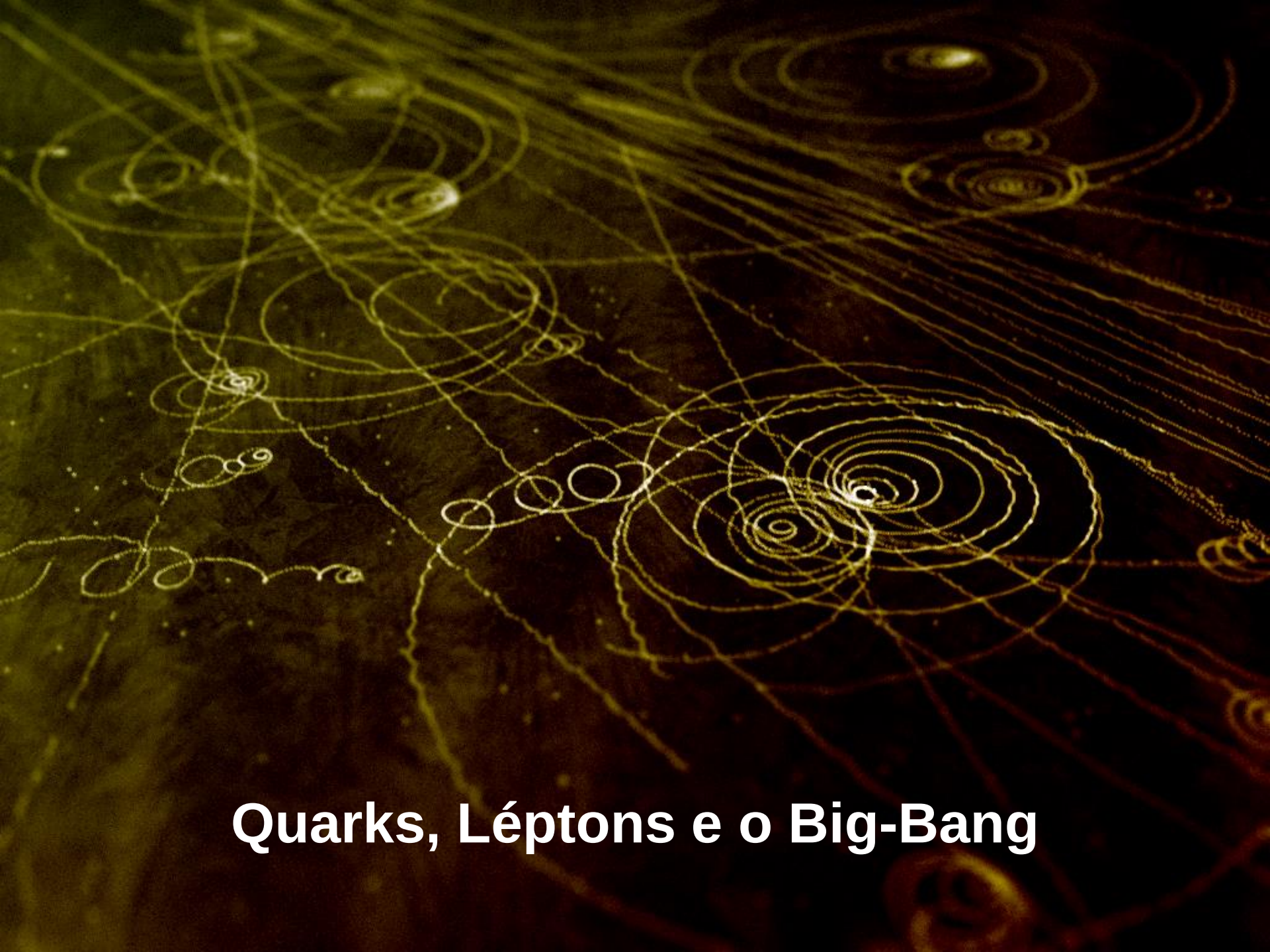
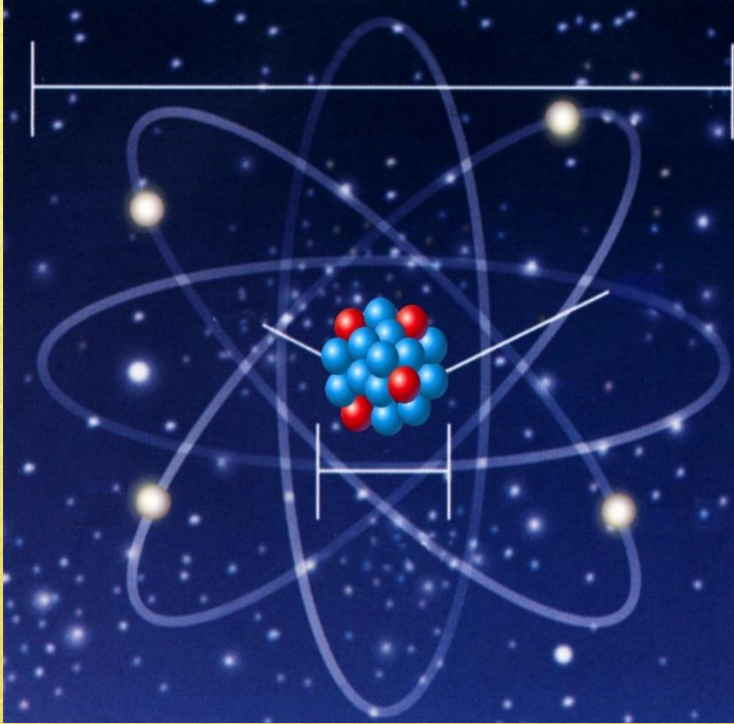


The background of the slide is a dark, textured field of olive green and black. It is filled with numerous glowing yellow and white lines and patterns. These include straight lines, spirals, concentric circles, and complex, tangled webs of lines that resemble particle tracks or wave interference patterns. The overall effect is one of dynamic energy and complex structure.

Quarks, Léptons e o Big-Bang

Desde a antiguidade



Perguntas que não querem calar..

- *Do que o universo é constituído???*
- *Como o universo se formou e se tornou o que é hoje??*

A Física

A Física é uma ciência **experimental!**

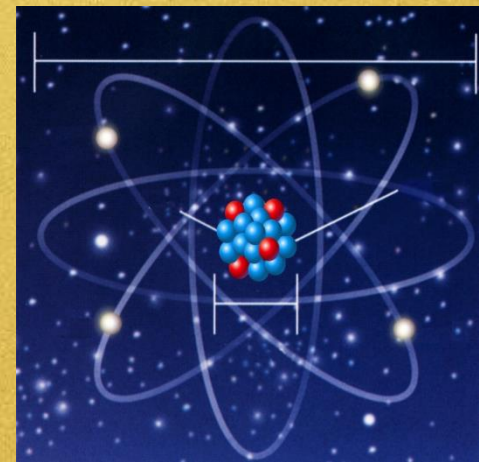
Portanto:

**para responder a essas perguntas
precisamos fazer experimentos, construir
detectores, tirar medidas, e criar teorias e
modelos que nos permitam descrever e
entender as observações experimentais.**

Este seminário....



.....é apenas um “aperitivo”...



Já aprendemos...

Constituintes da matéria

- A matéria é constituída de **átomos**.
- Os átomos são formados por um **núcleo** circundado por **elétrons**.
- O núcleo é formado por **prótons** e **nêutrons**. O núcleo do átomo é 10.000 vezes menor que o átomo e concentra praticamente toda a sua massa.

Como se descobriu tudo isso??

Fazendo experimentos....

- ❖ 1897 – J.J. Thomson* descobriu o elétron;
- ❖ 1911 – E. Rutherford** propôs o modelo planetário do átomo;
- ❖ 1919 – E. Rutherford revelou o próton;
- ❖ 1932 – J. Chadwick*** descobriu o nêutron.

Portanto, a resposta anterior está correta,
porém.....

*Prêmio Nobel Física 1906

**Prêmio Nobel Química 1908

***Prêmio Nobel Física 1935

Porém..

A resposta seria boa para 1932 !!!

Ainda em 1932..

Poderíamos acrescentar na nossa lista de partículas:

- ❖ **Fótons** $\Rightarrow$ existência comprovada em experiências de efeito fotoelétrico* e efeito Compton.
- ❖ **Neutrinos** $\Rightarrow$ propostos por Pauli** em 1930, produzidos no decaimento radioativo beta; sua existência foi comprovada experimentalmente apenas em 1956 por Reines*** e Cowan.

*Prêmio Nobel 1921 para Einstein pela explicação do efeito fotoelétrico

**Prêmio Nobel 1945 pelo princípio de exclusão

*** Prêmio Nobel 1995

Mas a partir de 1932...

Muitas ideias novas surgiram que levaram a propostas de **novas partículas**.

Mas não basta propor !!

Tem-se que **achar** a partícula proposta.....

Novas Partículas ...

- Algumas delas foram primeiramente previstas teoricamente e depois detectadas experimentalmente;
- Outras foram descobertas diretamente em experimentos.

Os experimentos.....

Dois períodos no século XX:

- Até ~1950: experimentos usavam a **radiação cósmica**;
- Após ~1950: experimentos em **aceleradores**.

No século XXI:

- Experimentos em aceleradores (p.ex. **LHC**)
- Física de **Astropartículas**.

Assim...

