

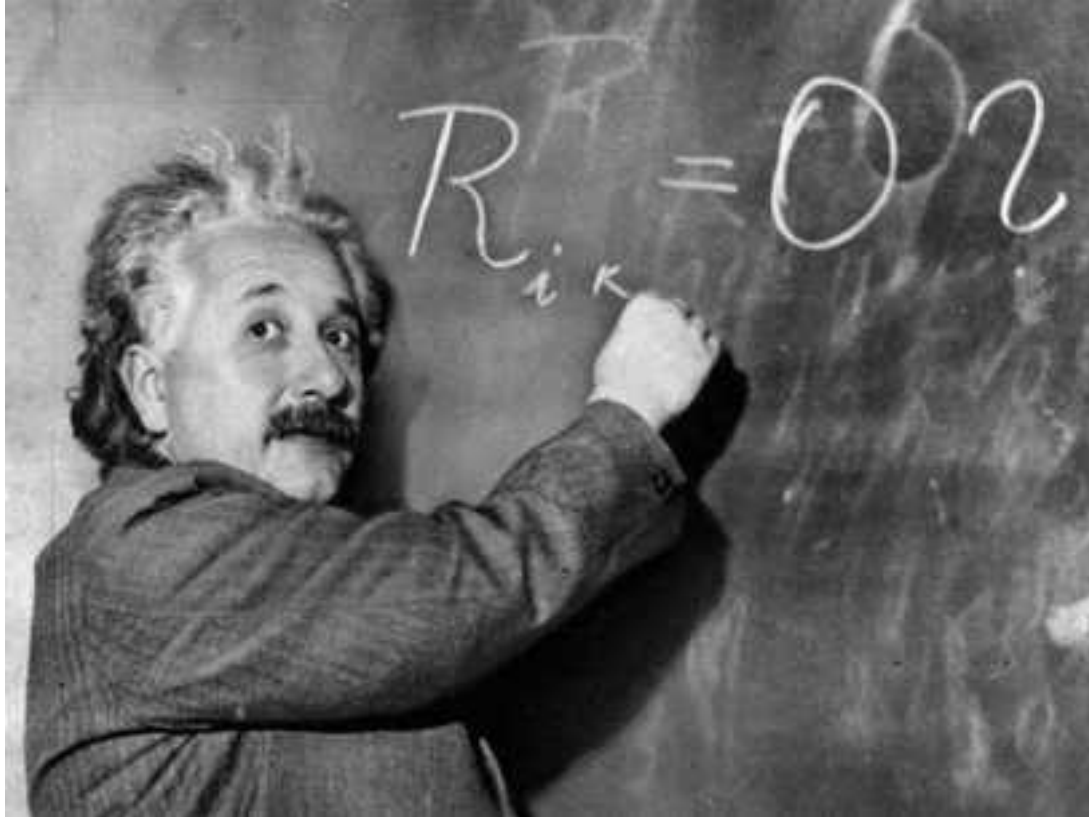


BİLİM AKADEMİSİ  
www.bilimakademisi.org



INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015

# *Yüzüncü Yılında Genel Görelilik*

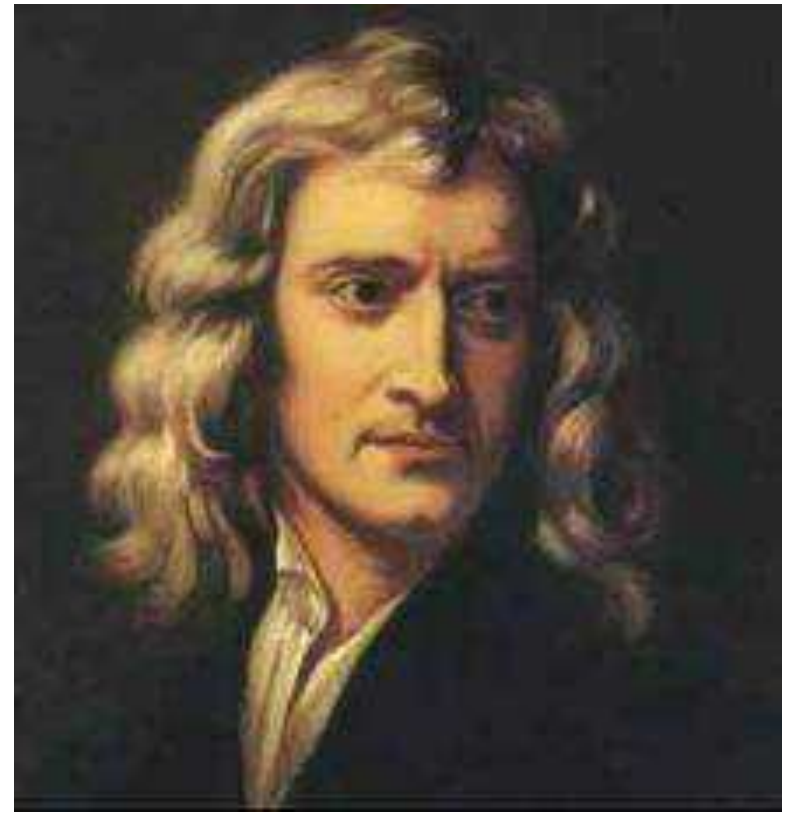


*R. Güven*  
*10 Ekim 2015*

*Arka Plan..*



G. Galilei (1564-1642)



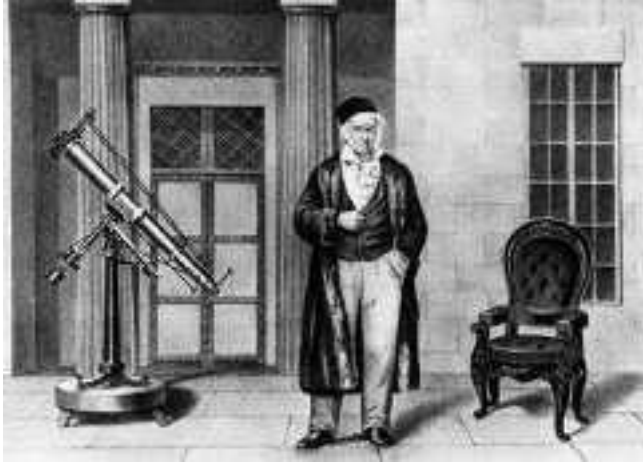
I. Newton (1643-1727)

**1687: Principia Mathematica**

***MATEMATİK ↔ FİZİK***

***Öklid Geometrisi = Evrenin Geometrisi***

# RIEMANN GEOMETRİSİ



(1777-1855)

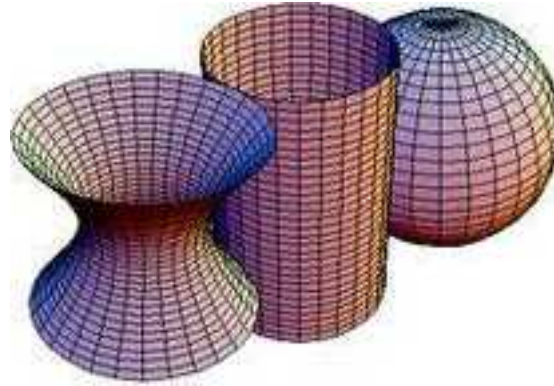


(1792-1856)



(1845-1879)

$$\sum \theta_i = \pi + \iint_T K dA$$



*Metrik:*  $g_{\mu\nu}$

*Eğrilik:*  $R_{\mu\nu\kappa\lambda}$



(1826-1866)

