipotez, uzay-zamanın pürüzsüz geometrisinin aslında kuantum dolaşıklık ağlarından türeyen makroskobik bir olgu olduğunu savunmaktadır.

Klasik genel görelilik çözümlerinde ortaya çıkan Schwarzschild tipi solucan delikleri geçilemez (non-traversable) karakterdedir. Herhangi bir fiziksel sinyalin solucan deliğinin boğazından geçmesine izin vermeden önce kütleçekimsel çöküş gerçekleşmekte ve ufuklar kapanmaktadır. Bir solucan deliğinin geçilebilir (traversable) hale gelmesi, kütleçekimsel odaklanmayı tersine çevirecek negatif enerji yoğunluğunun varlığına bağlıdır. Klasik fizikte bu durum enerji koşullarının ihlalini gerektirdiğinden imkansız kabul edilirken, kuantum alan teorisinde Ortalama Sıfır Enerji Koşulu (Averaged Null Energy Condition - ANEC) ihlal edilerek geçilebilirlik sağlanabilmektedir. Kaze jeodezikler boyunca entegre edilen enerji-momentum tensörü  $T_{\mu\nu}$  ve teğet sıfır vektörü  $k^\mu$  için ANEC integral formülasyonu şu şekildedir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} T_{\mu\nu} k^\mu k^\nu d\lambda < 0$$

Bu ihlal, sınır koşullarının kuantum alanları üzerindeki geometrik etkilerinden yararlanılarak egzotik maddeye ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilir. Ping Gao, Daniel Louis Jafferis ve Aron C. Wall (GJW) tarafından 2016 yılında geliştirilen protokolde, iki bağımsız sınıra sahip olan bir anti-de Sitter ( $AdS_3$ ) Schwarzschild (veya BTZ) kara deliği ele alınmıştır. GJW protokolünde, iki sınır arasında yerel olmayan bir çift iz deformasyonu (double-trace deformation) kurulmaktadır. Sınır konformal alan teorisindeki (CFT) yerel operatörlerin ( $O_L$  ve  $O_R$ ) zayıf bir şekilde kuplajlanmasıyla tetiklenen bu deformasyon, kütleçekimsel tarafta negatif enerjili bir şok dalgasına yol açmaktadır. Raychaudhuri denklemi çerçevesinde, negatif enerji kütleçekimsel bükülmeyi tersine çevirerek genişleme parametresini ( $\theta > 0$ ) pozitif kılmakta ve parçacıkların olay ufkunu aşarak diğer sınırdaki belirmesini sağlamaktadır :

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = -\frac{1}{D-2}\theta^2 - \sigma_{\mu\nu}\sigma^{\mu\nu} - R_{\mu\nu}k^\mu k^\nu$$

Alternatif olarak, Maldacena tarafından sunulan dört boyutlu uzay-zaman çözümlerinde, Standart Model sınırları dahilinde geçilebilir solucan deliklerinin varlığı gösterilmiştir. Bu kurguda, manyetik olarak yüklü iki aşırı uç (near-extremal) kara delik, kütleli yüklü fermiyonların dış geometride oluşturduğu kuantum vakum dalgalanmaları (Casimir etkisi benzeri negatif enerji yoğunluğu) sayesinde birbirine bağlanmaktadır. Bu çözüm, herhangi bir yapay dış müdahaleye gerek duymaksızın, kuantum etkileri ile klasik kütleçekimsel kuvvetleri dengeleyerek sıfır entropili ve ufuksuz stabil bir geometrik köprü sunmaktadır.

Geometrik Metrik ve Solucan Deliği Sınıfı	Kaynak Makale / Referans	Geçilebilirlik Mekanizması	Enerji Koşulları Durumu	Termodinamik ve Entropi Özellikleri
Schwarzschild Geçilemez Köprüsü	Einstein & Rosen (1935)	Klasik kütleçekimsel çöküş nedeniyle geçişe izin vermez.	Tüm klasik enerji koşullarını (NEC, ANEC) sağlar.	Maksimal entropi, dinamik ufuk varlığı.
Gao-Jafferis-Wall (GJW) Protokolü	Gao, Jafferis, Wall (2016)	Çift iz deformasyonu ile tetiklenen kuantum şok dalgası.	ANEC ihlal edilir ( $\int \langle T_{VV} \rangle < 0$ ).	Dolaşık Thermofield İkili (TFD) durumu.
Maldacena 4B Standart Model Solucan Deliği	Maldacena, Stanford, Yang (2017)	Manyetik yük dengesi ve fermiyonik Casimir vakum enerjisi.	Yerel kuantum etkileriyle ANEC ihlal edilir.	Ufuksuz, sıfır entropili, kararlı bağlı durum geometrisi.