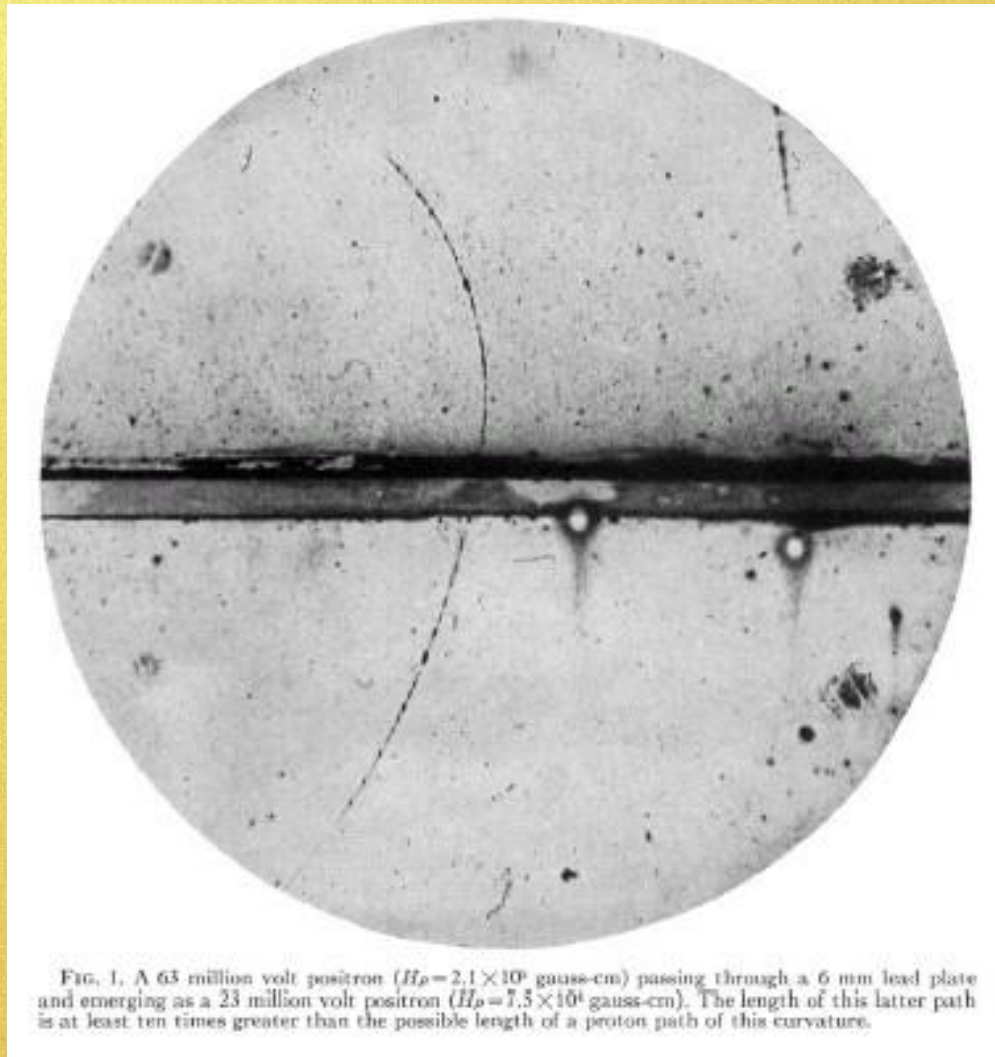
- Paul Dirac* (1928) propõe a existência de **antipartículas**.
- O **pósitron** (antieelétron e^+) é descoberto por Carl Anderson** em 1932.
- O **antipróton** $\bar{p}$ é descoberto em 1955 por Segrè*** e Chamberlain***
- O **antinêutron** $\bar{n}$ é descoberto em 1956 por Cork.

*Prêmio Nobel 1933

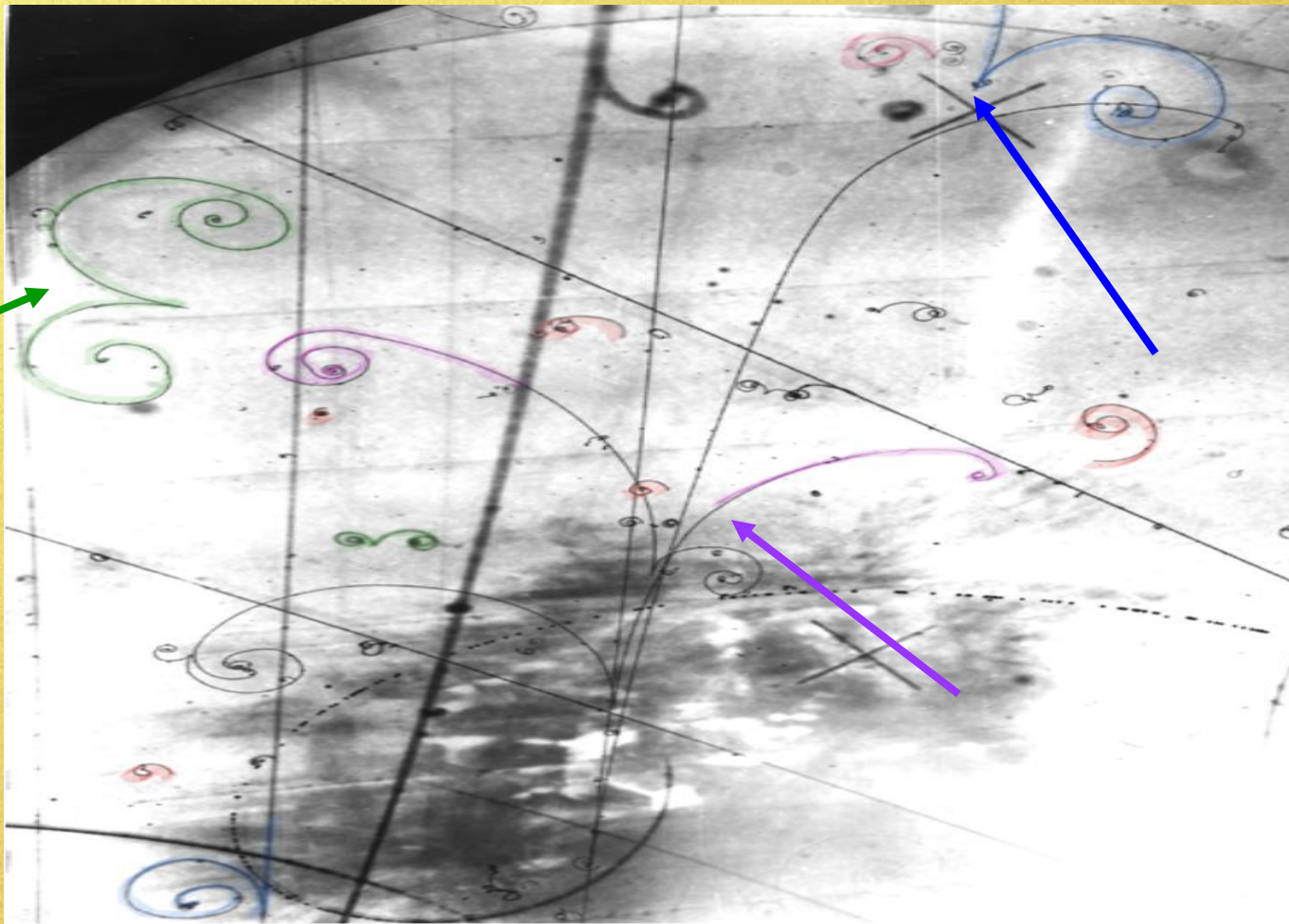
**Prêmio Nobel 1936

***Prêmio Nobel 1959

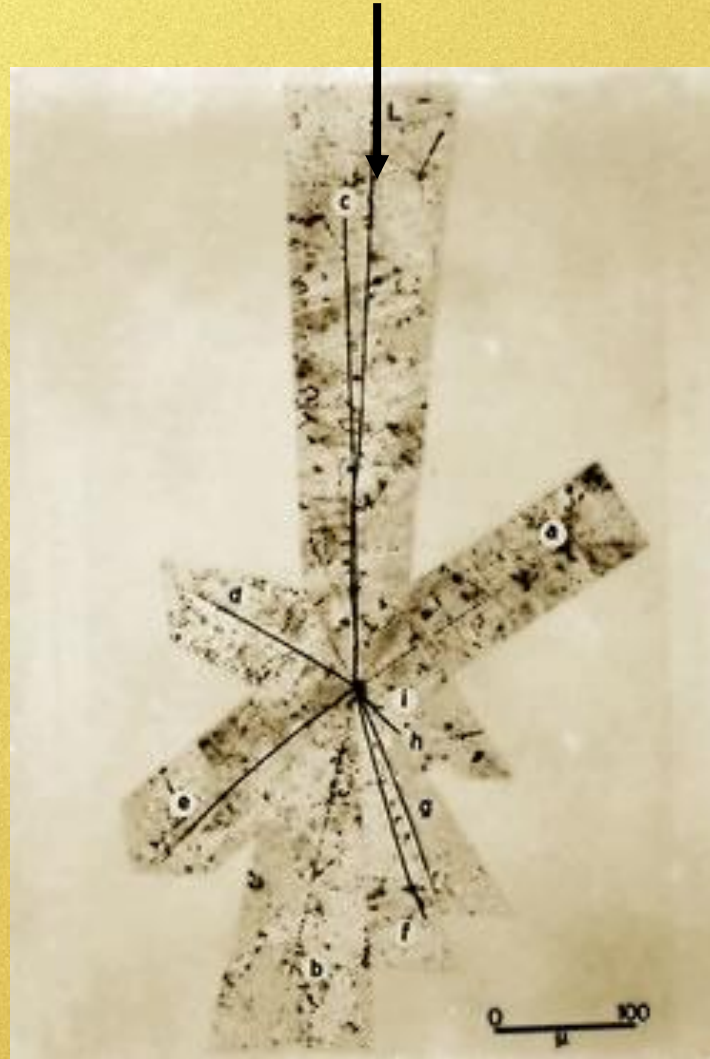
Uma foto de um pósitron atravessando uma câmara de nuvens.....