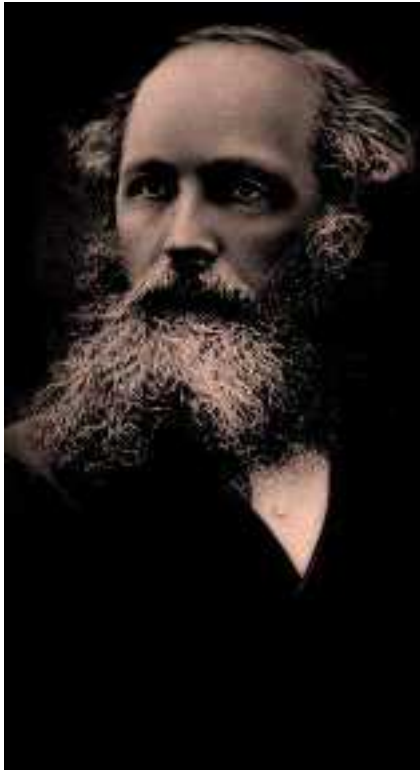
*Evrenin Geometrisi*

*Fiziksel Bir Sorundur!*

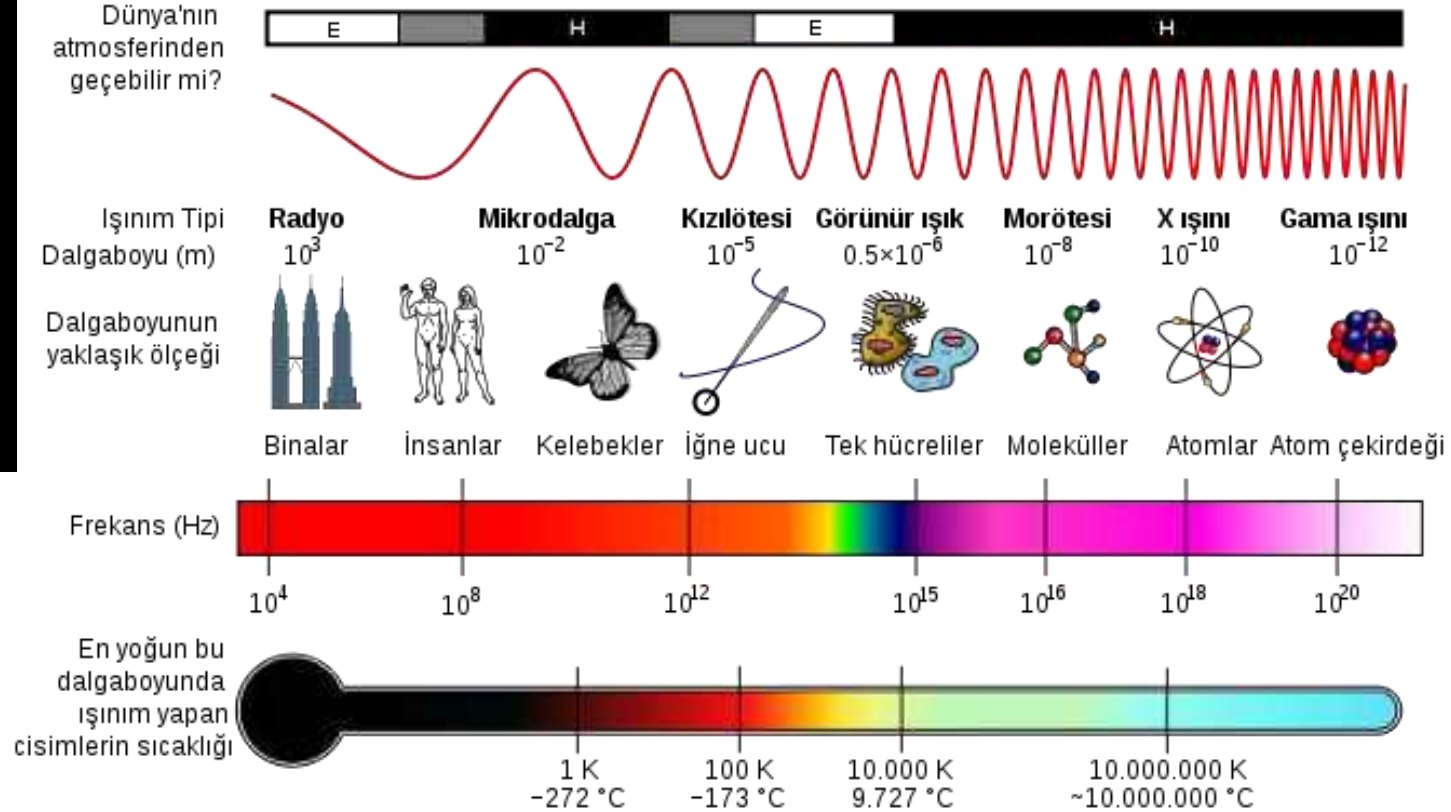
(1854)

# MAXWELL TEORİSİ (1861)

## Elektromanyetik Dalgalar



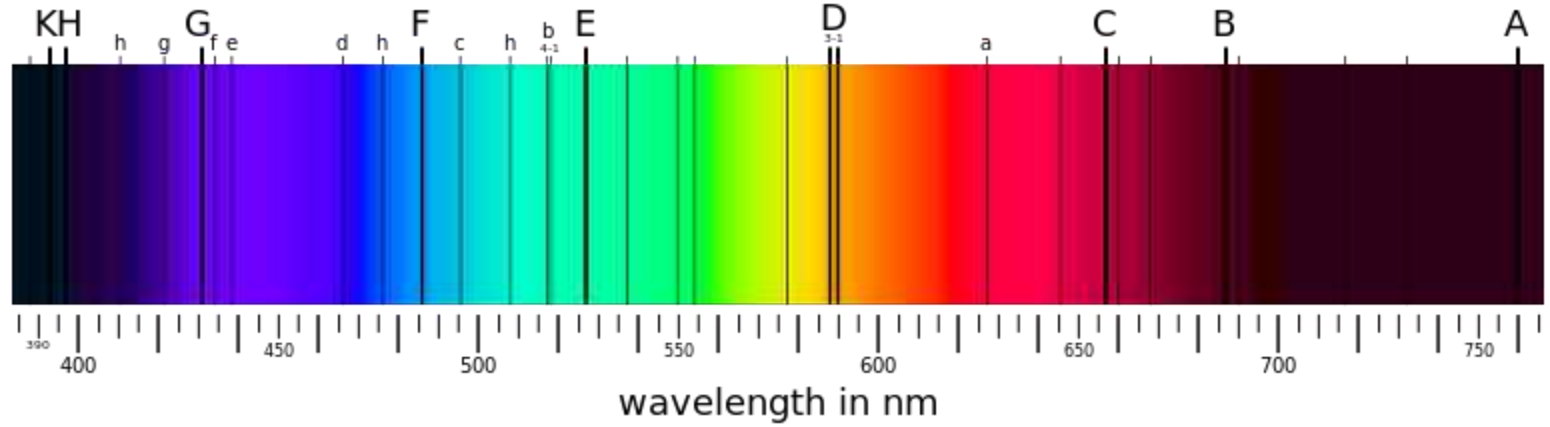
(1831-1879)



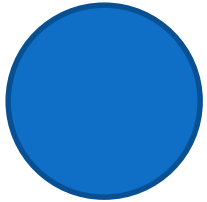
$$1000 = 10^3$$
$$\frac{1}{1000} = 10^{-3}$$

H. Hertz (1888)

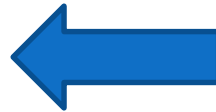
# *Spektroskopi*



# *Doppler Kayması..*

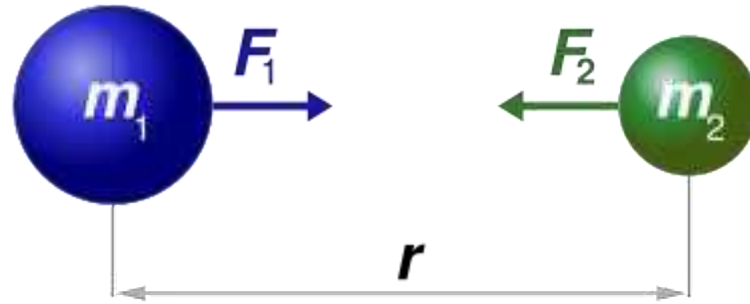


*Kızıla kayma  
(düşük frekans)*



*Maviye kayma  
(Yüksek frekans)*

# *NEWTON'IN YERÇEKİMİ TEORİSİ*



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

*“Galilei Göreliliği”..*

## 19. yüzyıl:

- 3 cisim problemi,
- Neptün'ün kestirimi ve keşfi (1846; J.C. Adams, U.J.J. Verrier, J. Galle).