# Laboratuvar Ortamındaki Kuantum Solucan Deliği Deneyleri ve Sycamore Tartışması

Kuantum solucan deliklerinin laboratuvar ortamında simüle edilmesi, holografik kuantum kütleçekimi teorilerinin deneysel olarak test edilmesini sağlayan önemli bir dönüm noktasıdır. Bu kapsamdaki en ses getiren çalışma, Daniel Jafferis liderliğindeki bir araştırma grubunun 2022 yılında Google'ın Sycamore kuantum işlemcisi üzerinde gerçekleştirdiği deneştir. Deneyde, kuantum kütleçekimsel bir duale sahip olduğu bilinen Sachdev-Ye-Kitaev (SYK) çok-cisim kuantum sistemi kullanılmıştır.

SYK modeli, çok sayıda Majorana fermiyonunun rastgele ve her biri birbiriyle (all-to-all) etkileştiği kaotik bir sistemdir ve düşük enerjilerde iki boyutlu anti-de Sitter ( $AdS_2$ ) kütleçekim geometrisiyle tam bir dualite sergilemektedir. Ancak mevcut kuantum işlemcilerin kubit sayısı ve gürültü kısıtlamaları nedeniyle orijinal SYK modelini doğrudan çalıştırmak mümkün olmadığından, araştırmacılar makine öğrenimi tekniklerini kullanarak sistemi küçültmüşlerdir. Bu süreçte,  $N=10$  fermiyonlu ve 210 etkileşim terimli karmaşık bir SYK modelinden, kütleçekimsel özellikleri (özellikle holografik ışınlama dinamiklerini) koruyan ancak yalnızca  $N=7$  Majorana fermiyonu ve 5 tam uyumlu (commuting) terim içeren oldukça seyreltilmiş (sparsified) bir Hamiltonian türetilmiştir.

Deneysel protokol, 9 kubitlik bir kuantum devresinde 164 iki kubitlik kuantum kapısıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem öncelikle bir solucan deliğinin kuantum kütleçekimsel duali olan Thermofield İkili (Thermofield Double - TFD) durumuna getirilerek solucan deliğinin iki ucu (sol L ve sağ R sistemleri) oluşturulmuştur. İşlem sırası şu şekilde yürütülmüştür:

- ir bilgi kubitleri (mesaj), sol (L) sisteme yerleştirilmiş ve zaman evrimiyle sistemin içinde kaotik bir şekilde dağıtılmıştır (scrambling).
- Sistem genelinde iki ucu bağlayan yerel olmayan bir etkileşim uygulanmıştır. Bu etkileşim, dual kütleçekim resminde negatif enerjili bir şok dalgasına karşılık gelmektedir.
- Negatif enerji şok dalgasının uygulanmasının ardından, sol sistemde dağılan bilginin, sağ (R) sistemde kusursuz bir şekilde yeniden odaklanarak (unscrambling) ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.
- Deneyde ayrıca, pozitif kütleli şok dalgaları uygulandığında bilginin geçişinin engellendiği (Shapiro zaman gecikmesi ve kütleçekimsel odaklanma dinamikleriyle uyumlu olarak) ve sinyallerin solucan deliğinden çıkışının nedensel zaman sırasına uyduğu teyit edilmiştir.

Ancak bu deney, fizik dünyasında büyük bir tartışmayı ve eleştiri dalgasını beraberinde getirmiştir. Bryce Kobrin, Thomas Schuster ve Norman Yao (2023) tarafından yayımlanan detaylı analizde, Jafferis ve ekibinin makine öğrenimiyle türettiği Hamiltonian modelinin (Model 1) tamamen komütatif (bütün terimleri birbiriyle uyuşan) olduğu belirtilmiştir. Komütatif Hamiltonian modelleri, doğası gereği kuantum kaosa ve termalleşmeye (thermalization) izin vermemektedir. Yazarlar, deneyde gözlemlenen "kusursuz boyut dolanması" (perfect size winding) fenomeninin, holografik bir kütleçekim dualinden ziyade, küçük boyutlu ve komütatif kuantum sistemlerinin genel bir matematiksel özelliği olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrıca, ışınlama sinyalinin sadece makine öğreniminin eğitim sürecinde kullanılan operatörler için çalıştığı, kütleçekimsel bir sistemden bekleneceği üzere tüm operatörler için evrensel bir davranış sergilemediği gösterilmiştir.

Bu eleştirilere yanıt olarak, Ping Gao ve Jafferis'in ekibi, komütatif olmayan ve daha belirgin termalleşme sinyallerine sahip alternatif kuantum modelleri (Model 3) üzerinde çalışmalar yürütmüş ve bu teorik modellerin gürültüye karşı hassasiyetini azaltarak gelecekteki kuantum işlemcilerde daha sağlam testler yapılmasına olanak sağlayacak güncellemeler sunmuşlardır.