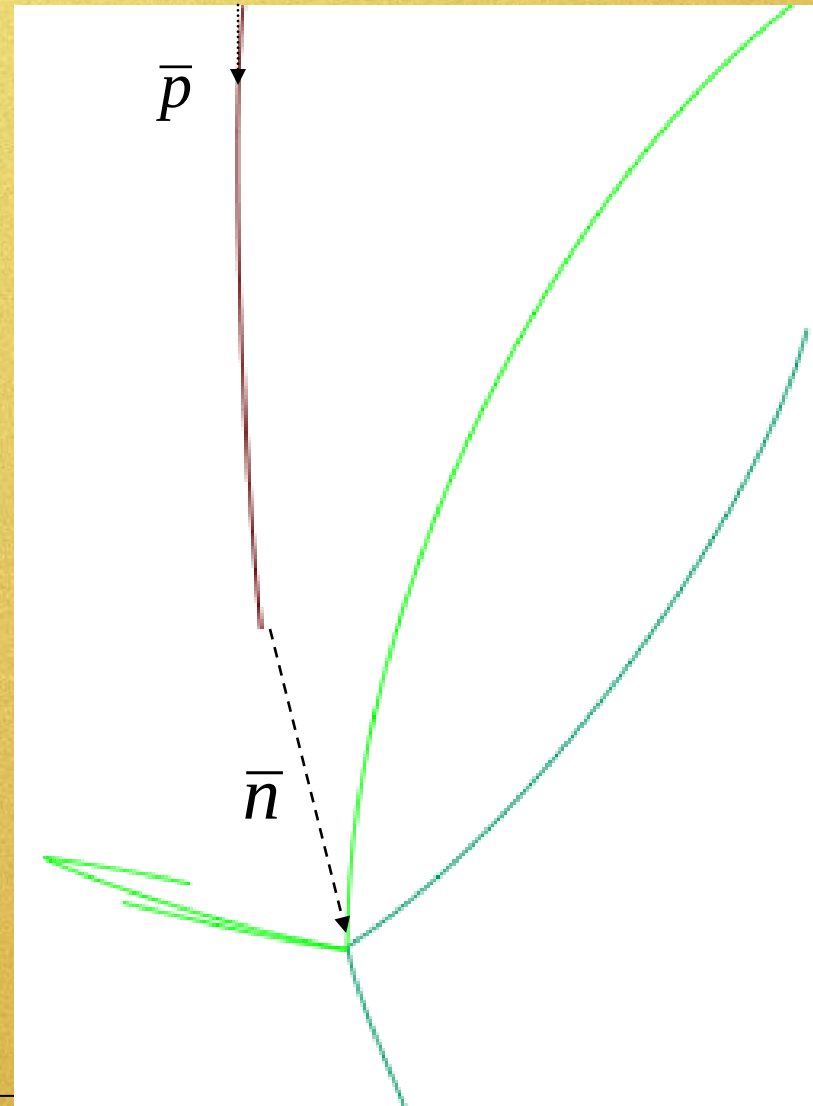
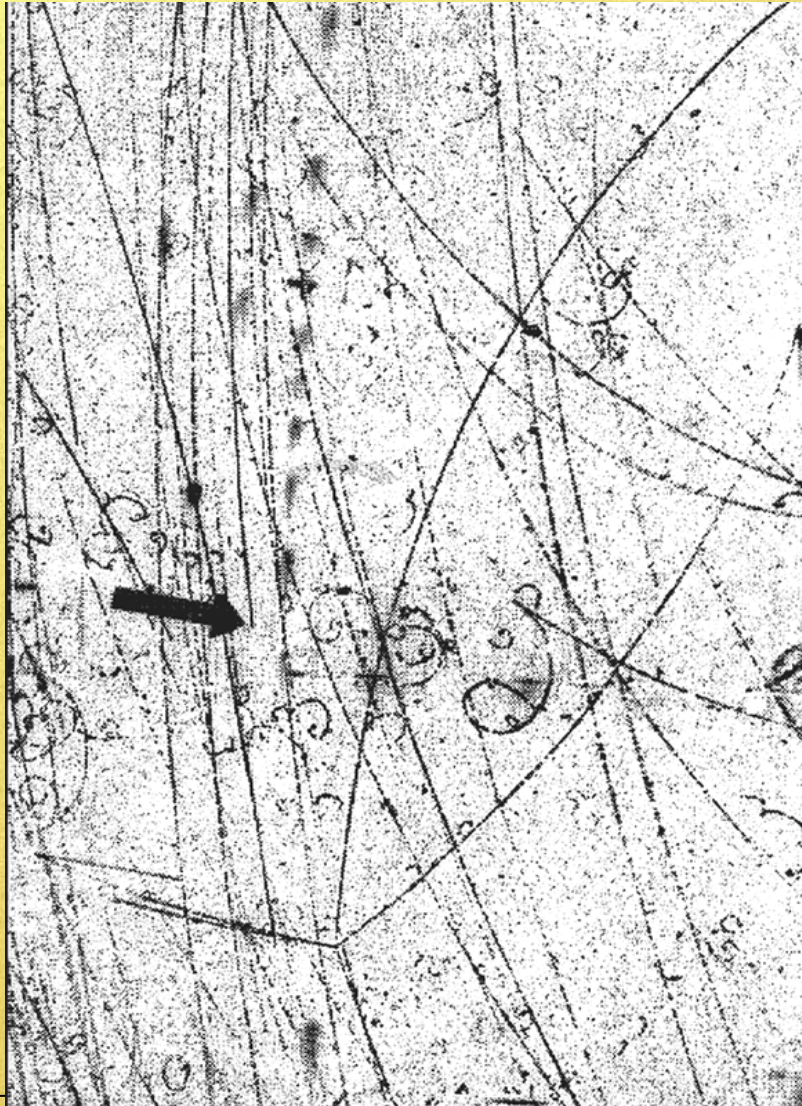
Uma foto de um par elétron-pósitron criado
em uma câmara de bolhas.....



Uma foto de uma interação de um antipróton visto ao microscópio em emulsão ...



Produção e aniquilação de um antineutron visto em câmara de bolhas...



De onde iremos inferir que ...

Todas as partículas têm suas antipartículas, com
mesma massa e carga elétrica oposta.

(embora para algumas a antipartícula seja igual à partícula)

E mais..

- Hideki Yukawa* em 1934 propõe a existência de **mésons** para mediar a interação nuclear (em analogia ao fóton, mediador da interação eletromagnética).
- Os **píons** (antigamente chamados mésons pi) foram descobertos em 1947 por Lattes, Occhialini e Powell**.