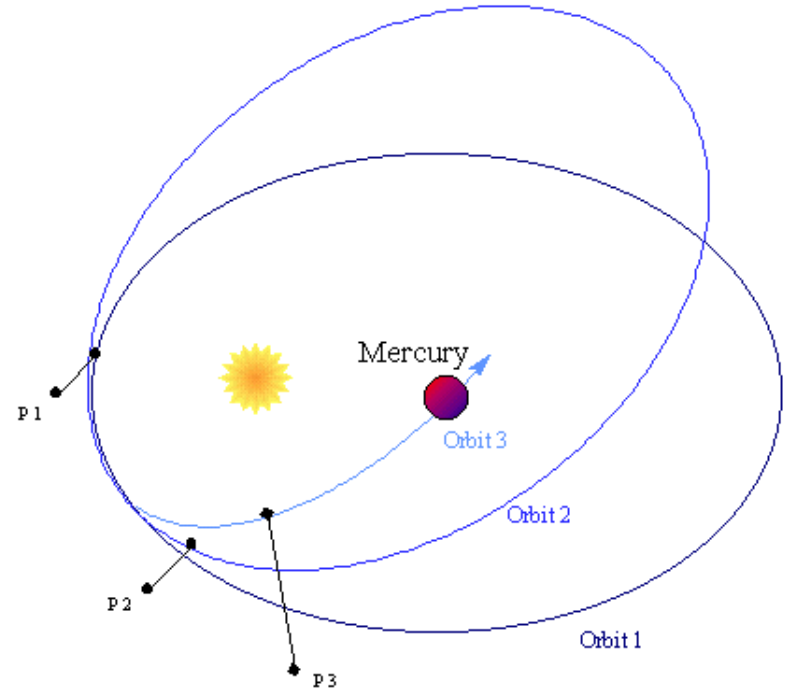
- Uranüs'ün keşfi (1781)
- Güneş sisteminin kararlılığı ...

## 20. Yüzyılın başında:

### 2 problem..

- Ayın yörüngesinde uyuşmazlık.
- Merkür'ün yörüngesinde kayma;

Bir yüzyılda: **Ölçülen: 5600"**  
**Teorik: 5557"**  
**Fark: 43 " ??**



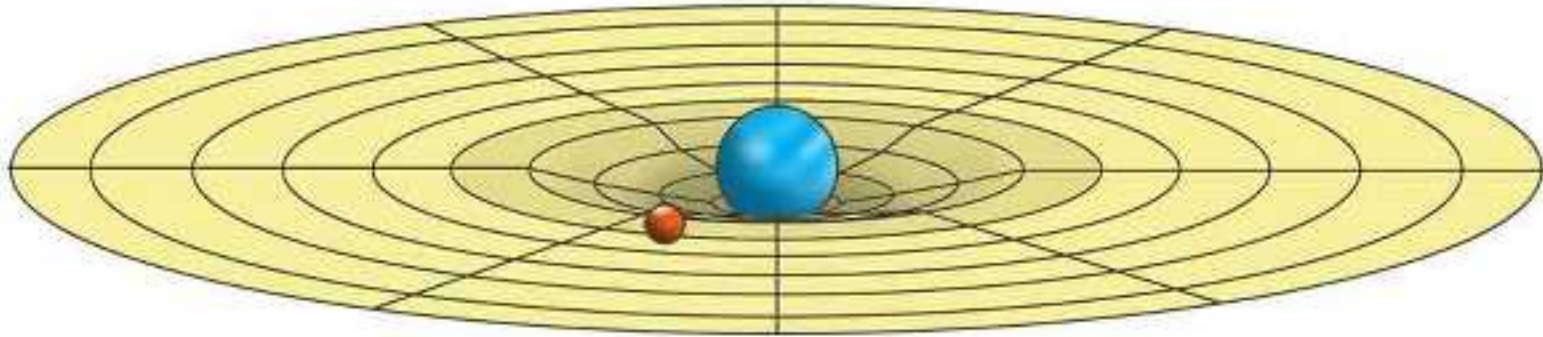
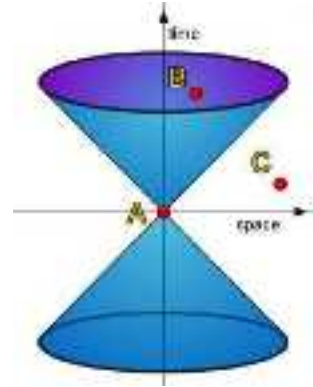


# *Genel Göreliliğin Keşfi..*

- *Özünde bir kişinin eseri..*
- *Motivasyonu: Teorik..*
- *Kuluçka süresi oldukça uzun (1907-1915)..*

*“ Simetri prensipleri fiziksel teoriler için geçerli bir temeldir ”*

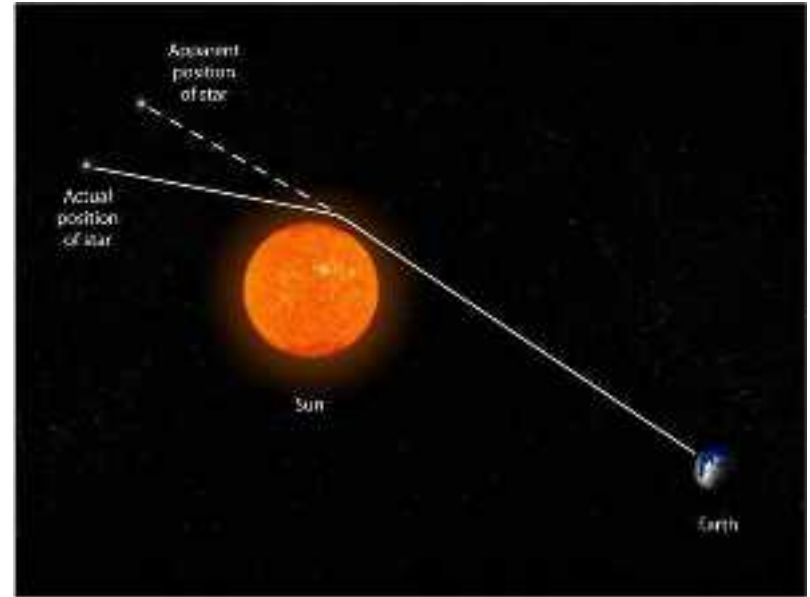
**25 Kasım 1915:**  $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$   
( 1917:  $\Lambda$  )



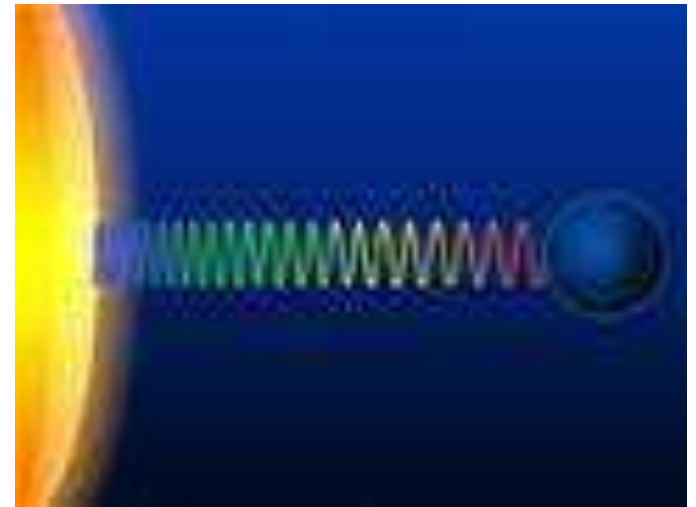
*Uzay-zaman: 4 boyutlu Lorentz manifoldu..*