Deneysel Kuantum Model Sınıfı	Majorana Fermiyonu ve Terim Sayısı	Komütatiflik Özellikleri	Termal Kararlılık ve Kaos	Karşılaştığı Temel Akademik Eleştiriler
Model 1 (Seyreltilmiş SYK)	$N = 7$ Majorana, 5 terim	Tamamen komütatif Hamiltonian yapısı.	Kaotik termalleşme sinyali göstermez.	Kobrin vd. : Kütleçekimsel dualite içermez, boyut dolanması küçük sistem yapaylığıdır.
Model 2 (Yarı-Seyreltilmiş SYK)	$N \approx 8$ Majorana, sınırlı kuplaj	Neredeyse tamamen komütatif özelliktedir.	Kaotik dağılım ve karışırma hızı çok düşüktür.	Model 1 ile benzer gürültü ve fiziksel tutarsızlık sınırlarına tabidir.
Model 3 (Komütatif Olmayan Alternatif)	$N \geq 10$ Majorana, çoklu kuplaj	Komütatif değildir (non-commuting).	Belirgin termalleşme ve kuantum kaos özellikleri.	Mevcut gürültülü kuantum işlemcilerde (NISQ) deneysel kararlılığının korunması zordur.

# Kuantum Bilgi Kuramı ve Veri Aktarım Koşulları

Solucan delikleri aracılığıyla gerçekleştirilen veri aktarım dinamikleri, kuantum bilgi kuramında "boyut dolaşımıyla kuantum ışınlanması" (teleportation-by-size) veya çok-cisim kuantum ışınlanması (many-body quantum teleportation) olarak incelenmektedir. Standart kuantum ışınlanmasında gönderici (Alice) ve alıcı (Bob) bir EPR çifti ( $|EPR\rangle$ ) paylaşır. Alice, göndermek istediği bilinmeyen  $|\Psi\rangle$  durumunu kendi elindeki dolaşık parça ile Bell durum ölçümüne (Bell State Measurement - BSM) tabi tutar. Ölçüm sonucu elde edilen iki klasik bit, klasik bir iletişim kanalı aracılığıyla alıcıya gönderilir. Bob, bu klasik verilere dayanarak kendi parçasına Pauli dönüş kapılarını (X ve Z) uygular ve orijinal kuantum durumunu yeniden oluşturur.

Holografik solucan deliği ışınlanmasında ise bilgi, tekil kubit etkileşimlerinin ötesinde, kaotik çok-cisim dinamikleri ve operatör yayılımı (operator spreading) mekanizmalarıyla iletilmektedir.

- **Kaotik Karıştırma (Scrambling):** Sol sisteme (L) enjekte edilen bilgi kubitini, yerel kuantum etkileşimleri nedeniyle sistemin tüm serbestlik derecelerine hızla dağıtır. Bu süreç, kütleçekimsel dualde solucan deliğinin dış ufkundan içeri düşen bir parçacığın zamanla merkez tekilliğe doğru çekilmesine denk gelmektedir.
- **Boyut Dolanması (Size Winding):** Dağılan operatörlerin kuantum fazları, sistemin düşük sıcaklık rejiminde belirli bir düzende hizalanır. Fazların bu senkronizasyonu, kütleçekimsel dualde parçacığın solucan deliği boğazından geçerken kazandığı kütleçekimsel faz kaymasını (Shapiro zaman gecikmesi) temsil eder.
- **Çift İz Kuplajı ve Şok Dalgası:** Sistemler arasında uygulanan  $H_{\text{etkileşim}} = gO_L O_R$  çift iz kapısı, sistemin fazlarını koherent olarak manipüle eder. Bu işlem, kütleçekimsel tarafta negatif enerji dalgası yaratarak ufuk kaymasına neden olur ve sol tarafta dağılan bilginin sağ tarafta kusursuz bir şekilde yeniden odaklanarak (unscrambling) ortaya çıkmasını sağlar.

Bu ışınlama protokolünde kütleçekimsel duali olan holografik modeller ile holografik olmayan kaotik sistemler arasında önemli bir ayrım bulunur. Thomas Schuster ve ark. (2022) tarafından geliştirilen analizlerde, bu fark "peaked-size" ışınlama ve "gravitational" ışınlama olarak kavramsallaştırılmıştır. Kütleçekimsel duali olmayan rastgele kuantum devrelerinde veya yüksek sıcaklıklı SYK modellerinde, ışınlama sinyali sadece belirli sınır operatörleri için geçerlidir ve zayıf bir sinyal üretir (peaked-size). Buna karşın, holografik düşük sıcaklık SYK modellerinde, tüm operatörler için evrensel ve koherent bir veri aktarımı gerçekleşir; bu durum parçacığın fiziksel olarak solucan deliğinden geçişine kütleçekimsel olarak tam bir eşdeğerlik sunar.

Önemle belirtmelidir ki, solucan deliği üzerinden veri aktarımı hiçbir koşulda nedenselliği (causality) ihlal etmez ve ışık hızından hızlı (superluminal) iletişime izin vermez. Solucan deliğinin geçilebilirliğini tetikleyen negatif şok dalgasının kurulması, sol ve sağ sınırlar arasında klasik veri aktarımına (iki klasik bitin fiziksel kanallardan gönderilmesi) sıkı sıkıya bağlıdır. Klasik iletişim adımı tamamlanmadan solucan deliği boğazı açılmayacağı için nedensellik zinciri korunmaktadır.

# Kapalı Zaman Eğrileri (CTC)

Kapalı Zaman Eğrileri (Closed Timelike Curves veya CTC), evrenin işleyişine dair en akıl almaz teorik konulardan biridir. Nasıl çalıştığını anlamak için uzay-zamanın geometrisine ve ışık konilerine bakmamız gerekir.