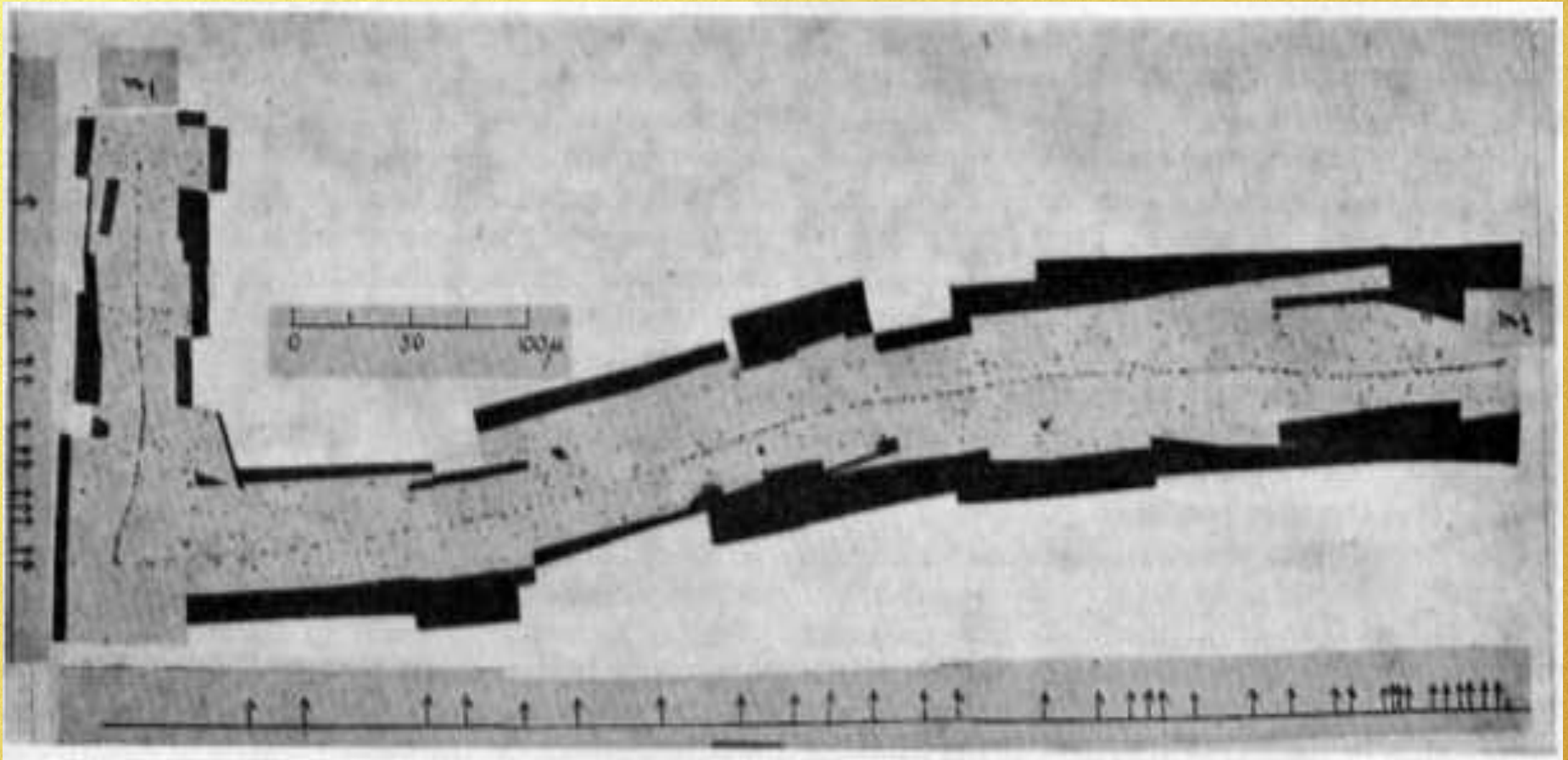
*Prêmio Nobel 1949

**Prêmio Nobel 1950

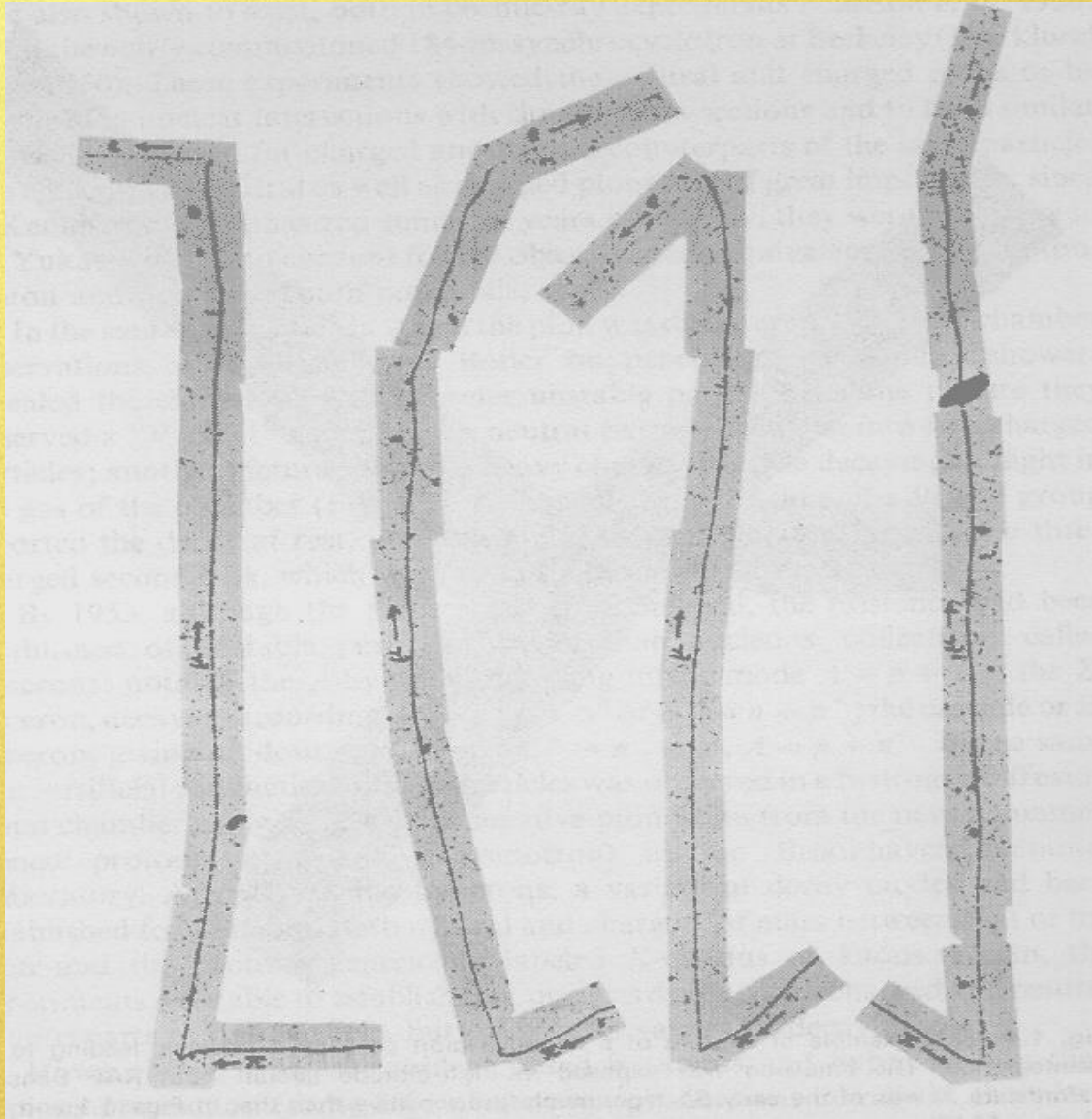
E algumas surpresas..

- Descoberta do **múon** em 1937 por Anderson e Neddermeyer, e, independentemente, por Street e Stevenson.
- O múon se comporta exatamente igual a um elétron: tem a mesma carga, mesmo spin, porém massa 207 vezes maior que a do elétron...

Uma foto ao microscópio de um pión decaindo em um múon em emulsão.....



E mais fotos de píons decaindo em múons...



E a partir de 1949..

Aí sim iniciou uma enxurrada de descobrimentos de novas partículas!!!

Foram descobertas..

- Outras partículas semelhantes ao píon, mas mais pesadas .. $\Rightarrow$

novos mésons

- Outras partículas semelhantes ao próton e ao nêutron, mas mais pesadas.. $\Rightarrow$

novos bárions

- E também outras partículas que eram “estranhas”... $\Rightarrow$ **produzidas aos pares.**

As novas partículas..

- Observou-se que todas, com exceção do elétron e do próton, decaíam e, portanto, eram **instáveis**:

- Exemplos: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
 $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
 $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
etc..

Ao final dos anos 50..



Virou uma selva!!

Na década de 60...

Começou uma procura por regularidades!

Uma analogia: a tabela periódica

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114				

58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Observação de regularidades

Em 1961, Gell-Mann* e também, independentemente, Ne'eman resolveram agrupar os **mésons** e os **bárions** conhecidos usando o conhecimento de suas propriedades conhecidas na época (p.ex. carga elétrica, massa, spin e decaimentos).

*Prêmio Nobel 1969

O que indicam essas regularidades observadas???

- Que existem **subestruturas...**

(ainda a analogia com a tabela periódica...)

Em 1964 nasce o Modelo a Quarks:

- A ideia: as dezenas de partículas novas descobertas na época não são na verdade elementares, mas têm constituintes elementares, os **quarks**.
- Prótons, nêutrons, assim como todos os mésons e bárions não são elementares, mas são constituídos de **quarks**.
- Elétrons e múons, e também neutrinos **NÃO** são constituídos de quarks, e são considerados elementares.

O caminho óctuplo.. (1964)

Gell-Mann chamou sua classificação de

“The eightfold way”

Os primeiros quarks..

- Em 1964, Gell-Mann e também Zweig propõem a existência de três partículas $u, d, s \Rightarrow$ **três quarks**;
- Esses quarks seriam elementares, teriam spin $\frac{1}{2}$, e cada um teria também sua antipartícula, ou seja, seu antiquark: $\bar{u}, \bar{d}, \bar{s} \Rightarrow$ **três antiquarks**.

Os três **sabores** de quarks em 1964 ...

- $u \Rightarrow$ chamado quark “up”, carga $+2/3 e$
- $d \Rightarrow$ chamado quark “down”, carga $-1/3 e$
- $s \Rightarrow$ chamado quark “strange”, carga $-1/3 e$

quarks e antiquarks...

- têm a mesma massa...
- têm carga elétrica oposta...
- (têm todos os números quânticos que os caracterizam opostos)...

Mas....

- Onde estão as partículas que observamos?
- Onde se encaixam neste modelo o próton, o nêutron, o píon e as outras centenas de partículas observadas até hoje...????

Os quarks e antiquarks vêm..

junto com uma **regra de combinação**:

- ❖ Bárions $\Rightarrow$ formados por combinação de três quarks;
- ❖ Antibárions $\Rightarrow$ formados por combinação de três antiquarks;
- ❖ Mésons $\Rightarrow$ formados por combinação de um quark e um antiquark.

exemplos...

- $p \Rightarrow uud$ ($\uparrow\downarrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3-1/3)e = +1e$
- $n \Rightarrow udd$ ($\uparrow\downarrow\uparrow$); carga $(+2/3-1/3-1/3)e = 0e$
- $\Delta^+ \Rightarrow uud$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3-1/3)e = +1e$
- $\Delta^{++} \Rightarrow uuu$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3+2/3)e = +2e$
- $\Omega^- \Rightarrow sss$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(-1/3-1/3-1/3)e = -1e$
- $\Delta^- \Rightarrow ddd$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(-1/3-1/3-1/3)e = -1e$
- $\pi^+ \Rightarrow u \bar{d}$ ($\uparrow\downarrow$); carga $(+2/3+1/3)e = +1e$

ops.....

mas temos um problema aqui.....

o spin.....

- Todas as partículas têm um momento angular intrínseco característico.
- A esse momento angular pode-se associar um número quântico s , que pode ser um número **inteiro** ou **semi-inteiro**, dependendo da partícula.

férmions $\neq$ bósons

- Os férmions obedecem ao **princípio de exclusão de Pauli** (lembre dos elétrons nos orbitais atômicos.....);
- Os férmions são sempre produzidos aos pares e também se aniquilam aos pares.

e o princípio de exclusão de Pauli ???

