

As Relatividades de Einstein

Oficina de Física

22 de agosto de 2009

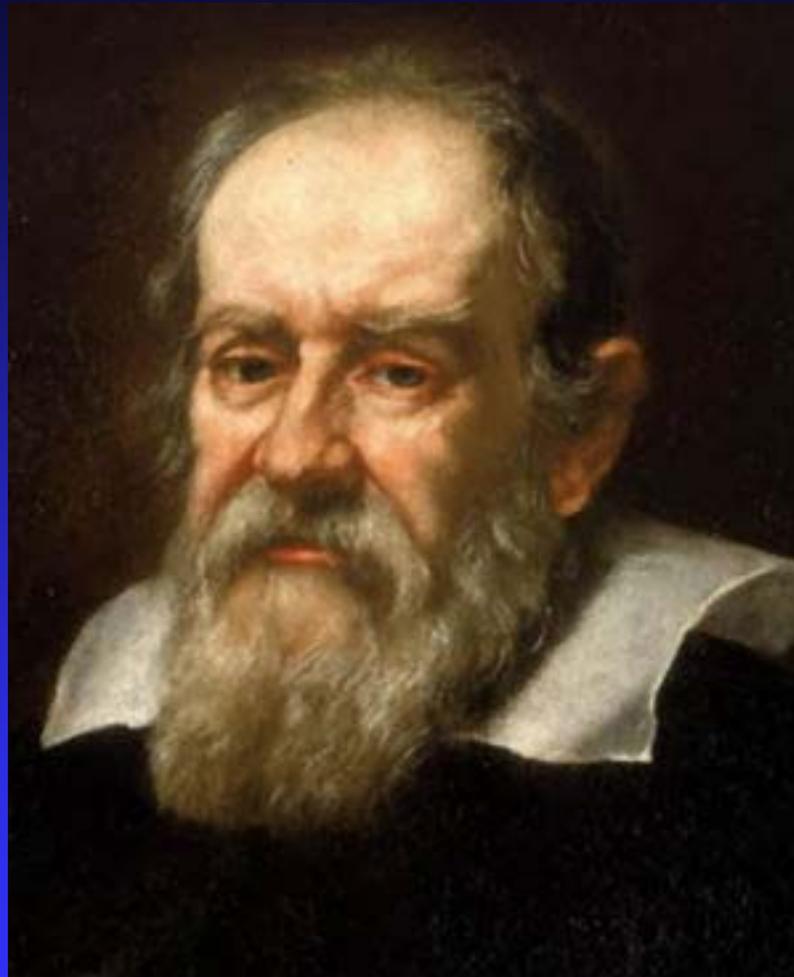
Carlos O. Escobar

Instituto de Física da UNICAMP

As Origens

Em 2009 celebramos os 400 anos da observação feita por Galileo das luas de Júpiter! Um marco na formação do pensamento científico!

O Mensageiro das Estrelas



OBSERVAT. SIDERAE

berat: Iuppiter à sequenti occidua min. 5. hæc verò à reliqua occidentaliori min. 3. erant omnes eiusdem proxime magnitudinis, satis conspicuæ, & in eadem recta linea exquisitè secundum Zodiaci ductum.

Die decimasextima H. 1. duæ aderant Stellæ, orientalis vna à Ioue distans min. 3. occidentalis altera distans

Ori. * ○ * * Occ.

min. 10. hæc erat aliquanto minor orientali. Sed hora 6. orientalis proximior erat Ioui distabat nempe mi. 6. sec. 50. occidentalis verò remotior fuit, scilicet min. 12. Fuerunt in vtraque obseruatione in eadem recta, & ambæ satis exiguæ, præsertim orientalis in secunda obseruatione.

Die 18. Ho. 1. tres aderant Stellæ, quarum duæ occidentales, orientalis verò vna: distabat orientalis à Ioue

Ori. * ○ * * Occ.

min. 3. Occidentalis proxima m. 2. occidentalior reliquæ aberat à media m. 8. Omnes fuerunt in eadem recta ad vnguem, & eiusdem ferè magnitudinis. At Hora 2. Stellæ viciniores paribus à Ioue aberant interstitijs: occidua enim aberat ipsa quoque m. 3. Sed Hora 6. quarta Stellula visa est inter orientaliorem & Iouem in tali configuratione. Orientalior distabat à sequenti m. 3. sequens à Ioue

RECENS HABITAE. 26

Ioue m. 1. sec. 50. Iuppiter ab occidentali sequenti m. 3.

Ori. * * ○ * * Occ.

hæc verò ab occidentaliori m. 7. erant ferè æquales, orientalis tantum Ioui proxima reliquis erat paulo minor, erantque in eadem recta Eclipticæ parallela.

Die 19. Ho. 0. m. 40. Stellæ duæ solinmodo occidua à Ioue conspicuæ fuerunt satis magnæ, & in eadem re-

Ori. ○ * * Occ.

cta cum Ioue ad vnguem, ac secundum Eclipticæ ductum dispositæ. Propinquior à Ioue distabat m. 7. hæc verò ab occidentaliori m. 6.

Die 20. Nubilosum fuit cælum.

Die 21. Ho. 1. m. 30. Stellulæ tres satis exiguæ cernebantur in hac constitutione. Orientalis aberat à Ioue

Ori. * ○ * * Occ.

m. 2. Iuppiter ab occidentali sequente. m. 3. hæc verò ab occidentaliori m. 7. erant ad vnguem in eadem recta Eclipticæ parallela.