## Işık Konilerinin Çarpılması (Frame-Dragging)

Normal ve düz bir uzay-zamanda (Minkowski uzayı), nedensellik "ışık konileri" ile korunur. Bir olayın geçmişi alt konide, geleceği ise üst konidedir. Hızımız asla ışık hızını (c) aşamayacağı için her zaman bu koninin içinde, geleceğe doğru hareket ederiz. İki nokta arasındaki uzay-zaman aralığı şu şekilde ifade edilir:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

Ancak Einstein'ın Genel Görelilik teorisine göre kütle çekimi, uzay-zamanı bükür. Eğer elinizde devasa bir kütle varsa ve bu kütle çok hızlı dönüyorsa, sadece uzayı bükmekle kalmaz, etrafındaki uzay-zamanı da bir girdap gibi kendisiyle birlikte sürükler. Buna Frame-Dragging (Referans Çerçevesi Sürüklenmesi) veya Lense-Thirring Etkisi denir.

Eğer bu sürüklenme ekstrem boyutlara ulaşırsa (örneğin kendi etrafında inanılmaz hızla dönen bir kara deliğin Ergoküre bölgesinde), uzay-zaman o kadar şiddetli bir şekilde bükülür ki, ileriye doğru bakan ışık konilerimiz yana doğru yatmaya başlar.

## Işık Konilerinin Çarpılması (Frame-Dragging)

Dönüş hızı ve kütle çekimi kritik bir sınırı aştığında, ışık konisi 45 dereceden fazla yatar. Bu noktada inanılmaz bir şey olur: Gelecek yönü, artık geçmiş zaman eksenini de kapsayacak şekilde bükülmüştür. Uzaydaki bir yöne doğru (örneğin bu girdabın etrafında) hareket etmeye devam ettiğinizde, aslında kendi geçmişinize doğru seyahat etmiş olursunuz. Denklemlerde uzaysal hareket ile zamansal hareket yer değiştirir. Eğri kendi üzerine kapanır ve bir CTC oluşur.

## Işık Konilerinin Çarpılması (Frame-Dragging)

Fizikte CTC'lerin oluşabileceğini gösteren birkaç meşhur Einstein alan denklemi çözümü vardır:

- Gödel Evreni (1949): Ünlü mantıkçı Kurt Gödel, tüm evrenin kendi etrafında dönmesi durumunda (genişlemediği bir modelde), uzay-zamanın her yerinde kapalı zaman eğrilerinin var olabileceğini kanıtladı.
- Tipler Silindiri (1974): Frank Tipler, sonsuz uzunlukta, inanılmaz yoğun ve kendi eksenini etrafında neredeyse ışık hızında dönen bir silindir inşa edilebilirse, etrafında sarmal bir yörünge çizen bir geminin geçmişe gidebileceğini gösterdi.
- Wormholes (Solucan Delikleri): Kip Thorne ve meslektaşları, eğer uzayda iki noktayı bağlayan geçilebilir bir solucan deliği yaratılabilirse, ağızlarından birini rölativistik hızlarda (ışık hızına yakın) hareket ettirip geri getirerek (İkizler Paradoksu mantığıyla) iki ağız arasında bir zaman farkı yaratılabileceğini, bunun da bir CTC oluşturacağını ortaya koydu.

# Açık Zaman Eğrileri (OTC)

Açık Zaman Eğrileri (Open Timelike Curves - OTC), uzay-zamanda geçmişe doğru yapılan ancak kendi geçmişiyle asla kesişmeyen bir yolculuğu tanımlar.

Bir kuantum parçacığını (örneğin bir fotonu) ele alalım. Bu foton, uzay-zamanın büküldüğü ekstrem bir bölgeden (belki inanılmaz hızla dönen bir kütleli etraftan) geçerek zamanda geriye gider. Ancak geçmişe vardığında, uzaysal konumu veya kuantum durumu öyle bir şekilde değişmiştir ki, yola çıkmadan önceki "kendi orijinal haliyle" hiçbir şekilde karşılaşmaz veya fiziksel bir etkileşime girmez. Eğri, kendi üzerine kapanıp bir döngü oluşturmaz; bir ucu geçmişte, diğer ucu gelecekte açık kalan kopuk bir iplik gibidir.

Nasıl çalıştığına bakacak olursak OTC'nin asıl büyüğü klasik fizikte değil, kuantum mekaniği düzeyinde ortaya çıktığını görürüz. Klasik olarak kendinize dokunmadığınız için ortada bir "Büyükbaba Paradoksu" yoktur. Ancak bu geçmişe giden parçacık, normal zaman akışında laboratuvarında kalan başka bir parçacıkla dolanık (entangled) ise işler çığırından çıkar.