Algumas das partículas observadas devem ser interpretadas como formadas de três quarks idênticos, ou seja, de mesmo sabor e com todos os números quânticos **iguais!!!**

Não pode !!! $\Rightarrow$

viola o princípio de exclusão!!!

exemplos...

- $p \Rightarrow uud$ ($\uparrow\downarrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3-1/3)e = +1e$
- $n \Rightarrow udd$ ($\uparrow\downarrow\uparrow$); carga $(+2/3-1/3-1/3)e = 0e$
- $\Delta^+ \Rightarrow uud$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3-1/3)e = +1e$
- $\Delta^{++} \Rightarrow uuu$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(+2/3+2/3+2/3)e = +2e$
- $\Omega^- \Rightarrow sss$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(-1/3-1/3-1/3)e = -1e$
- $\Delta^- \Rightarrow ddd$ ($\uparrow\uparrow\uparrow$); carga $(-1/3-1/3-1/3)e = -1e$
- $\pi^+ \Rightarrow u \bar{d}$ ($\uparrow\downarrow$); carga $(+2/3+1/3)e = +1e$

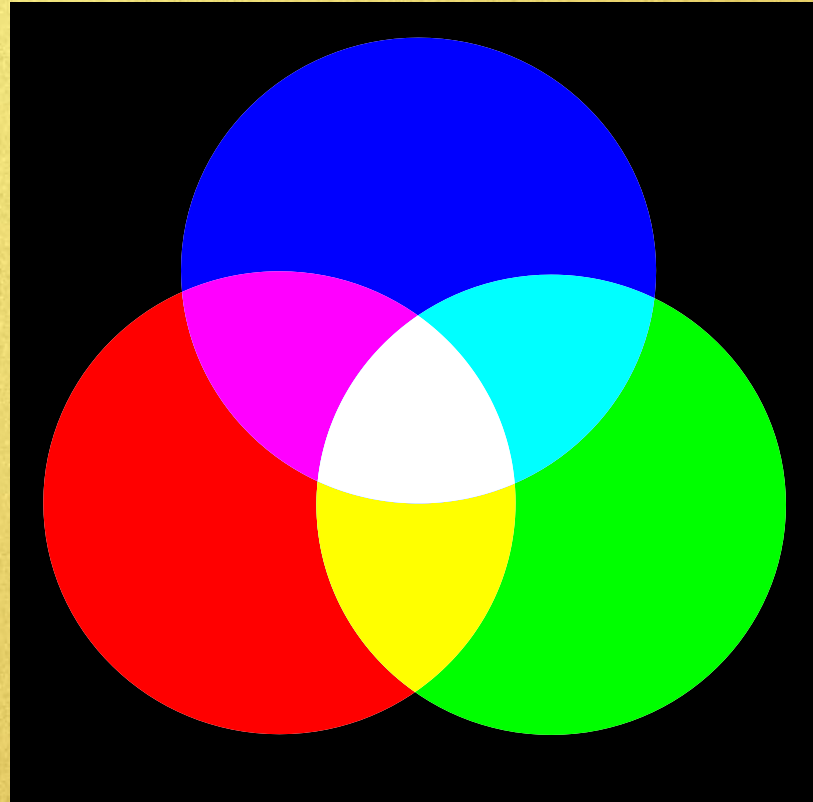
Para distinguir os quarks...

- Foi introduzida uma nova propriedade batizada com o nome de carga de “cor”, que seria diferente para cada um dos três quarks idênticos que entram nas combinações uuu , ddd , sss .
- As combinações seriam: uub , ddb , ssb
- Para as outras combinações também vale a regra: p.ex. próton poderia ser uub .

Qual é a ideia???

- Analogia com o átomo: é eletricamente neutro, mas é formado por partículas eletricamente carregadas;
- Os bárions e mésons observados são neutros de cor (incolores) mas seriam formados por partículas com carga de cor.

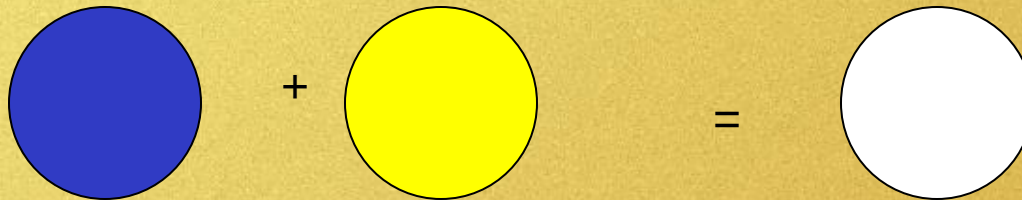
assim....



As partículas que observamos são todas
neutras de cor (incolores)

e para mésons...

- Para um méson: azul + antiazul = incolor



outra analogia...

Assim como temos interação eletromagnética entre partículas com carga elétrica, mediada pelos **fótons**,

teremos uma interação **forte** entre partículas com **carga de cor***, mediada por **glúons**...

***Prêmio Nobel 2004 para Gross, Politzer, Wilczek**

Paralelamente a essas ideias,

Experimentos em aceleradores

- Objetivo: estudar a estrutura do próton.
- Quando: meados dos anos 50
- Quem: Robert Hofstadter* e equipe
- Onde: acelerador linear de Stanford (EUA)
- Como: fazendo elétrons acelerados (~ 200 a 400 MeV) incidir em núcleos de vários elementos como Au, C, e H e mostrando que os núcleos não eram cargas pontuais
(Rutherford!!)
- Ainda mais: núcleos pesados continham prótons.

*Prêmio Nobel de 1961

Resultado

Os núcleos continham prótons!
O próton tinha um raio!

Mais evidências experimentais..

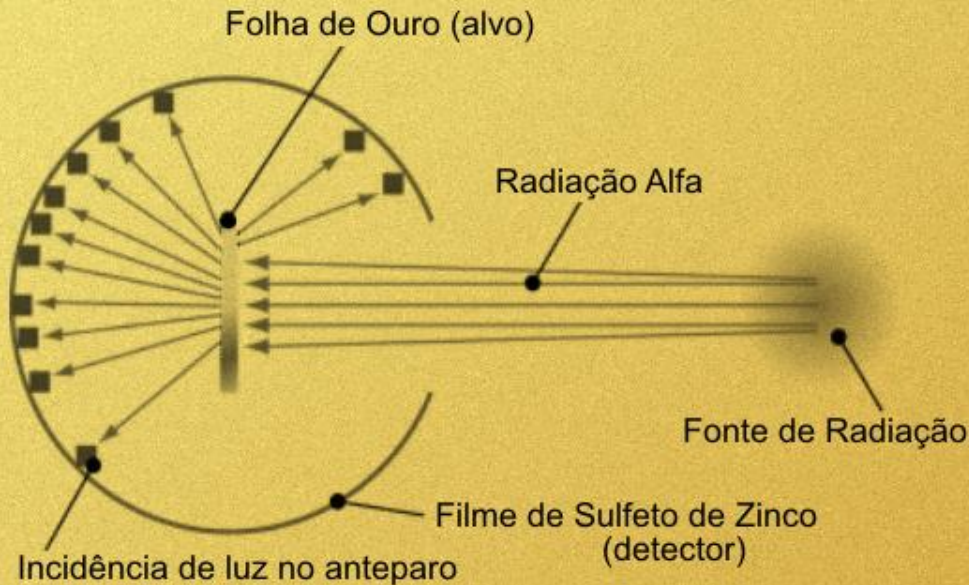
- Simultaneamente às ideias sobre o modelo a quarks, foram feitos novos experimentos no acelerador linear de Stanford (EUA) em que se fazia incidir elétrons acelerados a energias ainda mais altas (~ 20 GeV) sobre prótons (núcleos de Hidrogênio).