Die 25. Ho. 1. m. 30. (nam superioribus tribus noctibus cœl. ù fuit nubibus obductum) tres apparuerunt Stel-

Ori. * * ○ * * Occ.

læ. Orientales duæ, quarum distantia inter se, & à Ioue

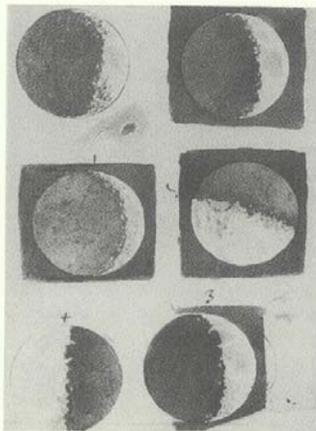


Figure 7

His voice is calm; but he knows that the ancient Aristotelian worldview is crumbling under his blows.

The news of Galileo's sensational findings spread throughout Europe and transformed what people saw—an example of how the meaning

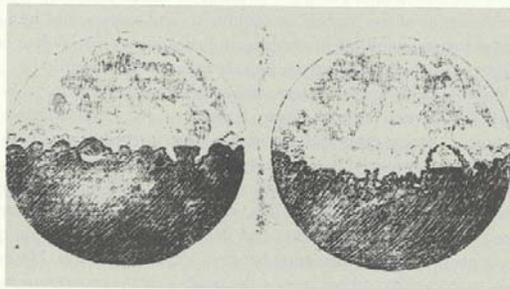


Figure 8

conveyed by c
viewer. Thom
telescope again
of his new obs
craters—even
ing been conv
presuppositio
moon. I am re
Karenina, whe
a friend that s
Karenin has st
changed are n

Now we
different eyes
the answer lie
Copernican u
Also, by wat
different illun
the analogy b
of the answer b
learned to use
of 1609, the p
of Shakespear

1609
2-6-11, 6-2.



Por que é importante?

Galileo pode ser considerado o pai da ciência moderna e do método experimental: confrontar teorias com resultados experimentais em condições que estejam sob controle.

+

As leis da Natureza que valem na Terra e nos seus arredores são válidas no Universo, não importa quão distante da Terra.

Antes de Galileu – o pensamento Aristoteliano

Aristoteles acreditava que o estado natural de movimento de um corpo era o *repouso*

Segundo ele, um corpo quando livre da atuação de forças, permanece em repouso(sua lei de inércia)

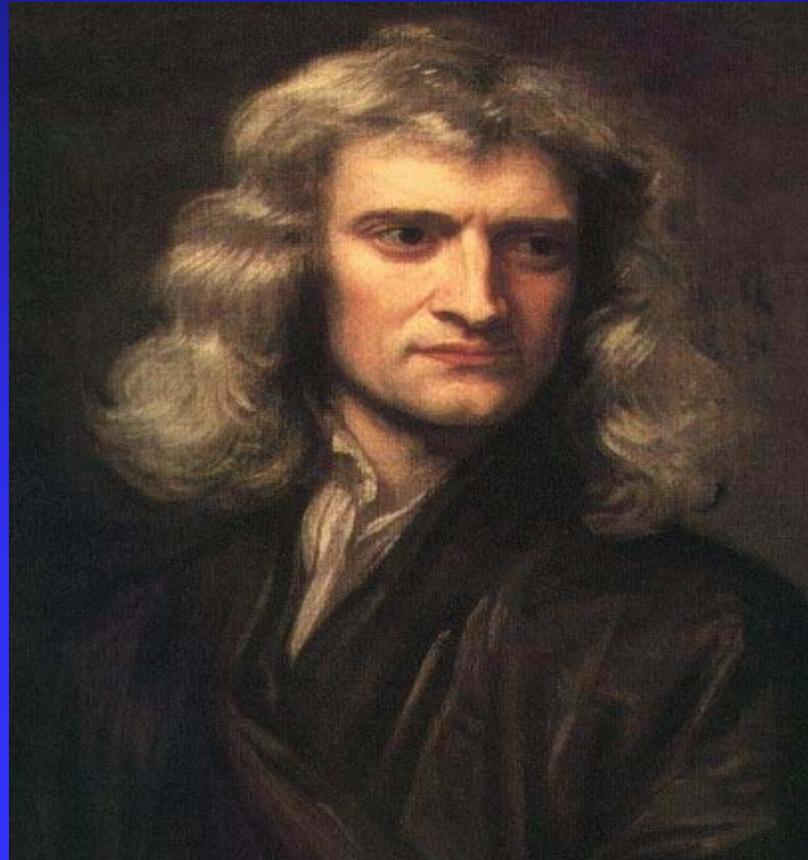
Existe uma entidade, sempre em repouso absoluto, que é responsável por colocar os objetos em movimento os quais, por sua vez, podem colocar outros objetos em movimento!

Galileu-princípio da inércia



Através de experiências mecânicas é impossível distinguir referências que se movam com velocidade relativa constante, ou seja, não havendo aceleração entre eles, os resultados de experimentos mecânicos iguais serão os mesmos. Um corpo, na ausência de forças externas, mantém seu estado de movimento

Issac Newton: completa a
revolução Galileana e desenvolve
os métodos matemáticos para tal.



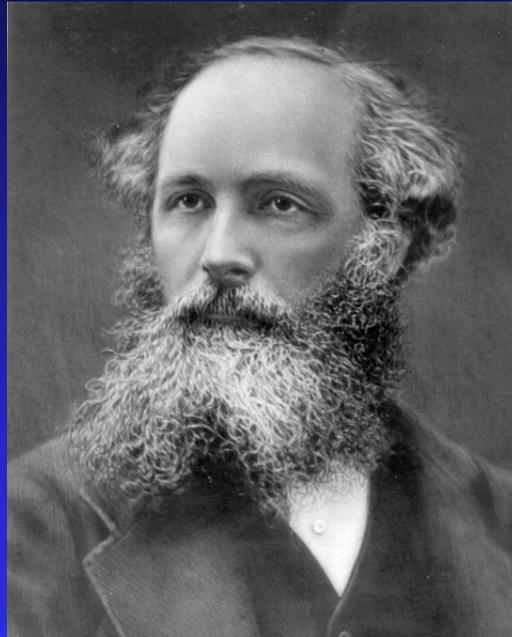
Lei da Gravitação Universal Newtoniana: obtém as leis de Kepler para os movimentos planetários! Um avanço notável

De acordo com Aristoteles: os objetos mais pesados caem com maior velocidade que os objetos mais leves

Note que Galileu já havia derrubado esta concepção no famoso experimento do plano inclinado (e a Torre de Pisa?)