Zamanda geriye giden parçacık, bu dolanıklık bağı üzerinden geçmişten geleceğe ekstra bir "korelasyon bilgisi" taşır. Ortada fiziksel bir çarpışma olmasa bile, bu zamansal bilgi aktarımı doğanın en temel yasalarını hacklememize olanak tanır:

1. Heisenberg Belirsizlik İlkesinin İhlali: Normalde bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda kusursuz ölçemeyiz.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Ancak geçmişten dolanıklıkla gelen bu ekstra bilgi sayesinde, belirsizlik sıfırlanabilir ve bir kuantum durumunun tüm özellikleri kusursuzca okunabilir.

2. Kusursuz Klonlama (No-Cloning Yasasının Çöküşü): Kuantum mekaniği, bilinmeyen bir kuantum durumunun mükemmel kopyalanmasını kesinlikle yasaklar. OTC ortamında ise sistem, geçmişten gelen dolanık veriyi kullanarak bir durumu %100 doğrulukla kopyalayabilir.

Kısacası OTC, geçmişi fiziksel olarak değiştirmez ama sistemin kuantum bilgisini kusursuz bir şekilde okuyup kopyalamasına olanak tanıyarak fiziğin temel sınırlarını yerle bir eder.

## OTC ve CTC Arasındaki Temel Farklar

Şimdi bu resmi tamamlamak için, Açık Zaman Eğrilerini (OTC) yazgıyı belirleyen Kapalı Zaman Eğrileriyle (CTC) kıyaslayalım:

Özellik	Kapalı Zaman Eğrisi (CTC)	Açık Zaman Eğrisi (OTC)
Yörünge Geometrisi	Kendi üzerine kapanan, tam bir çember.	Uçları birleşmeyen, açık bir çizgi.
Geçmişle Etkileşim	Parçacık geçmişteki kendisiyle etkileşime girer.	Parçacık geçmişteki kendisini teğet geçer, asla dokunmaz.
Paradoks Türü	Nedensellik Paradoksu: Geçmişe değiştirme ihtimali (Büyükbaba Paradoksu) doğurur.	Kuantum Paradoksu: Nedensellik sağlamdır ama Kuantum Mekaniği (Belirsizlik vb.) çöker.
Evrenin Çözümü	Novikov Öz-Tutarlılık İlkesi: Evren, çelişkiyi önlemek için olayları tek bir tutarlı sonuca, değişmez bir kadere (Çekici Alan / Attractor Field) hapseder.	Dünya Çizgisi Sapması: Evren katı bir kadere hapsolmek yerine, farklı kuantum durumlarına veya dallanan dünya çizgilerine (Paralel Evrenler) geçiş yapmaya izin verir.

# Zamanda Yolculuk Deneyleri

Genel görelilik teorisi, döner kara delikler ve geçilebilir solucan delikleri çevresinde uzay-zamanın kendi üzerine bükülerek Kapalı Zamansal Eğriler (Closed Timelike Curves - CTCs) oluşturmasına izin vermektedir. KZE geometrileri, teorik olarak bir nesnenin kendi geçmişine dönerek dünyadaki nedensellik bağlarını sarsmasına yol açan zaman döngülerini mümkün kılmaktadır. Kuantum bilgi teorisi ve kütleçekiminin kesişim noktalarında, bu kozmolojik durumların yol açtığı büyükbaba paradoksu gibi mantıksal çıkmazları çözmek amacıyla çeşitli kuantum CTC modelleri geliştirilmiştir.

## Kuramsal Kuantum CTC Modelleri

Kuantum mekaniğinin KZE'ler ile etkileşimini açıklamak için iki temel kuramsal yaklaşım geliştirilmiştir:

1. Deutsch Modeli (D-CTC): David Deutsch tarafından 1991 yılında önerilen bu model, zaman döngüsündeki kuantum durumunun yoğunluk matrisinin bir sabit nokta (fixed point) olması gerektiğini şart koşar. Zaman döngüsünden gelen kuantum durum ( $\sigma_C$ ) ile kronolojiye uyan dış sistem durumu ( $\rho_S$ ), bir kuantum kanalı ( $U_{SC}$ ) üzerinden etkileşime girmektedir. Sürecin öz-tutarlı (self-consistent) kalabilmesi için sistem şu sabit nokta denkleminde uymalıdır :

$$\sigma_C = Tr_S$$

Bu model paradoksları çözer ancak kuantum teorisinin doğrusallık (linearity) ilkesini ihlal eder. Bu ihlal, kuantum durumlarının kopyalanmasına (cloning) ve  $P$ -Tam problemlerinin polinom zamanda çözülmesine yol açar.

2. Lloyd Modeli (P-CTC): Seth Lloyd tarafından önerilen bu alternatif model, KZE geçişlerini bir kuantum kanalında ardıl seçim (post-selection) işlemi olarak formüle eder. P-CTC modelinde, paradoksal geçmiş senaryoları (örneğin zaman gezgininin kendi doğumunu engellemesi) kuantum projeksiyon mekanizmasıyla elenir ve gerçekleşme olasılıkları matematiksel olarak sıfıra indirgenir.

## Gavassino Termodinamik Modeli (2024/2025)

Zaman döngüleri ve nedensellik üzerine yapılan en güncel katkılardan biri, Vanderbilt Üniversitesi'nden fizikçi Lorenzo Gavassino tarafından 2024 yılının sonlarında sunulan ve 2025 yılında yayımlanan termodinamik modeldir. Gavassino, zaman döngüsü boyunca hareket eden makroskobik sistemlerin (örneğin bir uzay gemisi ve içindeki yolcular) termodinamik entropi davranışlarını analiz etmiştir.