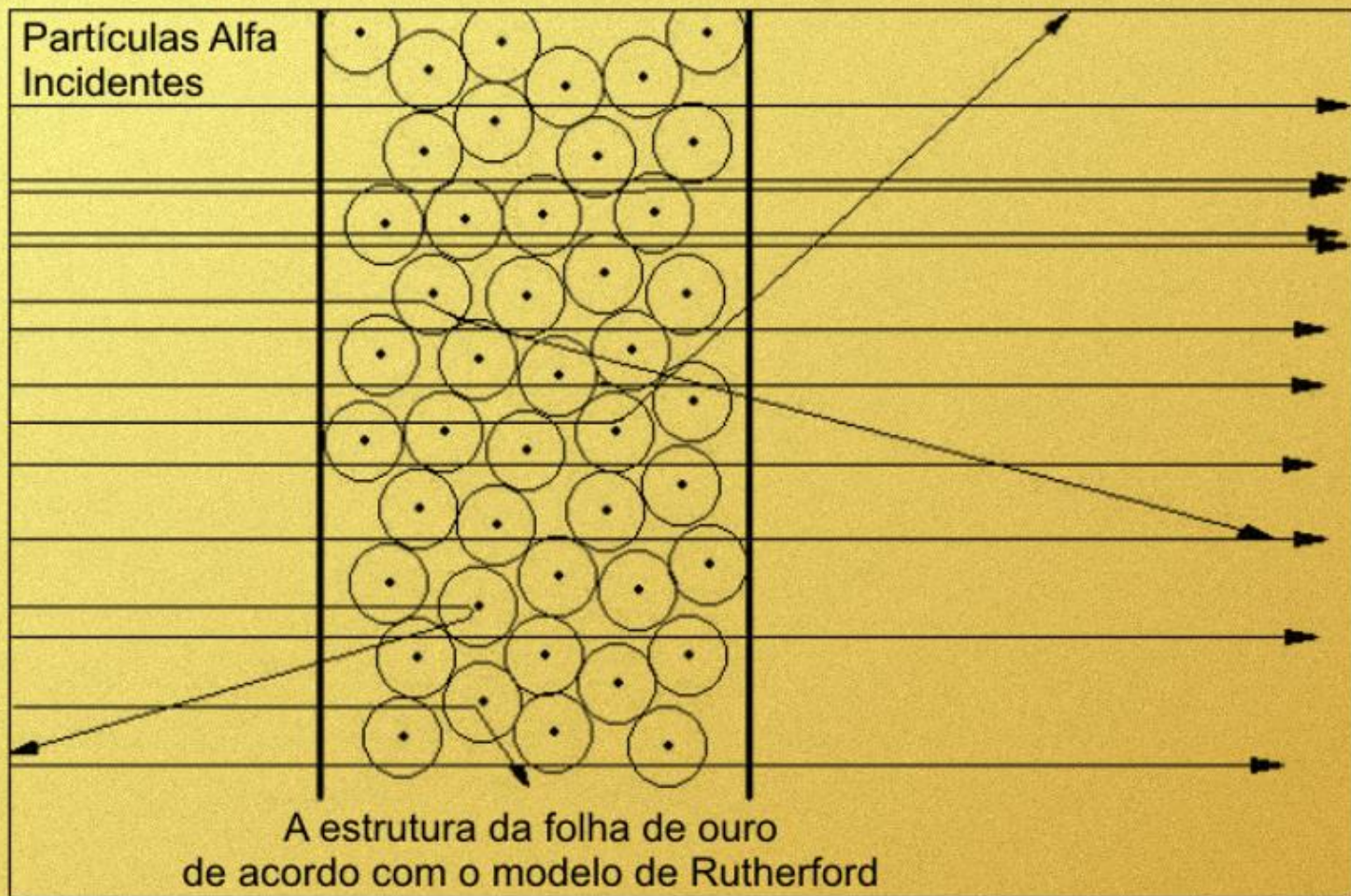
Objetivo

O objetivo desses experimentos era sondar a estrutura do próton, exatamente como Rutherford havia feito 50 anos antes para sondar a estrutura dos átomos.

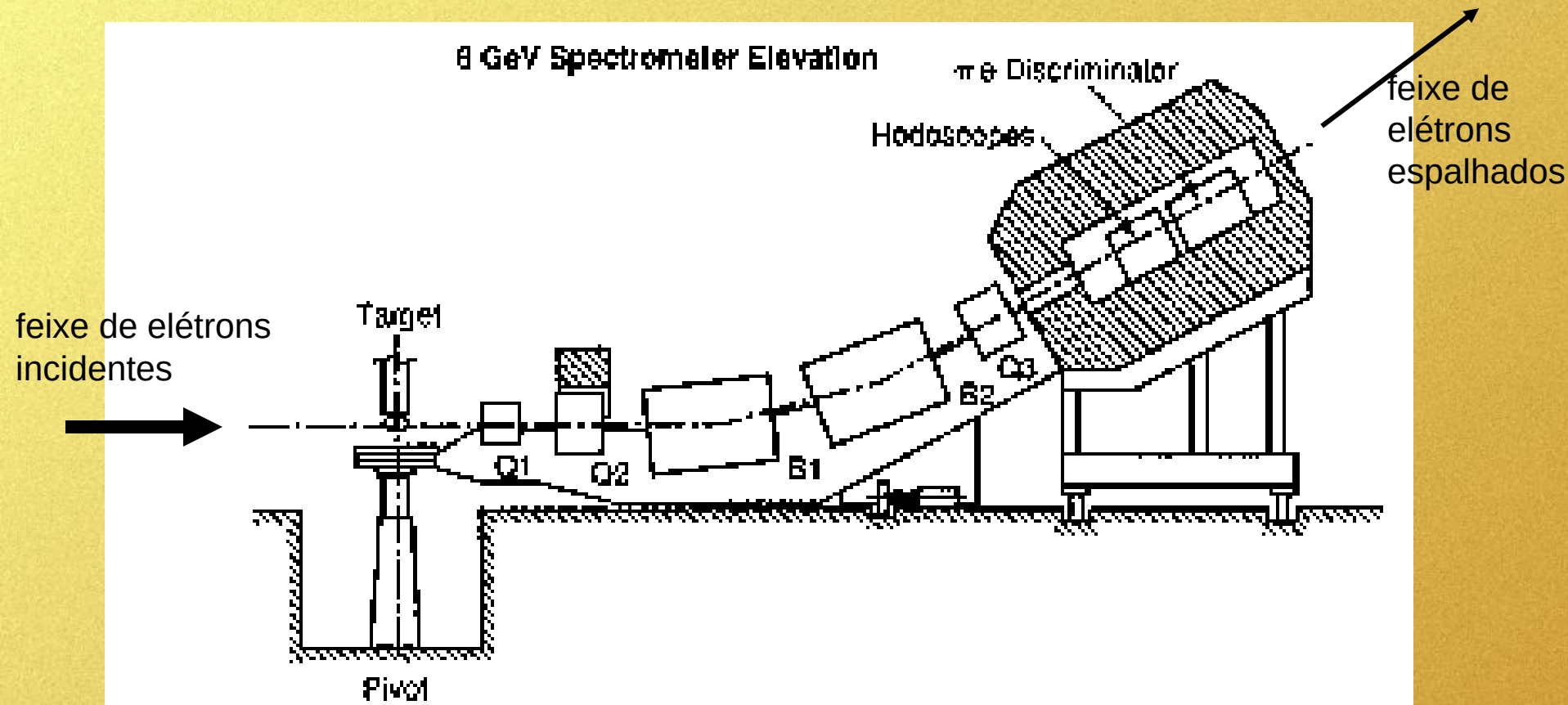
Experimento de Rutherford

Espalhamento de alfas por átomos de ouro





O experimento no SLAC



Espalhamento inelástico profundo

- Em 1968, os resultados desses experimentos mostraram evidências da existência de constituintes carregados e de spin $\frac{1}{2}$ no interior do próton.
- Estes constituintes eram chamados de **pártons**.
- Posteriormente, identificou-se pártons com os quarks (e posteriormente também com glúons) no interior do próton:

pártons $\Leftrightarrow$ quarks + (glúons)

Isso foi em 1964~1968.... e hoje??

- Hoje (2014) conhecemos **seis quarks** !
- Nenhum deles foi observado isoladamente!
- Porém há **inúmeras evidências experimentais da existência deles..**
- Todos os bárions e todos os mésons observados experimentalmente são interpretáveis como combinações desses seis quarks..

hádrons...

- Os bárions, antibárions e os mésons têm os quarks e antiquarks como constituintes.
- As partículas que são formadas de quarks e antiquarks fazem parte da família dos **hádrons**.

Os seis sabores de quarks

up u	(1964)	$+2/3 e$
down d	(1964)	$-1/3 e$
strange s	(1964)	$-1/3 e$
charm c^*	1974	$+2/3 e$
bottom b	1977	$-1/3 e$
top t	1995	$+2/3 e$

***Prêmio Nobel 1976 para Richter e Ting**

Como imaginamos o próton hoje?

- Três **quarks de valência** uud , responsáveis pela carga elétrica e demais números quânticos da partícula observada.
- Muitos pares **quark-antiquarks de mar**
 $u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s} \dots$
- Esses constituintes interagem por interação forte, trocando **glúons**.

Mas e o elétron?

onde entra o elétron????

- O elétron **não** entra nessa descrição.....
- O elétron, assim como o seu neutrino, e o múon e seu neutrino **NÃO são compostos de quarks!!!!**
- Eles são **elementares** e formam a sua própria família $\Rightarrow$ **léptons!**

os léptons hoje...

elétron e	1897	carga $-e$
neutrino eletrônico ν_e	1956	carga 0
múon μ	1937	carga $-e$
*neutrino muônico ν_μ	1962	carga 0
** tau τ	1975	carga $-e$
neutrino tauônico ν_τ	2000	carga 0

***Prêmio Nobel 1988 para Lederman, Schwartz e Steinberger**

****Prêmio Nobel 1995 para M. Perl**

os léptons...

- **NÃO** têm carga de cor (**NÃO** são constituídos por quarks e antiquarks...)
- Portanto os léptons **NÃO** sofrem a interação forte....

Resposta em 2014....

Os constituintes fundamentais
(elementares) da matéria são :

❖ os quarks

❖ os léptons

E para cada interação...

Há uma ou mais partículas mediadoras:

interação	partícula mediadora
eletromagnética	fóton
forte	glúons (8)
fraca	W^+ , W^- , Z^0
gravitacional	gráviton

Modelo Padrão

O conhecimento adquirido sobre as partículas elementares e suas interações está reunido no

Modelo Padrão das Partículas Elementares

Alguns experimentos hoje...

Testam o Modelo Padrão.