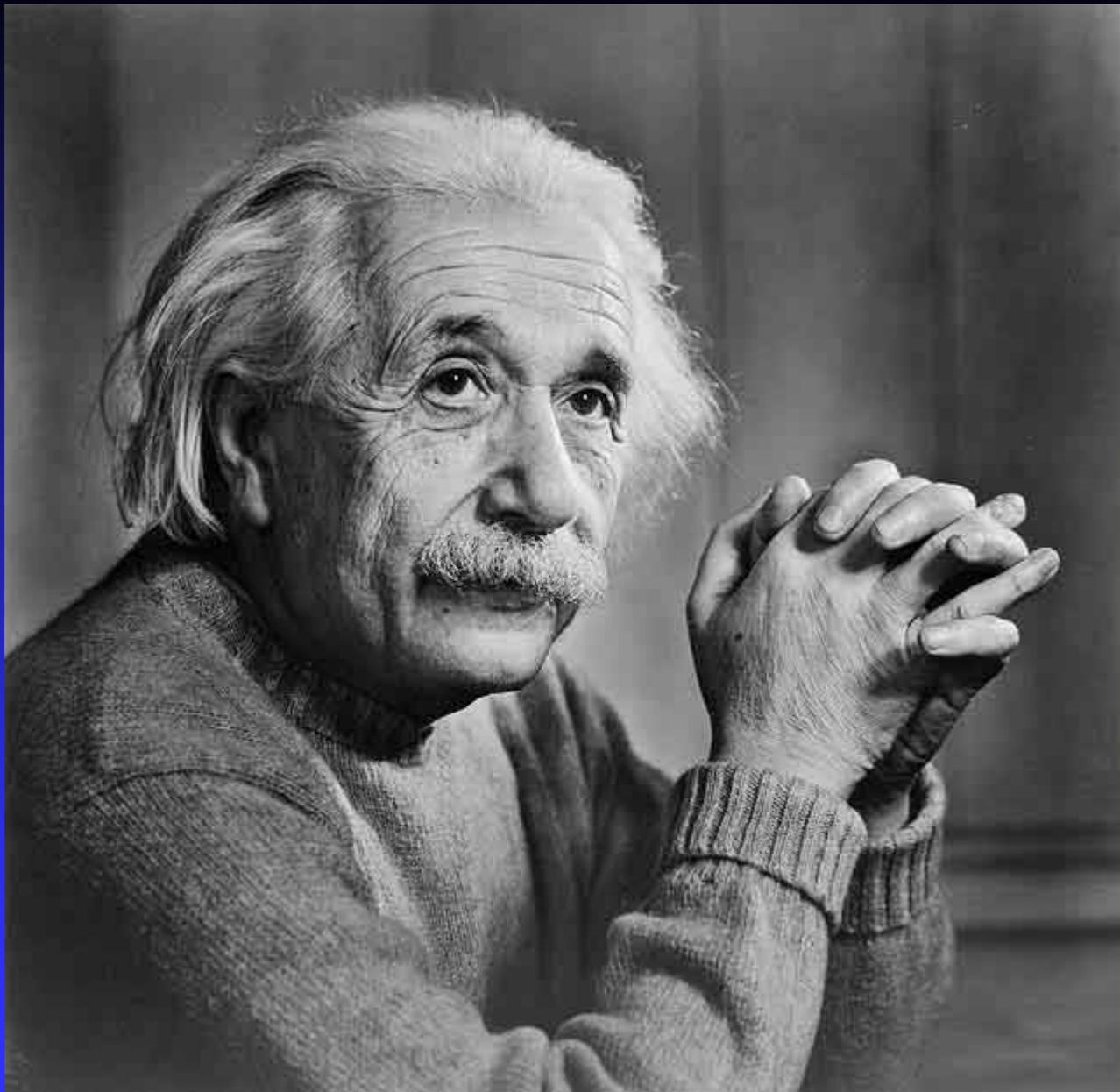
Outras unificações ocorreram na ciência moderna:

Maxwell: unifica a eletricidade, o magnetismo e a óptica ----> ELETROMAGNETISMO
abrindo caminho para 2 revoluções iniciadas por Einstein, que vão alterar profundamente nossos conceitos de espaço e tempo.



As revoluções na Física do Sec.XX

- I. Einstein e o espaçotempo
- II. O fim do determinismo clássico: a revolução
quântica







O Princípio da Relatividade

“O princípio da relatividade, de acordo com o qual as leis que regem os fenômenos físicos devem ser as mesmas seja para um observador fixo ou para um observador levado por um movimento de translação uniforme, de tal maneira que não teríamos como discernir se somos ou não levados por este movimento.”

Poincaré (1904).

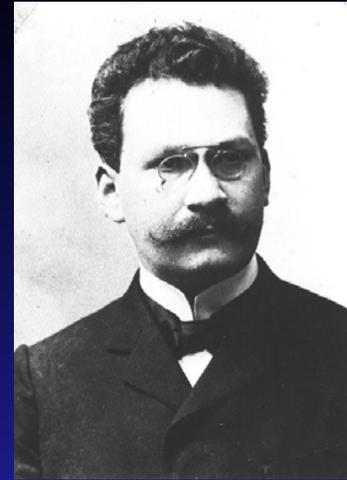
Einstein: um mestre das *experiências de pensamento* (*gedankenexperimente*)

Aos 16 anos realizou sua primeira: imaginou o que veria se pudesse perseguir um feixe de luz e percebeu que um observador que realizasse tal proeza veria fenômenos incompatíveis com o eletromagnetismo de Maxwell!