Fizikte zamanın yönünü ve tek yönlü akışını belirleyen birincil dinamik, izole sistemlerde entropinin sürekli arttığını söyleyen Termodinamiğin İkinci Yasasıdır. Gavassino, standart kuantum mekaniği kuralları çerçevesinde, kapalı zamansal eğrilerde termodinamik yasalarının radikal bir biçimde değiştiğini matematiksel olarak göstermiştir. Bir zaman döngüsüne giren makroskobik sistemde kuantum dalgalanmaları entropiyi sıfırlayacak yönde çalışmaktadır. Döngü boyunca ilerleyen sistem, maksimum düzensizlik noktasına ulaştıktan sonra termal dalgalanmaların etkisiyle entropisini kaybetmeye ve düşük entropili başlangıç durumuna doğru gerilemeye başlar.

Bu durum, zaman gezgini üzerinde biyolojik ve zihinsel süreçlerin tersine dönmesi (yaşlanmanın geri sarması ve ölümün tersine dönmesi) gibi dramatik etkilere yol açar. Daha da önemlisi, Poincaré tekrarlanması nedeniyle zaman döngüsündeki tüm bilgi ve hafıza izleri döngü tamamlanmadan önce tamamen silinmektedir. Zaman gezgini kendi geçmişine ulaştığında, geçmişini değiştirmesini sağlayacak tüm motivasyonları, gelecekte getirdiği bilgileri ve zaman makinesinin planlarını unutmuş olur. Doğa, makroskobik nedenselliği ve geçmişin tutarlılığını korumak için zaman gezgininin hafızasını fiziksel olarak sıfırlayarak büyükbaba paradoksunu kendiliğinden çözmektedir.

Zamansal Döngü Modeli	Paradoks Çözüm Mekanizması	Doğrusallık ve Kuantum Kuralları	Bilgi ve Hesaplama Sınırları	Termodinamik ve Hafıza Etkileri
Deutsch CTC (D-CTC)	Yoğunluk matrisi sabit noktası ile öz-tutarlılık.	Doğrusallığı ihlal eder, klonlamaya izin verir.	Klasik ve kuantum sınırlarını aşar ( $NP \subseteq P_{CTC}$ ).	Gözlemcinin hafızası korunabilir ancak çoklu geçmiş hissi yaratır.
Lloyd P-CTC	Ardıl seçim projeksiyonu ile paradoksları eleme.	Doğrusallığı korur ancak olasılık normunu bozar.	Klasik kuantum hesaplama kapasitesine eşdeğerdir.	Paradoksal eylemlerin gerçekleşme ihtimali sıfırlanır.
Gavassino Modeli	Termodinamik kuantum dalgalanmaları ve entropi sıfırlanması.	Standart kuantum mekaniğini ek kabuller olmadan korur.	Termal gürültü nedeniyle makroskobik nedensellik kaybolur.	Poincaré tekrarlanması nedeniyle tüm hafıza silinir, yaşlanma tersine döner.

## Gavassino Termodinamik Modeli (2024/2025)

Gerçek uzay-zamanda makroskobik kapalı zamansız eğriler inşa etmek mevcut teknolojiyle imkansız olsa da, kuantum optik düzenekleri kullanılarak bu döngülerin davranışsal simülasyonları laboratuvarlarda başarıyla gerçekleştirilmiştir.

- **Queensland Üniversitesi D-CTC Simülasyonu (2014):** Martin Ringbauer ve ekibi, polarize edilmiş tekil foton çiftleri kullanarak Deutsch modeline dayalı bir zaman makinesi simülatörü geliştirmişlerdir. Fotonik bir devrede, zamanda geriye giden bir fotonun kendisinin daha eski bir versiyonuyla etkileşime girmesi senaryosu, dolaşık fotonların polarizasyon durumları üzerinden modellenmiştir. Fotonlar, parametrik aşağı dönüşüm (SPDC) yöntemiyle doğrusal olmayan bir kristal üzerinde üretilmiş ve bir yarı-polarize ışın bölücü (PPBS) üzerinde etkileşime sokulmuştur. Deney sonucunda, standart kuantum mekaniğinde imkansız olan "ortogonal olmayan kuantum durumlarının kusursuz ayırt edilmesi" ve "aynı durumun farklı hazırlık süreçlerinin (preparation) teşhis edilmesi" gibi Deutsch modelinin öngördüğü doğrusal olmayan sıra dışı etkiler başarıyla gözlemlenmiştir.
- **Marletto ve Vedral OTC Simülasyonu (2019):** Chiara Marletto ve Vlatko Vedral liderliğindeki konsorsiyum, zamanda geriye giden bir kuantum sisteminin geçmiş kopyasıyla etkileşmediği ancak başka bir kronolojiye uyan kubitle dolaşık olduğu Açık Zamansız Eğriler (OTC) senaryosunu araştırmışlardır. Bu sistemlerde, kuantum mekaniğinin dolaşıklık monogamisi ilkesi ihlal edilmektedir. Araştırmacılar, bu paradoksal durumu açıklamak amacıyla hem uzaysal hem de zamansal korelasyonları tek bir matematiksel objede birleştiren Sahte Yoğunluk Operatörü (Pseudo-Density Operator - PDO) yaklaşımını kullanmışlardır. Deneysel düzenekte, mod kilitli bir Ti:Sapphire lazerinden elde edilen 808 nm dalga boyundaki darbeler, SHG ile frekansı iki katına çıkarılarak beta-baryum borat (BBO) kristaline pompalanmış ve dejeneratif tip-II parametrik aşağı dönüşüm (PDC) ile dolaşık foton çiftleri oluşturulmuştur. Ardışık polarizasyon ölçümleriyle elde edilen korelasyon verileri, PDO çerçevesinde analiz edilerek monogami ihlalleri deneysel olarak haritalandırılmış ve sahte yoğunluk operatörünün zamansal kuantum korelasyonlarını başarılı bir şekilde temsil ettiği kanıtlanmıştır.