- *Zayıf yerçekimi, düşük hızlarda: Newton Teorisi..*

- *Işığın yolu eğiliyor..*



- *Gravitasyonel kızıla kayma var..*





*E. Finlay Freundlich*



1936



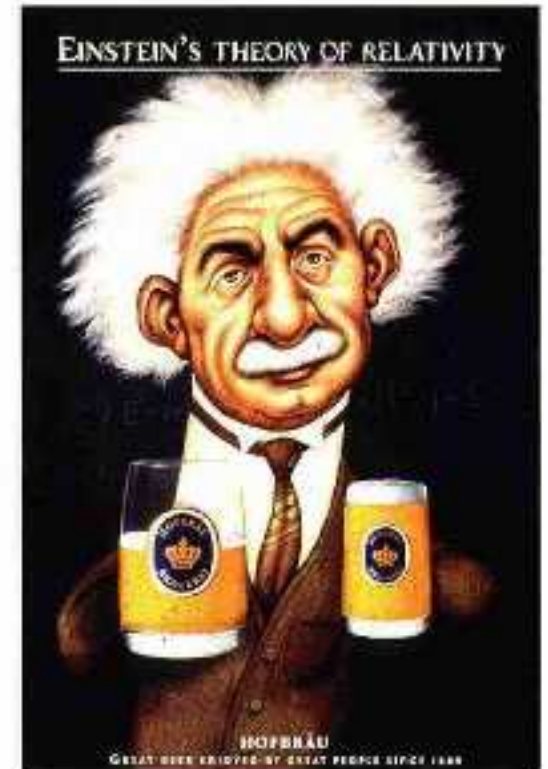


A. S. Eddington (1882–1944)

## *The Times*

*(7 Kasım 1919, Londra)*

*“Revolution in science/new theory of the universe/Newtonian ideas overthrown.”*



- Üç Evresi:**
1. *Başlangıç (1915 - 1962)*
  2. *Altın Çağı (1963 - 1979)*
  3. *Olgunluk Dönemi (> 1979)*

*1. Başlangıç: Kavramsal olarak önemli (Nature 1921..), zor ve zarif fakat deneysel / pratik bir önemi yok..*

$$\epsilon = \frac{G M}{R c^2}$$

- *Sadece optik teleskoplar..*
- *Güneş sistemi Samanyolu'nun merkezinde **değil** (H. Shapley, 1918)..*
- *Samanyolu'nun evrende merkezi bir konumu **yok** (W. Baade 1952)..*

*İlk uluslararası toplantı **GR0** :  
Bern 1955; 22 ülkeden  
89 katılımcı..*

	$\epsilon$
Earth	$10^{-9}$
Sun	$10^{-6}$
Neutron Star	0.1
Black Hole	0.5

## 2. “Altın Çağ” (1963 – 1979):

*Evrende güçlü gravitasyon alanları var!*

- *Kuazarlar (1963)*
- *CMB: Kozmik Fon Işıması (1965)*
- *Nötron Yıldızları (1967)*
- *Cygnus X1 (1972)*
- *Kerr Metriği (1963)*
- *Tekillik Teoremleri (1965)*
- *Gravitasyonel Çökme; Saç-yok teoremleri (1967)*
- *Hawking Işıması (1974)*
- *Süpergravitasyon (1976)*
- *Sicim Teorisi (1974..)*

### 3. Olgunluk Dönemi ( $> 1979$ ):

*Dallanma; disiplinlerarası bir hal alma, yeni alanlar..*

- *Astrofizik*
- *Yüksek Enerji Fizigi*
- *Matematik*
- *Katı Hal Fizigi*
- *İstatiksel Fizik*
- *Uygulamalı Fizik..*
- *Bilgisayarlar, simulasyon yazılımları..*
- *Elektronik; lazerler, detektörler..*
- *Optik..*
- *Vakum teknolojisi, vs..*
- *Deneysel Rölativite*
- *Rölativistik Astrofizik*
- *Nümerik Rölativite*
- *Matemaiksel Rölativite*
- *Kuantum Gravitasyon..*
- *Yarı-Riemannsal Geometri*
- *Geometrik Analiz*
- *Düşük Boyutta Topoloji*
- *Gebirsel Geometri..*



- İlk 10 yılda **MTW “Gravitation”** (1973) 50 000’den fazla satıldı..
- **GR 9** : Jena (1980); 53 ülkeden 800 dolayında katılımcı .
- **GR 20**: Varşova (2013); 843 katılımcı..
- **Kerr metriği**: 43 saniye (1980) !

**arXiv.org (2010+):**

*gr-qc: ≈2000 makale/yıl*

*hep-th: ≈3000 makale/yıl*

*(hep: 10 000 m/y, astro-ph:12 000 m/y)*

**Veri Çözümleme. .**

**“Kitlekaynağı” (Crowdsourcing):**

**Einstein@Home**

**( > 300 000 gönüllü > 45 pulsar keşfetti..)**

# KOZMOLOJİ

- *Einstein'in statik evreni (1917)*
- *Friedmann (1922) ( Robertson-Walker, Lemaître)*
- *Hubble (1929) → Homojen, izotrop, **genişleyen** evren..*

*A. Trautman (1964): “In my opinion it is not worthwhile to work in theoretical cosmology at the present time”.*  
*(Astronomların daha fazla veri elde etmesini beklemek gerek)*

*Kozmik Fon Işıması (CMB) :*

*Kuramsal tahmini 1948'de (G. Gamov..),  
1965'de **kazara** gözlemlendi (Penzias-Wilson) !*

$$T = 2.7255 K \quad (\%0.02 \text{ hata})$$

*Kozmoloji artık bir “Hassas Bilim” (precision science) ve bir “İri Bilim” (big science)..*

- *Elektromanyetik tayfin tümü..*
- *Nötrino astronomisi..*
- *Gravitasyonel dalga astronomisi ?*

*Yeraltında, yeryüzünde, dünya etrafında, uzayda..*



V.M. Slipher (1913)

Spectrograph on 61 cm  
refractor telescope



Mount Wilson Observatory (1931)

A. Einstein, E. Hubble and W. Adams;  
2.5 m Hooker Telescope..



*Hale Teleskopu, Palomar Gözlemevi*  
*Reflecting, 5 m çaplı, 1948-1992 (Keck 1, 10 m)*  
*Bu dönemde bilgisayarlar > 1 Milyon kez hızlandı !*



**THE EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE (39m)**

*ESO*

E-ELT 798 altıgen ayna parçası içerecek.. (2022 ?)

**Giant Magellan Telescope (GMT) (24.5m)** ←

**19 nm duyarlılıkta,  
en iyi büyük optik yüzey!  
Ayna çapları: 8.4 m**

**Thirty Meter Telescope (TMT)**

# ***TİP Ia SÜPERNOVALARI (1988):***

*Bir galakside yaklaşık 500 yılda bir!*

- ***Supernova Cosmology Project***  
(1988; 32 üyeli..)
- ***The High-z Supernova Search Team***  
(1994, ~ 20 üyeli..)  
(Slipher bursu B. Schmidt'e..)