Dez anos depois...



Surge uma nova entidade: o *espaçotempo*



“Meus senhores, as considerações sobre espaço e tempo que desejo expor-vos brotaram do terreno da física experimental. Ai reside a sua força. A sua conclusão é radical. Daqui em diante os conceitos de espaço e de tempo, considerados como autónomos, vão desvanecer-se como sombras e somente se reconhecerá existência independente a uma espécie de fusão entre os dois” Hermann Minkowski (1906)

Fim do tempo absoluto Newtoniano

A relatividade da simultaneidade (algo que
Poincaré não apreciou)

Mas, um dos pilares do edifício Newtoniano
permanecia inabalado e incomodava Einstein:
o **espaço absoluto** ou, a geometria *a priori* do
espaçotempo

1907: “O pensamento mais feliz da minha vida”

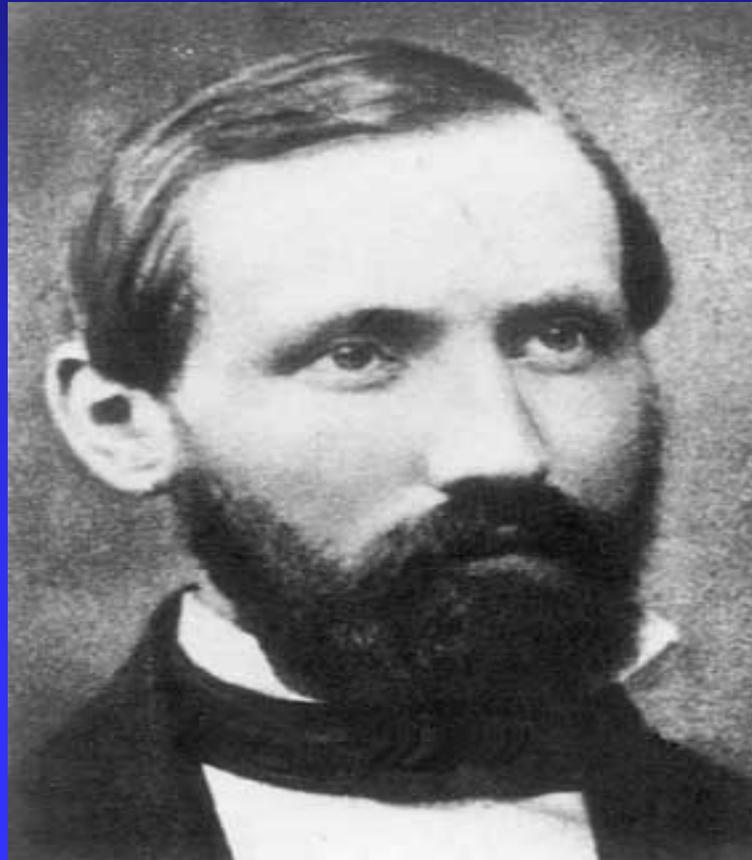
“ ...ocorreu então o pensamento mais feliz da minha vida, da seguinte maneira. O campo gravitacional tem uma existência relativa...Para um observador em queda livre do teto de uma casa não existe-pelo menos bem perto dele-campo gravitacional, De fato, se ele solta alguns corpos durante sua queda livre estes permanecerão em repouso ou movimento uniforme em relação ao observador”

O longo caminho para a Relatividade Geral

De 1907 a 1915: com longos intervalos de desespero, mas sempre trabalhando incessantemente (física estatística, radiação de corpo negro, experimentos – 67 trabalhos)

Em 1913, graças à colaboração com seu amigo matemático Marcel Grossmann, volta ao problema de formular uma teoria em que o espacotempo não seja dado *a priori*.

Georg Friedrich Bernhard Riemann



Das Hipóteses sobre as quais repousam os Fundamentos da Geometria

Espaços em N-dimensões, caracterização
matemática da curvatura de um espaço;

geometrias não-euclidianas:

prepara o terreno para Einstein na sua busca
por uma descrição da física que não adote uma
geometria *a priori*

Geometria é física, física é geometria

A Relatividade Geral - 1915

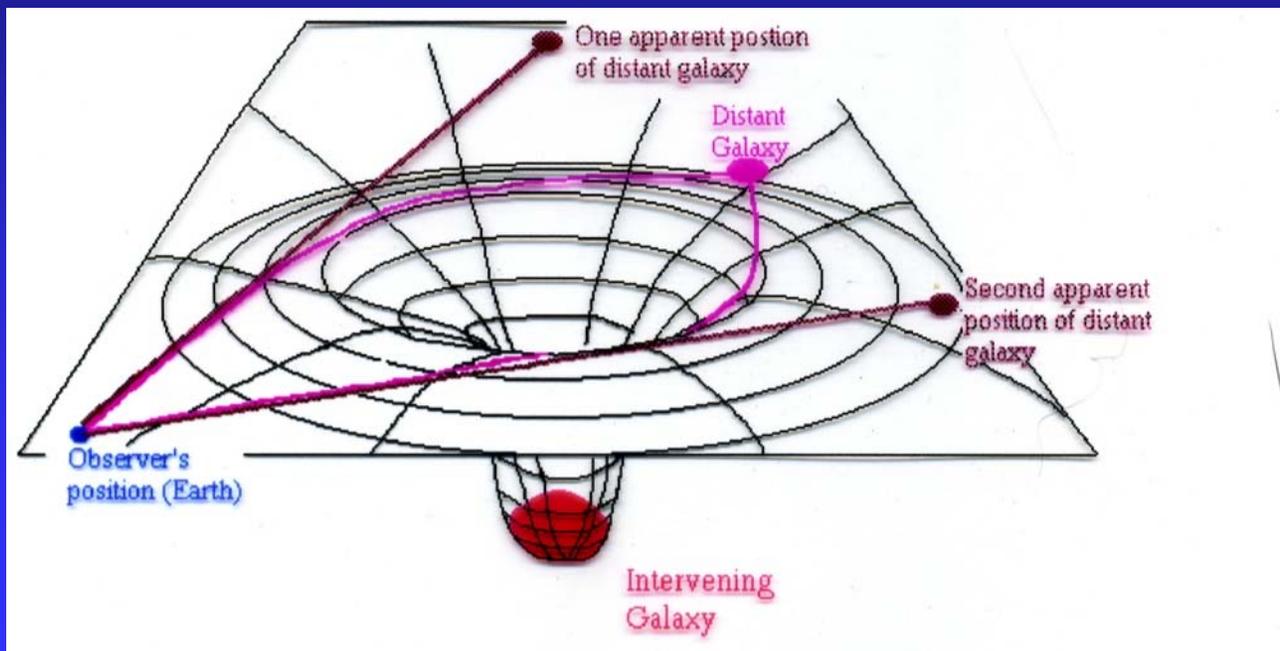
Matéria e energia dizem ao espaçotempo como se curvar e o espaçotempo curvo diz à matéria e luz como se propagar.