***Mencionarei aqueles em que a
UNICAMP está envolvida***

RHIC

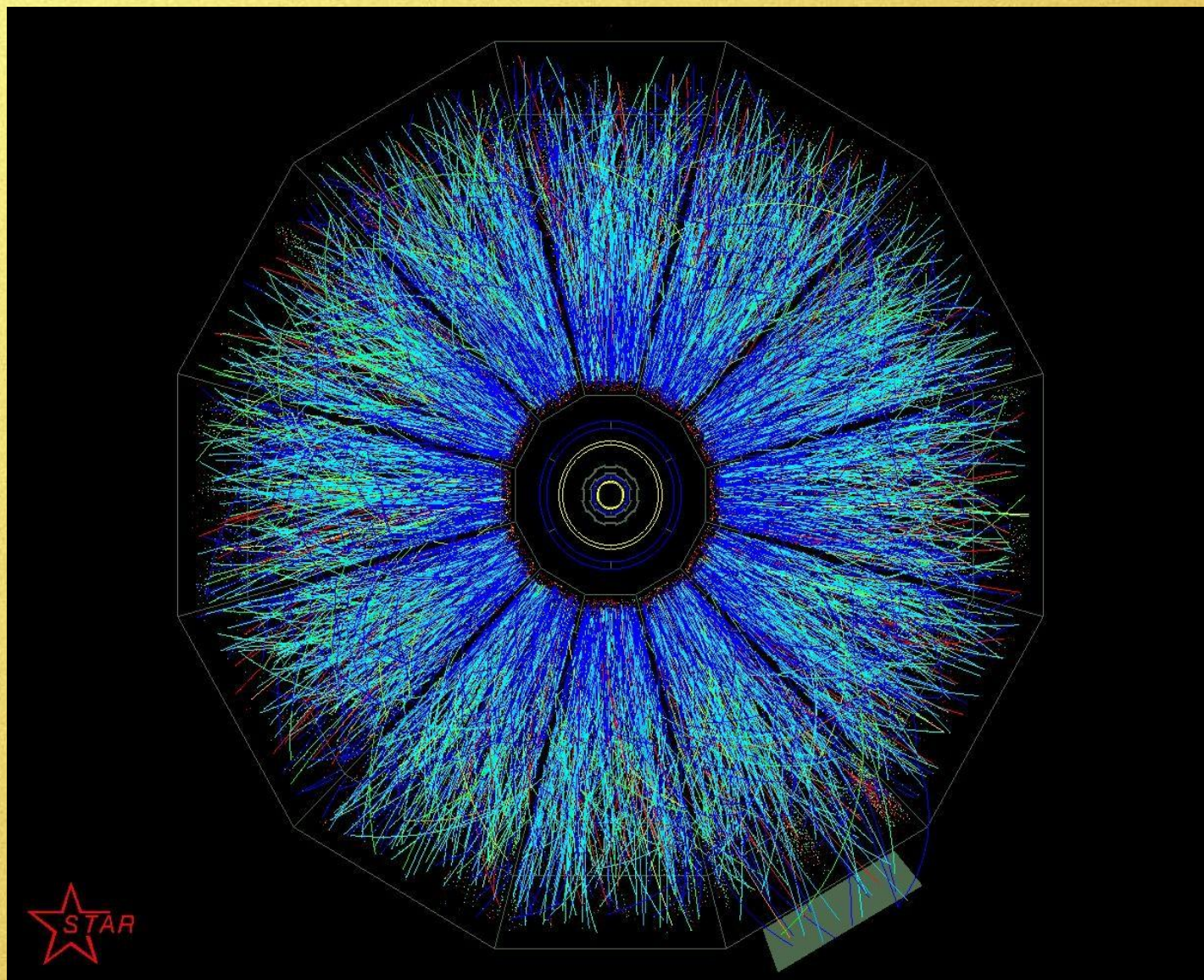
Relativistic Heavy Ion Collider



O detector STAR no RHIC (The Solenoidal Tracker at RHIC)



Colisão Au+Au a 100 GeV/c @ STAR no RHIC



O próximo passo....

- Atualmente está operando o maior acelerador de partículas já construído até hoje, o

**LARGE HADRON COLLIDER
(LHC)**

na fronteira entre Suíça e França.

LHC no CERN



O túnel..



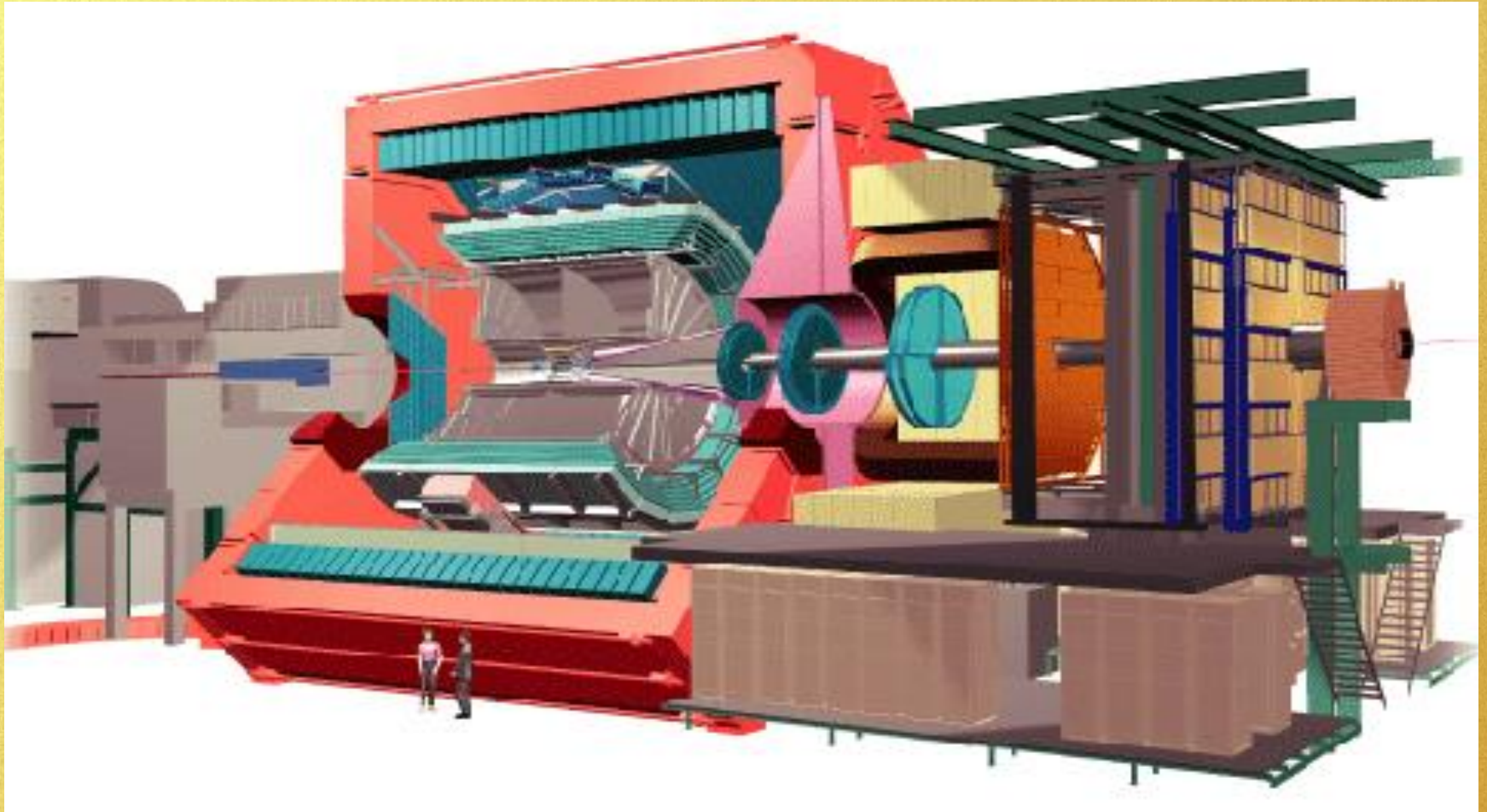
27 km de comprimento, a uma profundidade de 100 m; interior é vácuo (10^{-10} atm) e temperatura de -271°C (hélio líquido superfluido para resfriar os magnetos supercondutores)

Ainda o túnel....