***Ölçülen SNe sayısı: > 250***



SN 1994D, NGC 4526  
ESA/ Hubble

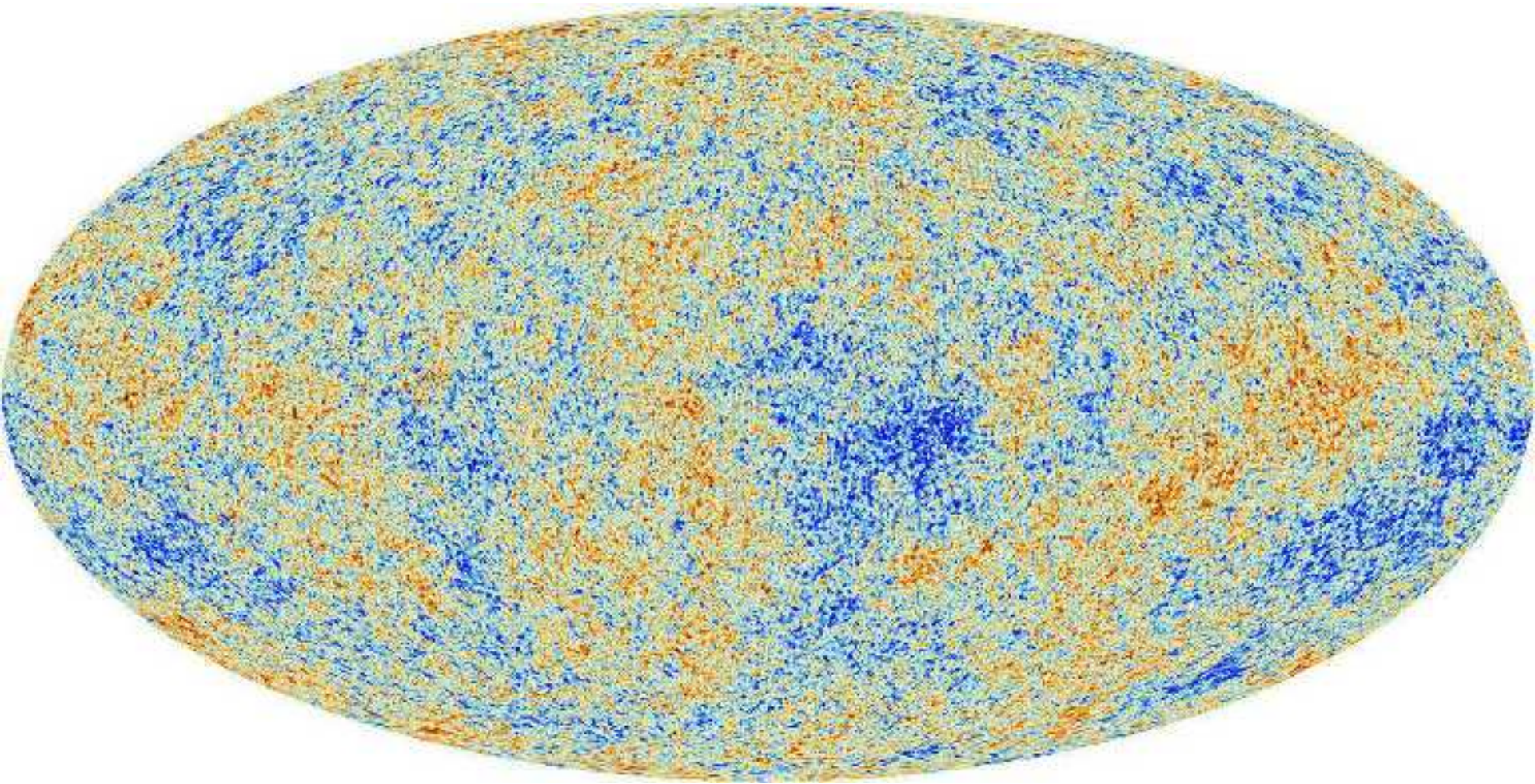
***Evrenin genişlemesi ivmeleniyor!***

# CMB Anizotroplukları

- **COBE (Cosmic Background Explorer) : 1989-1992**  
{ > 1000 kişinin işbirliği. Ölçülmüş en mükemmel kara cisim tayflarından biri:  $\Delta T/T \sim 10^{-5}$  .. }
- **WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe ) : 2001-2012**  
{ Çok daha duyarlı;  $\Delta T/T \sim 10^{-6}$  . Tüm bilim dalları içinde en yüksek atıf alan makaleler.. }
- **Planck Collaboration (ESA) : 2009- 2013**  
{ WMAP sonuçlarından 3 kezden daha fazla duyarlı. Uzay aracı uzayda bilinen en soğuk cihaza sahip. (Mutlak sıfır'ın 0.1 K üstünde)  
Bütçe: ~ 700 Milyon Euro.  
5 operasyon merkezi .. }







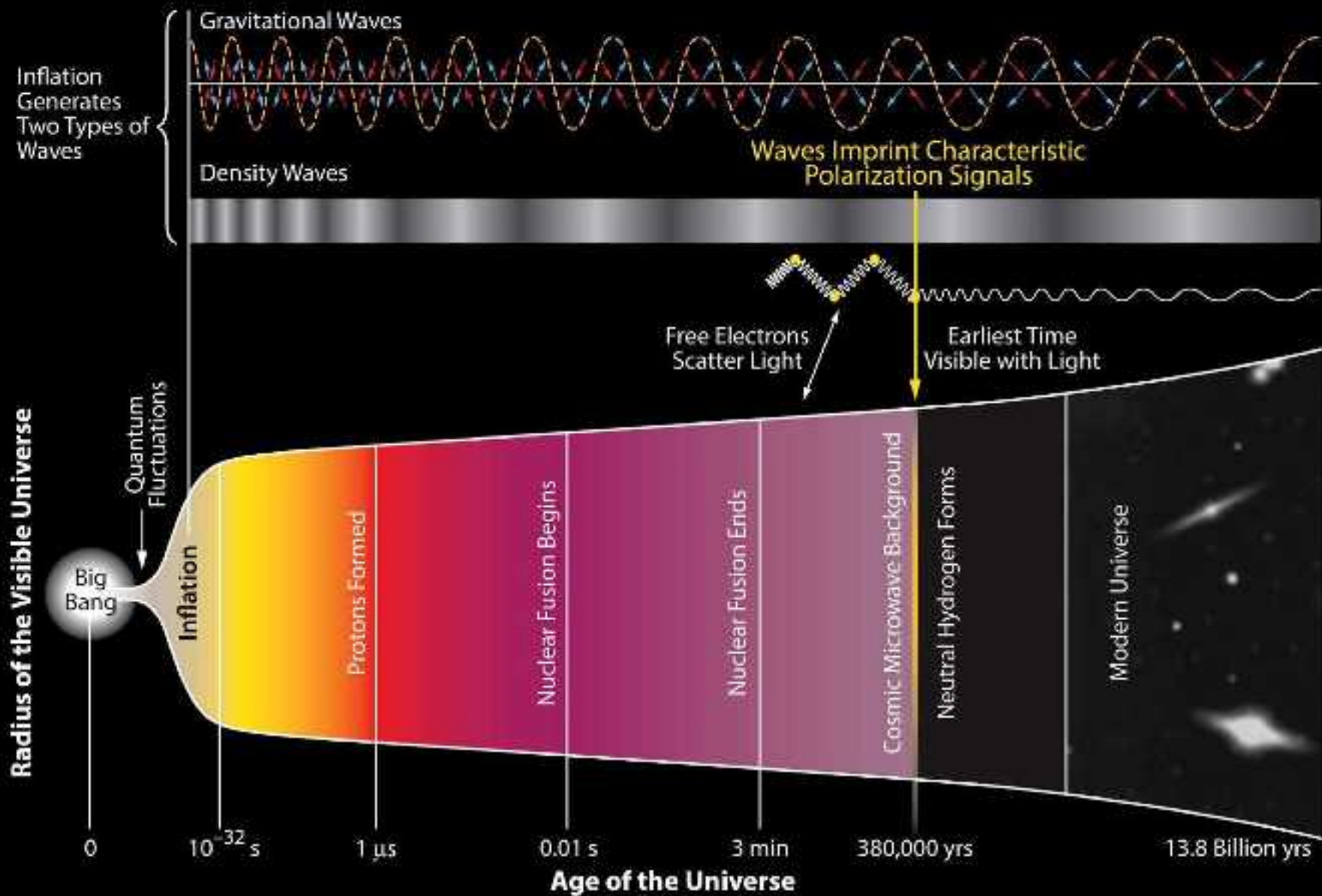
ESA-Planck Collaboration

***Baryonik madde: % 4.9***

***Karanlık madde: % 26.8***

***Karanlık enerji: % 68.3***

# History of the Universe





BICEP2 ( Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization )  
(12 kurumun işbirliği)

≈ **12** rakip proje!