Simülasyon Deneyi ve Grubu	Deneysel Platform ve Donanım Altyapısı	Analiz Edilen Kuantum Mekanizması	Elde Edilen Temel Bulgular ve Ölçümler
Queensland CTC Simülasyonu (Ringbauer vd., 2014)	Fotonik optik devre, SPDC kristali, polarize edici ışın bölücüler (PPBS).	Deutsch tipi KZE (D-CTC) sabit nokta ve doğrusallık ihlali simülasyonu.	Ortogonal olmayan kuantum durumlarının ve hazırlık eşdeğerliklerinin ayırt edilmesi.
Marletto-Vedral OTC Simülasyonu (Marletto vd., 2019)	Ti:Sapphire lazeri (808 nm), SHG, BBO kristali, PDC kuantum ölçüm hattı.	Açık Zamansız Eğrilerde (OTC) dolaşıklık monogamisi ihlali analizi.	Sahte Yoğunluk Operatörleri (PDO) kuantum tomografisi ve zamansal Bell ihlali tespiti.

# Kuantum Solucan Deliklerinin Olası Kullanım Alanları

Kuantum solucan delikleri ve holografik kuantum ışınlama protokolleri üzerinde yürütülen araştırmalar, pratik teknolojik uygulamalara dönüştürülebilecek önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel uygulama alanları şu şekilde kategorize edilmektedir:

## Güvenli Kuantum İletişimi ve Kuantum İnternet

Geleneksel Kuantum Anahtar Dağıtımı (QKD) sistemleri, fiziksel taşıyıcıların (fotonlar) lifler veya atmosfer boyunca seyahat etmesini gerektirir; bu durum hatlardaki sinyal kayıplarına ve fiziksel müdahale risklerine açıktır. Solucan deliği tabanlı çok-cisim ışınlama protokolleri (teleportation-by-size), bilginin aradaki fiziksel uzayda hiç var olmadan doğrudan iki uç arasında trānsfer edilmesini sağlar. Bu durum, üçüncü şahısların fiziksel ortama müdahale ederek bilgi sızdırmasını (eavesdropping) fiziksel olarak imkansız kılmaktadır. Bu teknoloji, küresel ölçekte çalışacak kırılmaz kuantum internet ağlarının ve uzun mesafeli kuantum yineleyicilerin (repeaters) temel mimarisini oluşturacaktır.

## Kuantum Hesaplama ve Hata Azaltma Protokolleri

Gürültülü Kuantum İşlemcilerde (NISQ), kubitler arasındaki bilginin fiziksel olarak taşınması çevresel gürültüye bağlı faz bozulmalarına (decoherence) yol açmaktadır. Solucan deliği ışınlama mekanizmaları, kuantum durumlarının fiziksel bir taşıma işlemi olmaksızın doğrudan işlemci kapıları arasında transfer edilmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, kuantum işlemcilerdeki koherens sürelerini uzatarak hata oranlarını minimize edecek ve hata toleranslı (fault-tolerant) kuantum bilgisayarların geliştirilmesini hızlandıracaktır.







































## Kuantum Metrolojisi ve Ultra Hassas Sensörler

Kuantum solucan delikleri ve dolaşık kuantum sistemlerinin simülasyonu, hassas ölçüm cihazlarının tasarımına katkı sunmaktadır. Dolaşık kuantum sensörleri, yerçekimi dalgalarını, yer kabuğundaki mikroskobik yoğunluk değişimlerini ve sismik hareketleri ölçmek üzere uzak mesafelerden senkronize edilebilmektedir. Bu teknoloji, uzay navigasyon sistemlerinde ve jeodezi çalışmalarında kullanılacak ultra hassas atom saatlerinin ve gravimetrelerin hassasiyetini üst seviyelere çıkaracaktır.