Uma multitude de novos fenômenos tornam-se acessíveis através desta visão:

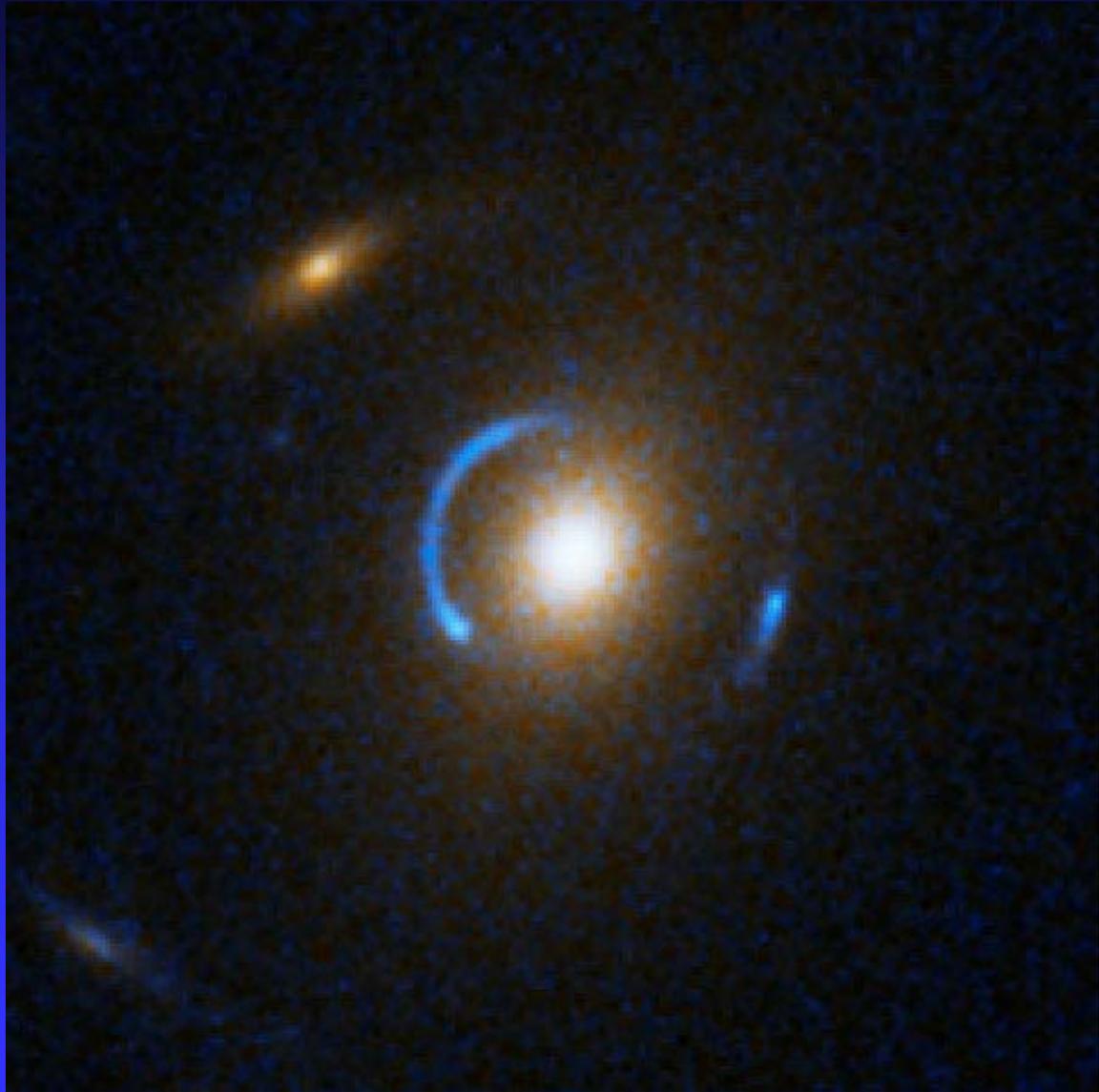
desvio da luz por corpos massivos; buracos negros; ondas gravitacionais; expansão do Universo, lentes gravitacionais

Riemann: enxergando muito além

“A questão da validade das hipóteses da geometria no domínio do infinitamente pequeno está ligada à questão das bases para as relações métricas do Espaço...portanto ou a realidade subjacente ao Espaço deve ser discreta ou os fundamentos para as relações métricas devem ser procurados fora dele, em forças de ligação que atuem sobre ele... isto nos leva ao domínio de outra ciência, o domínio da física.”