# GRAVİTASYONEL DALGALAR

*Einstein (1916): var! (lineer yaklaştırmada)..*

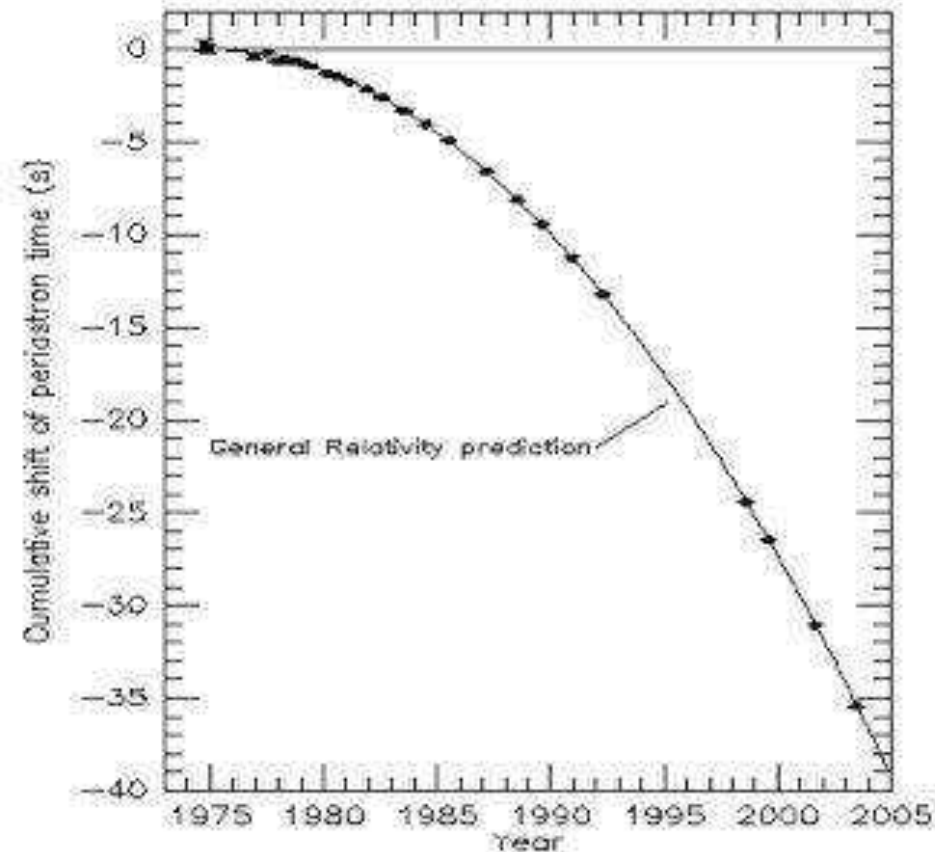
*Eddington (1922): “düşünce hızında yol alırlar”..*

*Einstein (1936) : tam teoride yok??*

*1950-70 arası “US Air Force” desteği..*

*1955 Bern Konferansında M. Fierz’in H. Bondi’ye tavsiyesi..*

*Weber (1969): ??*



R. Hulse ve J.H. Taylor (1978):

**PSR 1913+16**

**0.02% duyarlılıkla GG doğrulanıyor!**

(J.M: Weisberg ve J. H. Taylor , 2004)



3 **detektör:**

Hanford WA:  
4 km + 2 km

Livingston LA:  
4 km

***LIGO: Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory***

***(620 Milyon USD )***

***EGO-VIRGO: European Gravitational Observatory***

***KAGRA: Large Scale Cryogenic Gravitational Wave Project..***

***LISA: Laser Interferometer Space Antenna (LISA Pathfinder 2015..)***

*Vakum teknolojisinde, hassas lazerlerde,  
ileri optik ve mekanik sistemlerde yenilikler..*

*En büyük hassas optik cihazlar. En büyük vakum sistemlerinden biri. Bölmeler bir atmosferin trilyonda biri basınca kadar boşaltılmalı. (Çok düşük H içeren çelik üretimi).. Yüksek güçlü katı hal lazerlerinin frekansları saniyenin yüzde birinde, bir devrin birkaç milyonda birinden fazla şaşmamalı..*

*$10^{(-18)}$  m yer değiştirmeler ölçüldü.*

*200 Milyon USD'lık elden geçirme yeni bitti; 3 kez daha duyarlı. Güneş'in AlphaCentauri'ye olan uzaklığındaki bir saç teli kalınlığında değişiklik ölçülebiliyor! **“Advanced LIGO”***

*1 yıl sonra: 10 kat duyarlılık;*

*Pisa merkezli “Advanced VIRGO” ile işbirliği..*

# KARA DELİKLER

1964

- *J. Mitchell (1783)*
- *K. Schwarzschild (1916)*
- *J.R. Oppenheimer & H. Snyder (1939)*

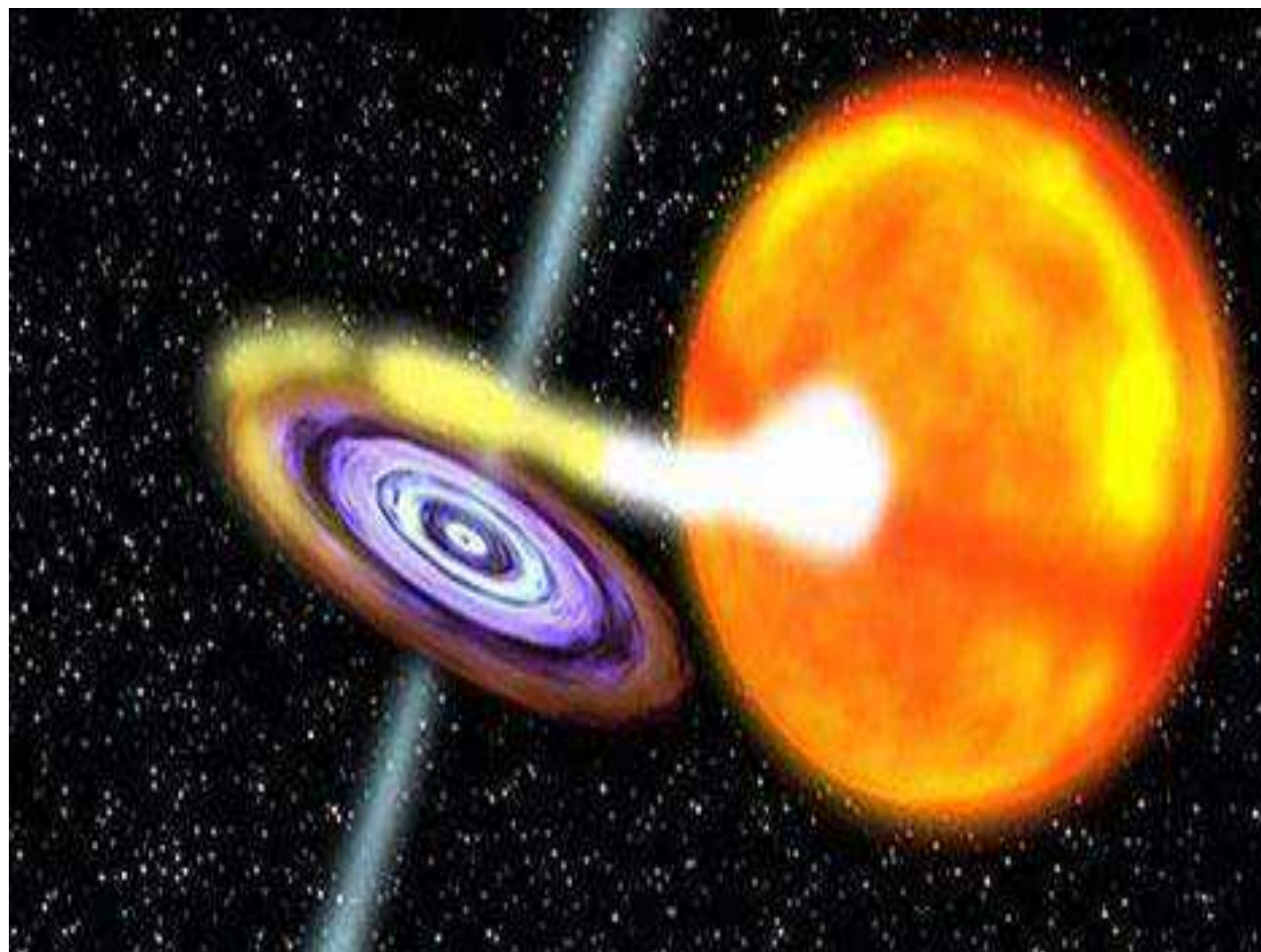
“Black Hole of Calcutta” (1756)