## Kuantum Kütleçekimi ve Planck Ölçeği Araştırmaları

Kuantum kütleçekimi teorilerinin en büyük sınırlılığı, öngördükleri etkilerin ancak doğrudan gözlemlenmesi imkansız olan Planck ölçeğinde ( $10^{19}$  GeV) ortaya çıkmasıdır. Holografik kuantum solucan deliği deneyleri, Planck ölçeğindeki kütleçekimsel fiziği (kara delik ufuk değişimleri, şok dalgaları ve bilgi kaybı paradoksları) laboratuvardaki düşük enerjili kuantum çiplerine yansıtarak test etme imkanı sunmaktadır. Bu deneysel program, genel görelilik ile kuantum mekaniğini birleştirecek nihai bir "Her Şeyin Teorisi"nin laboratuvarında test edilerek doğrulanmasının önünü açmaktadır.

# Kaynakça

-  [spacefed.com](https://spacefed.com) Traversable Wormhole Teleportation Protocol - The International Space Federation (ISF)
-  [medium.com](https://medium.com) Entangled Black Holes and the Structure of Space | by Beyond the Horizon - Medium
-  [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org) ER = EPR - Wikipedia
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) The Neverending Story of the Eternal Wormhole and the Noisy Sycamore - arXiv
-  [osti.gov](https://osti.gov) Black Hole Complementarity and ER/EPR - OSTI
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) Traversable wormhole with double trace deformations via gravitational shear and sound ch...
-  [www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp](https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp) Traversable wormhole.key
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [1608.05687] Traversable Wormholes via a Double Trace Deformation - arXiv
-  [member.ipmu.jp](https://member.ipmu.jp) Exploring the black hole interior
-  [www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp](https://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp) Diving into Traversable Wormholes
-  [cmsr.rutgers.edu](https://cmsr.rutgers.edu) Wormholes and Entanglement
-  [research-portal.uu.nl](https://research-portal.uu.nl) Algebraic perturbation theory: traversable wormholes and generalized entropy...
-  [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov) Traversable wormhole dynamics on a quantum processor - PubMed
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [2308.00697] Debating the Reliability and Robustness of the Learned Hamiltonian in the Tra...
-  [osti.gov](https://osti.gov) Traversable wormhole dynamics on a quantum processor (Journal Article) | OSTI.GOV
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) Debating the Reliability and Robustness of the Learned Hamiltonian in the Traversable Wor...
-  [researchgate.net](https://researchgate.net) (PDF) Comment on "Traversable wormhole dynamics on a quantum processor"
-  [news.mit.edu](https://news.mit.edu) MIT researchers use quantum computing to observe entanglement ...
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [2302.07897] Comment on "Traversable wormhole dynamics on a quantum processor" - arXiv
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [2102.00010] Many-body quantum teleportation via operator spreading in the traversable ...
-  [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org) Quantum teleportation - Wikipedia
-  [quantum.cloud.ibm.com](https://quantum.cloud.ibm.com) Quantum teleportation | IBM Quantum Learning
-  [academia.edu](https://academia.edu) Spacetime, entanglement, and the ER=EPR conjecture - Academia.edu
-  [quantamagazine.org](https://quantamagazine.org) Wormhole Experiment Called Into Question - Quanta Magazine
-  [diva-portal.org](https://diva-portal.org) Simulation of Closed Timelike Curves in a Darwinian Approach to Quantum Mechanic...
-  [livescience.com](https://livescience.com) Physicist claims to have solved the infamous 'grandfather paradox,' making time trav...
-  [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov) Theoretical description and experimental simulation of quantum ...
-  [iflscience.com](https://iflscience.com) Physicist Thinks He May Have Solved The Time Travel "Grandfather Paradox", But Ther...
-  [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org) Quantum mechanics of time travel - Wikipedia
-  [researchgate.net](https://researchgate.net) (PDF) Simulations of Closed Timelike Curves - ResearchGate
-  [scottaaronson.com](https://scottaaronson.com) PHYS771 Lecture 19: Time Travel - Scott Aaronson
-  [sciencealert.com](https://sciencealert.com) Physicist May Have Solved The Grandfather of All Time-Travel Paradoxes - Science ...
-  [labrujulaverde.com](https://labrujulaverde.com) A Scientist Mathematically Demonstrates That Time Travel Is Possible by Solving ...
-  [researchgate.net](https://researchgate.net) (PDF) Experimental simulation of closed timelike curves - ResearchGate
-  [medium.com](https://medium.com) The Quantum Experiment That Simulates A Time Machine | by The Physics arXiv Blog
-  [lostinscience.wordpress.com](https://lostinscience.wordpress.com) Time travel model tests quantum theory - Lost in Science - WordPress....
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [1501.05014] Experimental Simulation of Closed Timelike Curves - arXiv
-  [researchgate.net](https://researchgate.net) (PDF) Theoretical description and experimental simulation of quantum entangleme...
-  [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov) Temporal teleportation with pseudo-density operators: How dynamics emerg...
-  [arxiv.org](https://arxiv.org) [1911.02441] Theoretical description and experimental simulation of quantum entanglement...
-  [bluequbit.io](https://bluequbit.io) Quantum Teleportation: Science Fiction or Reality? - BlueQubit