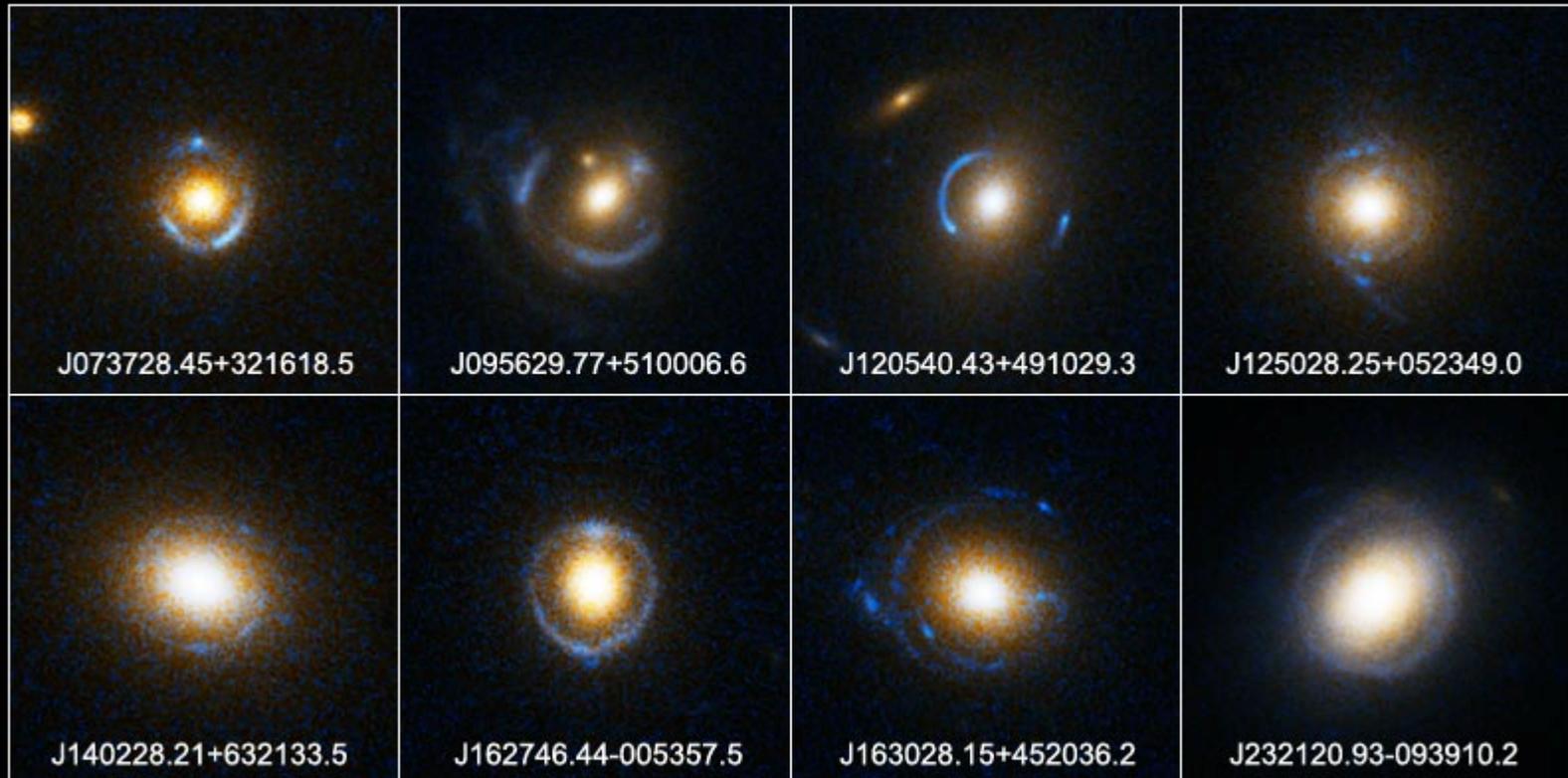






Einstein Ring Gravitational Lenses

Hubble Space Telescope ■ ACS



O legado de Einstein:

É notável em Einstein o pensamento intuitivo, o uso de imagens e *gedankenexperimentes* e, nos trabalhos iniciais, a simplicidade matemática (os de 1905 podem ser lidos-e devem ser lidos – e entendidos por um estudante de graduação! Após a extenuante construção da Relatividade Geral algo muda!

O papel do pensamento abstrato, *puro*

“O princípio criativo está na matemática. Em um certo sentido, portanto, mantenho ser verdadeiro que o pensamento puro possa captar a realidade, tal qual como os antigos sonhavam” Einstein 1933

em seu prefácio para um edição do Opticks de Newton (1931)

“Sabemos agora que a ciência não pode crescer
somente a partir do empiricismo, que nas
construções da ciência necessitamos a invenção
livre, que só posteriormente será confrontada
com a experiência para atestar sua utilidade”