## *1. Yıldız kütleli Kara Delikler:*

*~10 Güneş kütlesi mertebesinde kütleli. Bizden birkaç kpc uzaklıkta. Galaksimizde  $10^8$  mertebesinde bu tür KD olabilir; bunların  $\sim 10^5$  çit yıldız şeklinde. Birkaç 100'ü gözlemlendi.*

## *2. Süperkütleli Kara Delikler:*

*Güneş kütesinden milyonlarca veya milyarlarca daha büyük kütleli. Mpc – Gpc uzaklıklardaki galaksilerden tespit edilebilir. Samanyolunda: **Sagittarius A\*** (**Sgr A\***)*





## QUASAR ENGINES

The accretion of matter onto giant black holes in the centres of galaxies powers the extreme luminosities of quasars.


Particle jets produce  
radio waves

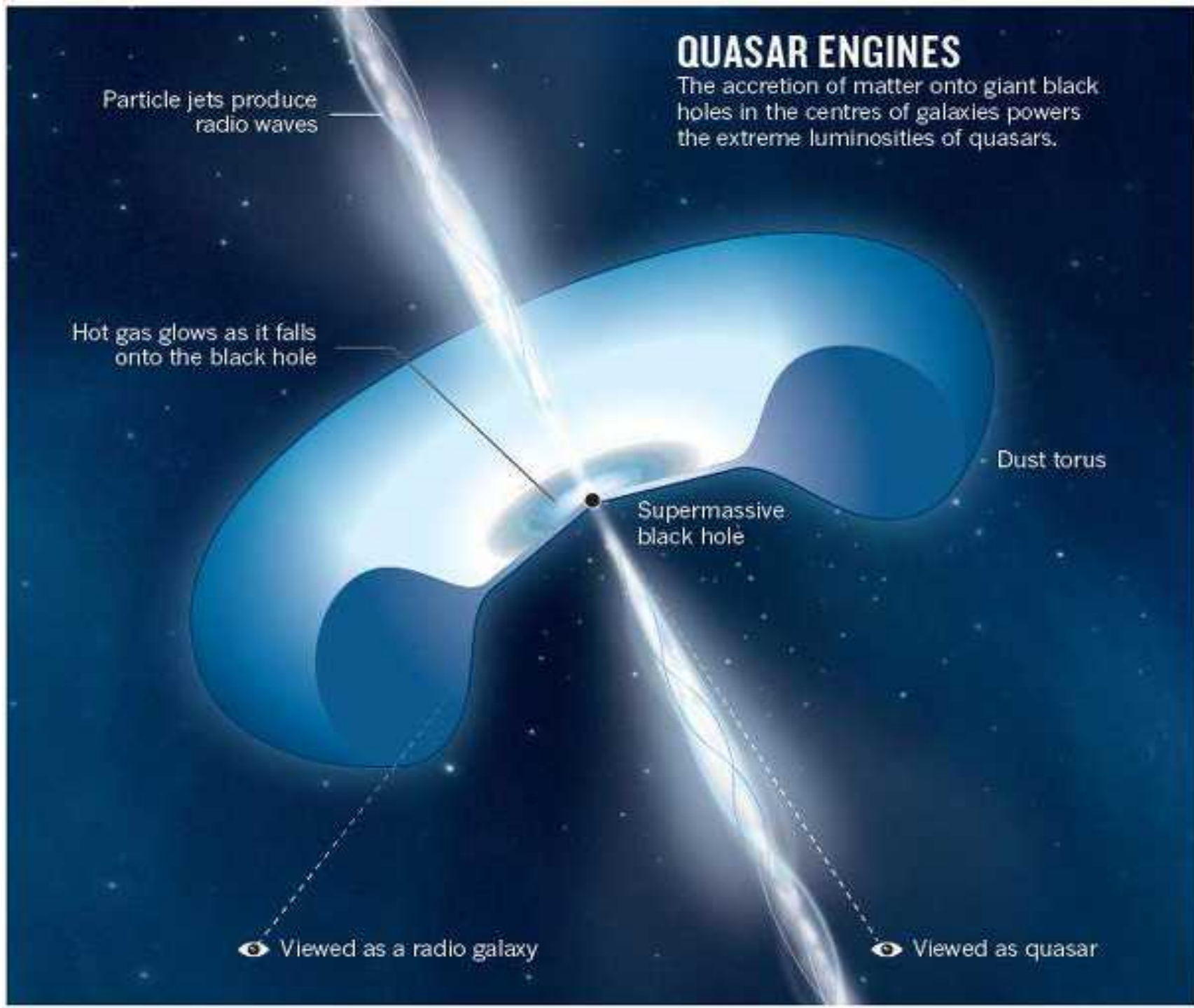
Hot gas glows as it falls  
onto the black hole

Dust torus

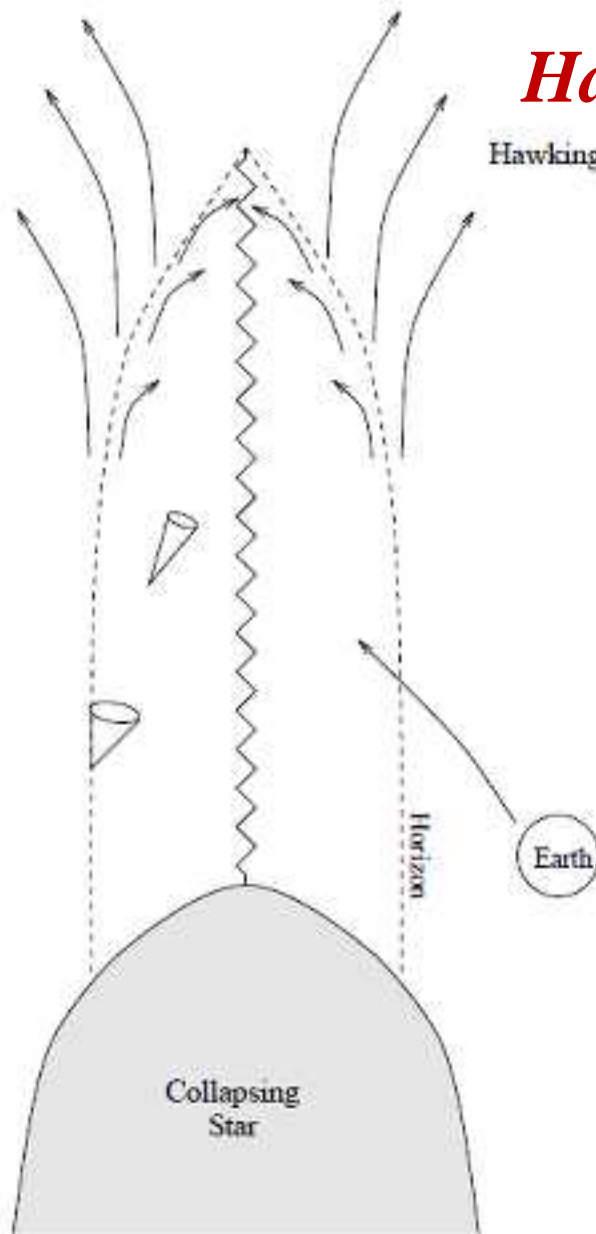
Supermassive  
black hole

 Viewed as a radio galaxy

 Viewed as quasar



# Hawking Işıması



Hawking radiation

$$T = \left( \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B} \right) \frac{1}{M}$$