A Nova Fronteira

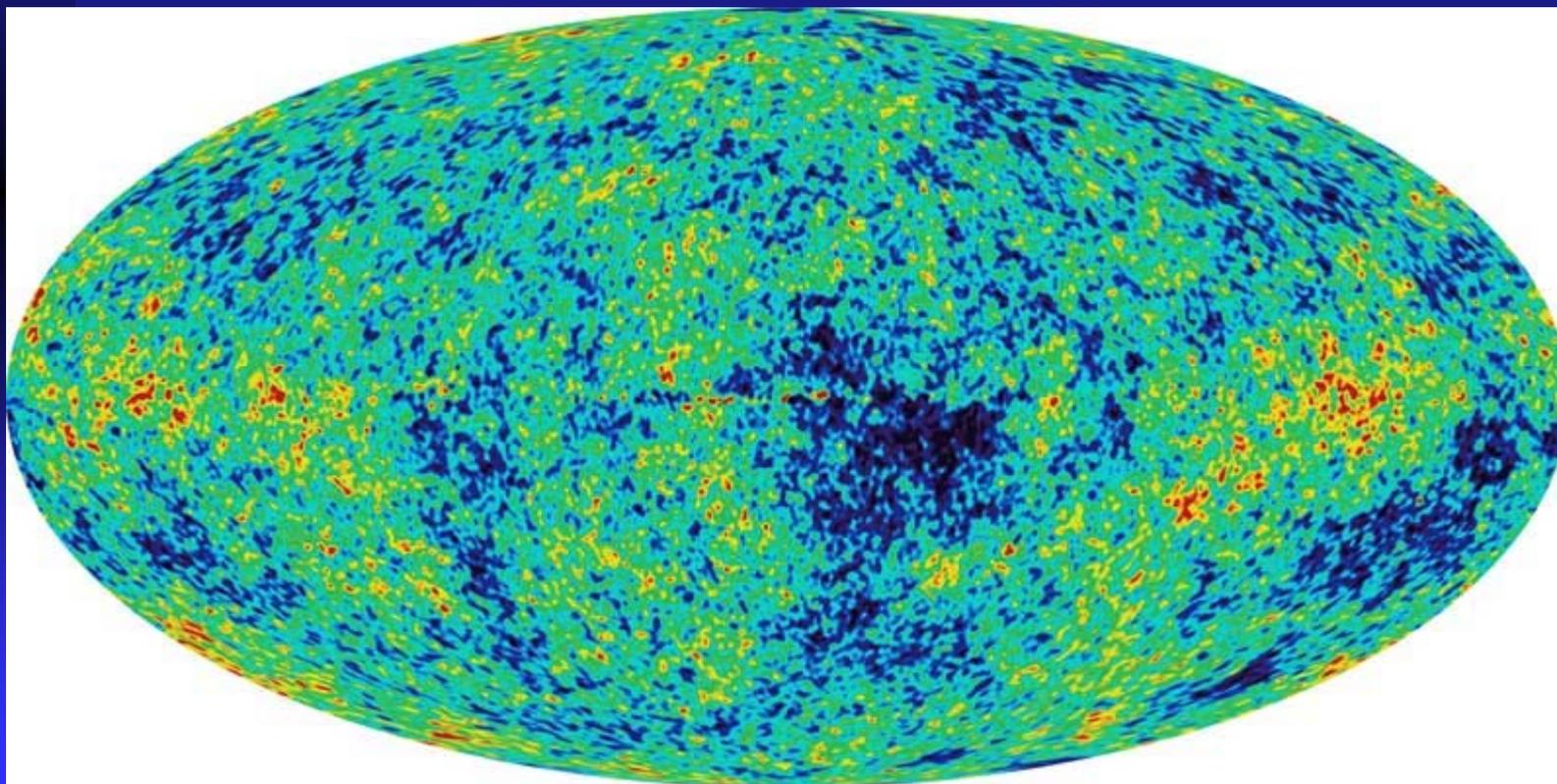
Combina o domínio do MUITO GRANDE
com o domínio do MUITO PEQUENO!!!

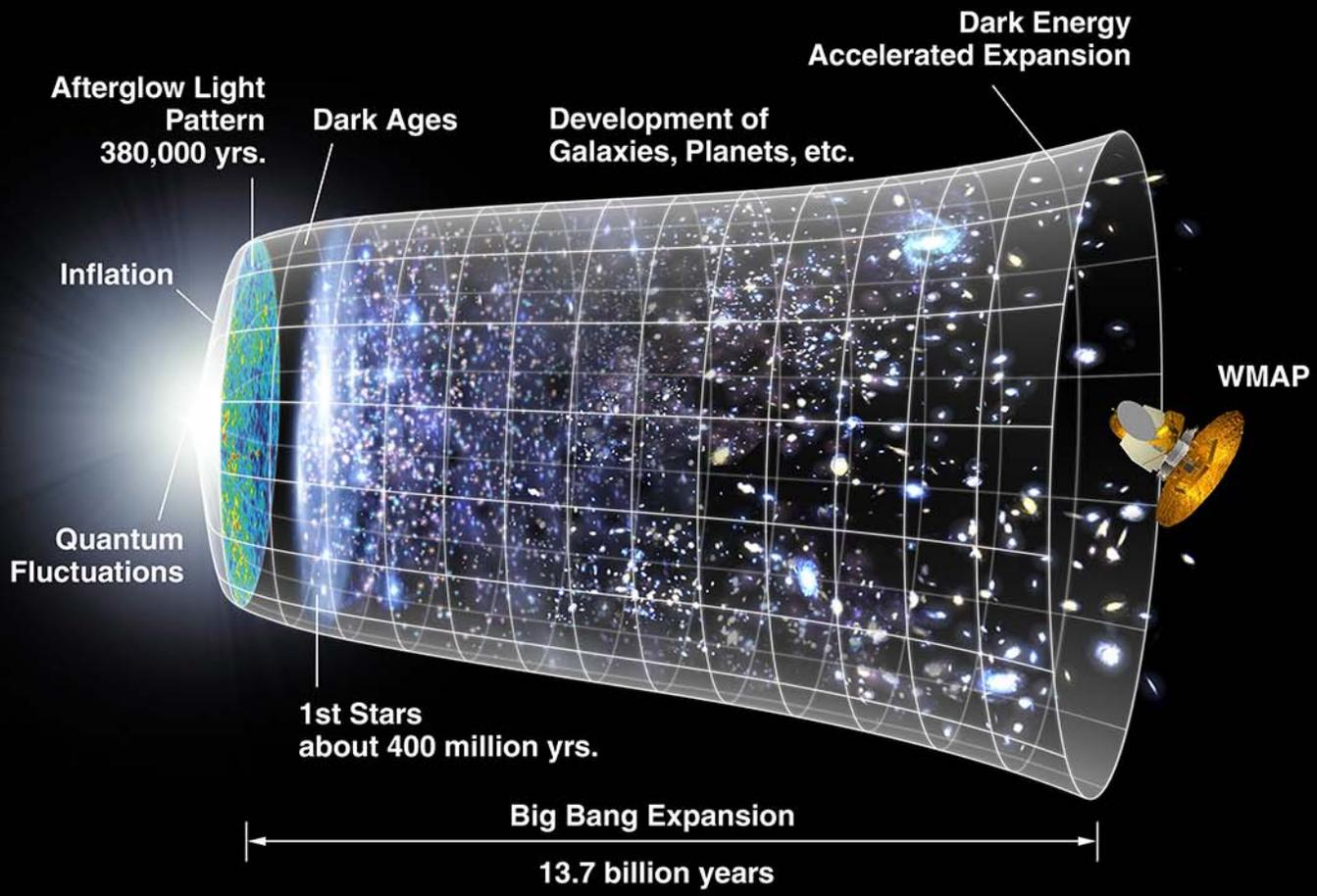
De que é composto o Universo?

Até que ponto podemos retroceder no tempo
sem mudar as leis ora conhecidas?

Como conciliar o espaçotempo Einsteiniano e
a física quântica?

Dados experimentais: de onde virão?





São tantos os desafios científicos deixados por Einstein:

1. Mecânica Quântica: EPR-variáveis ocultas não-locais; compreendemos realmente a Mec. Quan.? A herança baseada no realismo e localidade.

2. Espaço-tempo: não existe geometria *a priori* espaço-tempo dinâmico, como definir o tempo? Como quantizar a geometria?

3. Progresso na ciência: quais os limites da compreensão humana? Pensamento abstrato vs evidência empírica.

A Dimensão Moral de Einstein

“ A verdadeira estatura humana é medida com o metro da liberdade” Yannis Ritsos

Não se escondeu! Ao contrário, percebeu que poderia usar seu prestígio para defender justiça social, direitos humanos, paz.

Alguns exemplos:

Fonte: *Ideas and Opinions*

ver também: *Como vejo o Mundo*, Nova Fronteira 1981.

...ing to suppress
their positions all
ve them.

...o do against this
... way of non-co-
... intellectual who is
... refuse to testify,
... ruin, in short,
... interest of the

... based on the
... Amendment
... ssertion that it
... ch an inquisi-
... spirit of the

... step they will
... s country de-
... led for them.

... al."

... 10, 1954.

... on to the
... er me an
... was some-
... fortunate a
... e a more
... ction?
... a some-
... Never
... of men,

to fight injustice and suppression, and to improve the traditional forms of human relations. The only thing I did was this: in long intervals I have expressed an opinion on public issues whenever they appeared to me so bad and unfortunate that silence would have made me feel guilty of complicity.

The existence and validity of human rights are not written in the stars. The ideals concerning the conduct of men toward each other and the desirable structure of the community have been conceived and taught by enlightened individuals in the course of history. Those ideals and convictions which resulted from historical experience, from the craving for beauty and harmony, have been readily accepted in theory by man—and at all times, have been trampled upon by the same people under the pressure of their animal instincts. A large part of history is therefore replete with the struggle for those human rights, an eternal struggle in which a final victory can never be won. But to tire in that struggle would mean the ruin of society.

In talking about human rights today, we are referring primarily to the following demands: protection of the individual against arbitrary infringement by other individuals or by the government; the right to work and to adequate earnings from work; freedom of discussion and teaching; adequate participation of the individual in the formation of his government. *These* human rights are nowadays recognized theoretically, although, by abundant use of formalistic, legal maneuvers, they are being violated to a much greater extent than even a generation ago. There is, however, one other human right which is infrequently mentioned but which seems to be destined to become very important: this is the right, or the duty, of the individual to abstain from cooperating in activities which he considers wrong or pernicious. The first place in this respect must be given to the refusal of military service. I have known instances where individuals of unusual moral strength and integrity have, for that reason, come into conflict with the organs of the state. The Nuremberg Trial of the German war criminals was tacitly based on the recognition of the principle: criminal actions cannot be excused if committed on govern-

Um aspecto pouco conhecido!

Einstein e o socialismo:
omitido em todas suas biografias!

Why Socialism?

by Albert Einstein

This essay was originally published in the first issue of Monthly Review (May 1949).

“Is it advisable for one who is not an expert on economic and social issues to express views on the subject of socialism? I believe for a number of reasons that it is.”

outro aspecto desconhecido: manifestações contra o racismo

"There is a somber point in the social outlook of Americans," Einstein reportedly told the Lincoln University audience (1946):

Their sense of equality and human dignity is mainly limited to men of white skins. Even among these there are prejudices of which I as a Jew am clearly conscious; but they are unimportant in comparison with the attitude of "Whites" toward their fellow-citizens of darker complexion, particularly toward Negroes. The more I feel an American, the more this situation pains me. I can escape the feeling of complicity in it only by speaking out.

Jürgen Renn (Ed.)

CHIEF ENGINEER
OF THE UNIVERSE

Albert Einstein

ONE HUNDRED AUTHORS

Fontes usadas para esta apresentação:

Ideas and Opinions A. Einstein, Crown (1954)

The Einstein Decade

C. Lanczos, Academic Press (1974)

Einstein on Race and Racism

F. Jerome e R. Taylor, Princeton University
Press (2007)

www.hubblesite.org

fontes-cont.

*Insights of Genius: Imagery and Creativity in
Science and Art*

A. I. Miller, The MIT Press (2000)

Einstein: History and Other Passions

G. Holton, Addison-Wesley (1995)