$$S = \left( \frac{k_B c^3}{4G \hbar} \right) A$$

$$T = 6.2 \times 10^{-8} \left( \frac{M_G}{M} \right) K$$

# *GPS İçin Elzem!*

- Eşit aralıklı 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiş 24 uydu..*
- Yeryüzünde hata payını 2m'nin altında tutmak için zaman ölçümleri ~ 6 ns duyarlılıkta olmalı. Uyduların zamanlarında düzeltme gerek..*

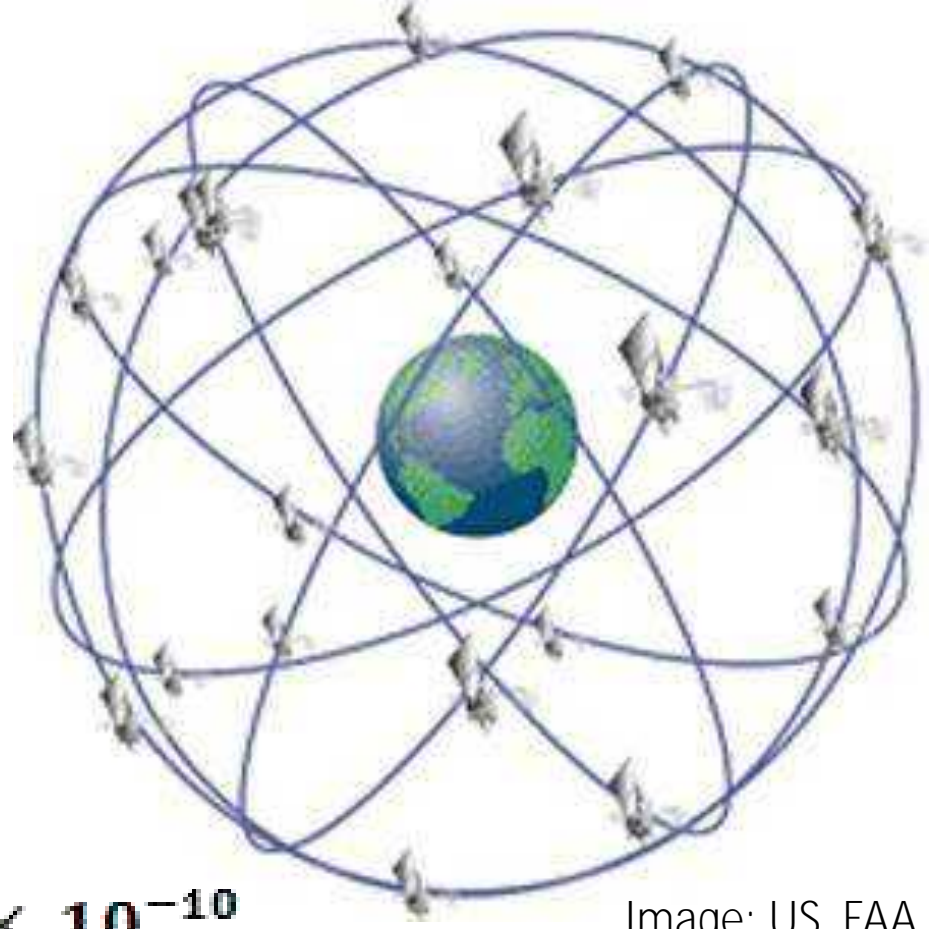


Image: US FAA

**Özel Görelilik:**  $\approx 0.84 \times 10^{-10}$

**Genel Görelilik:**  $\approx 1.6 \times 10^{-10}$  (*Kısmi düzeltmeler*)

***Bu düzeltmeler yapılmazsa, 1 dakika içinde istenen ns duyarlılık aşıyor..***

# *Transformasyon Optiği; Görünmezlik (Cloaking)..*

## General relativity in electrical engineering

**Ulf Leonhardt and Thomas G Philbin**

School of Physics and Astronomy, University of St Andrews,  
North Haugh, St Andrews KY16 9SS, UK

E-mail: [ulf@st-andrews.ac.uk](mailto:ulf@st-andrews.ac.uk)

*New Journal of Physics* **8** (2006) 247

Received 26 July 2006

Published 23 October 2006

Online at <http://www.njp.org/>

doi:10.1088/1367-2630/8/10/247

**Abstract.** In electrical engineering metamaterials have been developed that offer unprecedented control over electromagnetic fields. Here, we show that general relativity provides the theoretical tools for designing devices made of such versatile materials. Given a desired device function, the theory describes the electromagnetic properties that turn this function into fact. We consider media that facilitate space-time transformations and include negative refraction. Our theory unifies the concepts operating behind the scenes of perfect invisibility devices, perfect lenses, the optical Aharonov–Bohm effect and electromagnetic analogues of the event horizon, and may lead to further applications.

# *Kuramsal Gelişmeler..*

## *1. Kuantum Gravitasyon ?*

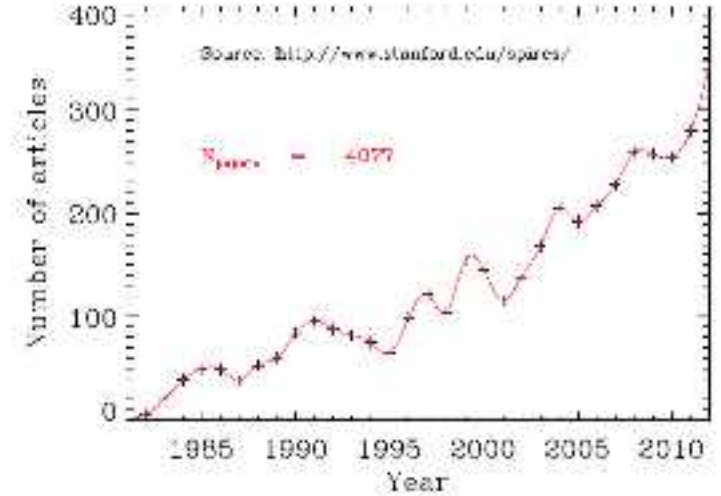
- *Sicim Teorisi; M-Teorisi..*
- *Holografi; AdS/CFT..*
- *Enformasyon Çatışması*

## 2. *Kuramda Enflasyon..*

*“Encyclopædia Inflationaris”*

ArXiv ePrint:1303.3787;

J. Martin, et.al. , 368 s..



$N > 4100$

BICEP2 > 1100 atıf..

## 3. *“Fiziğin Matematikteki Akıl Almaz Etkinliđi”..*

*One of the real pleasures of doing science – which will continue to be true, I believe, on any given day for the next few centuries – is that we have so much knowledge to build upon, yet there is still so much for us to discover.*

*These two aspects of science remind us that science is a method, not a finished product. We don't know where it will lead or what new, seemingly magical powers it will give us in the future. We never know whether what we find will turn out to be useful, but we do know that in the past, whenever we made a major step forward in our understanding of how the world works, we've ultimately been able to solve more problems, including very practical problems. I think that's the only way we can proceed as basic scientists: We try to see what we can understand, and we hope it opens more possibilities for what we can do in the world.*

*(S. Perlmutter, 2011 Nobel Lecture)*