Underground



O detector ALICE: A Large Ion Collider Experiment

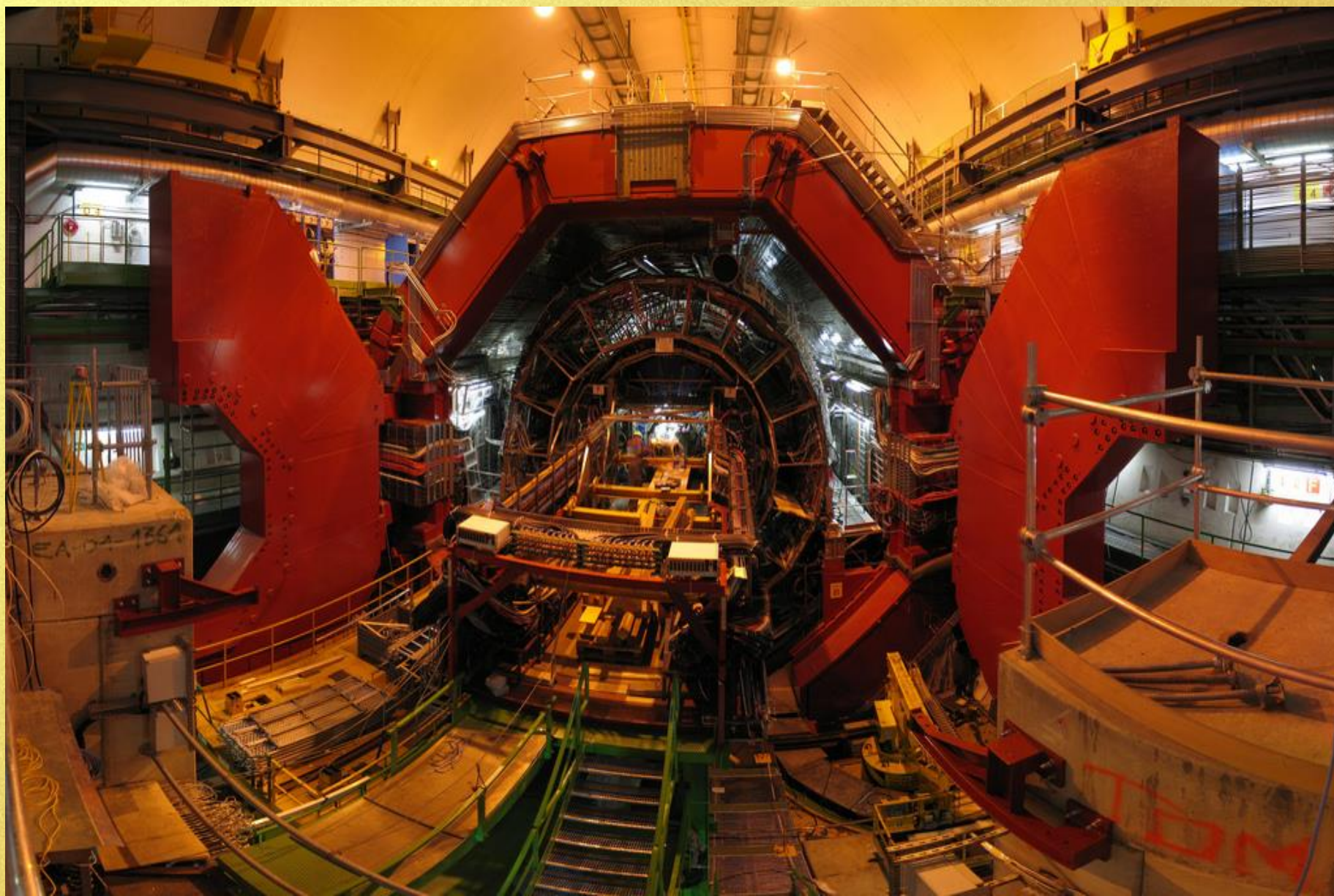


Dimensões: 26 m comprimento, 16 m altura, 16 m largura; peso: 10.000 toneladas.

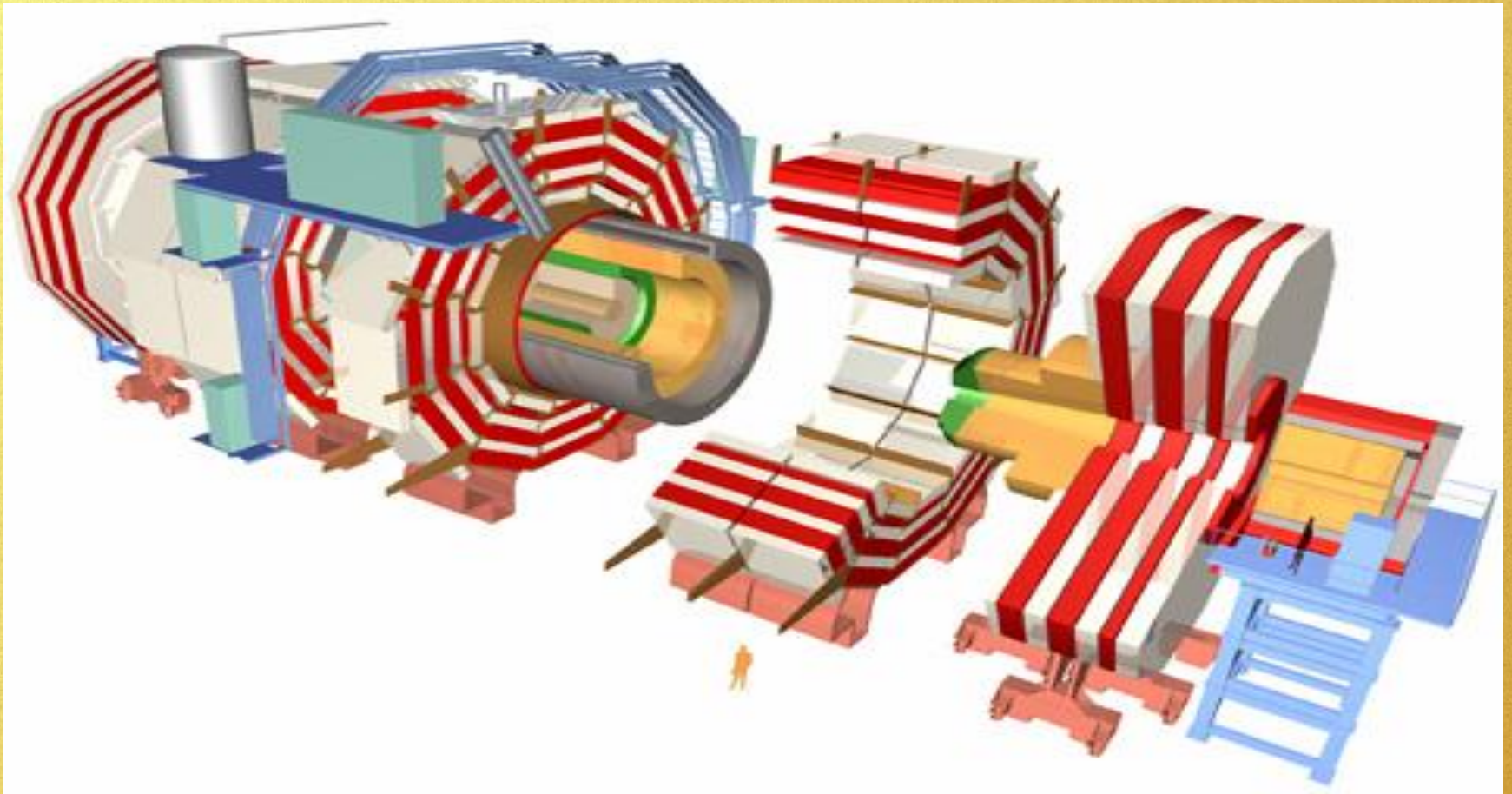
Uma foto do ALICE em jan 2008



ALICE @ LHC



O detector CMS: **C**ompact **M**uon **S**olenoid

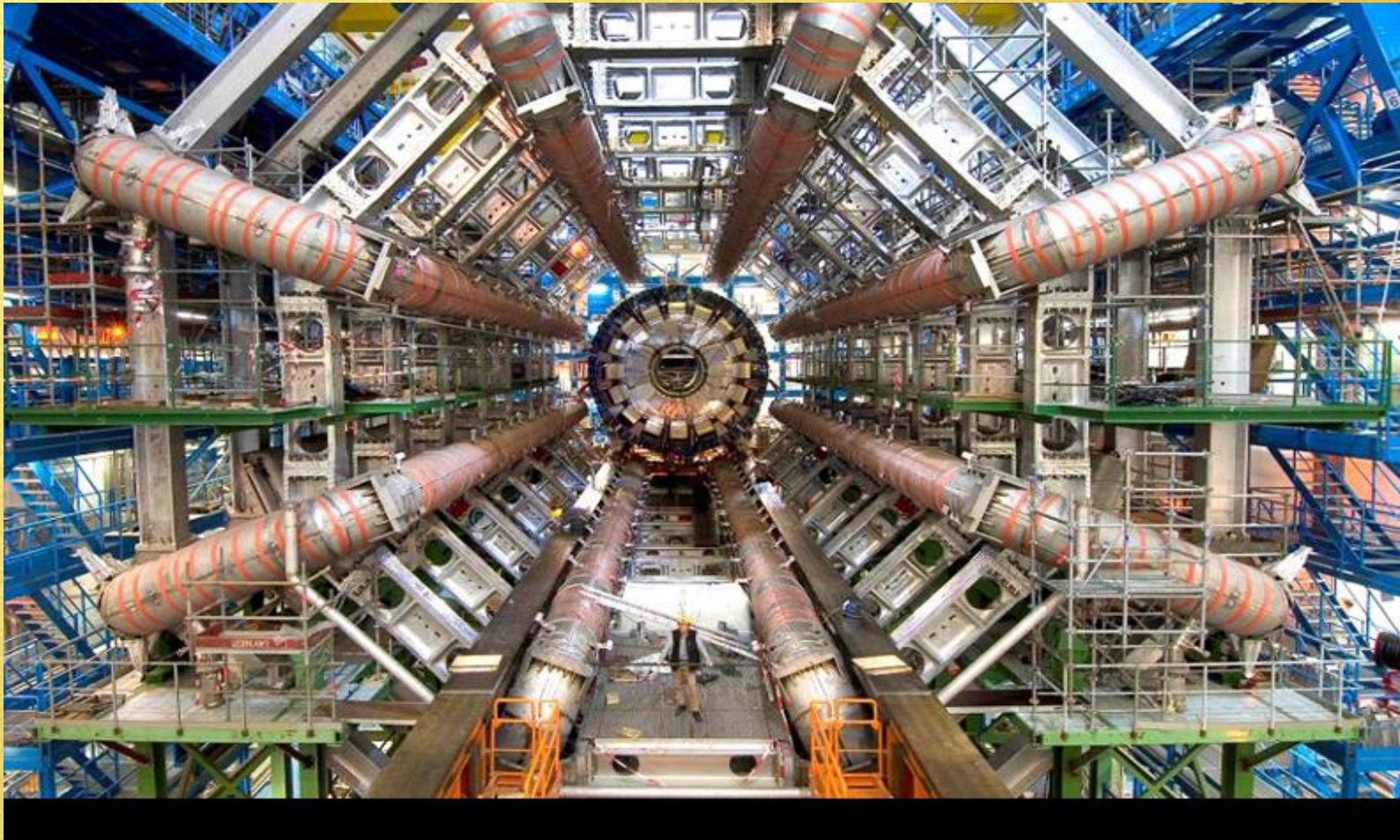


Dimensões: 21 m comprimento, 15 m largura, 15 m altura; peso: 12.500 toneladas..

Ainda no LHC...

***Dois outros experimentos dos quais
o Brasil também participa
(UNICAMP + ALICE & CMS)***

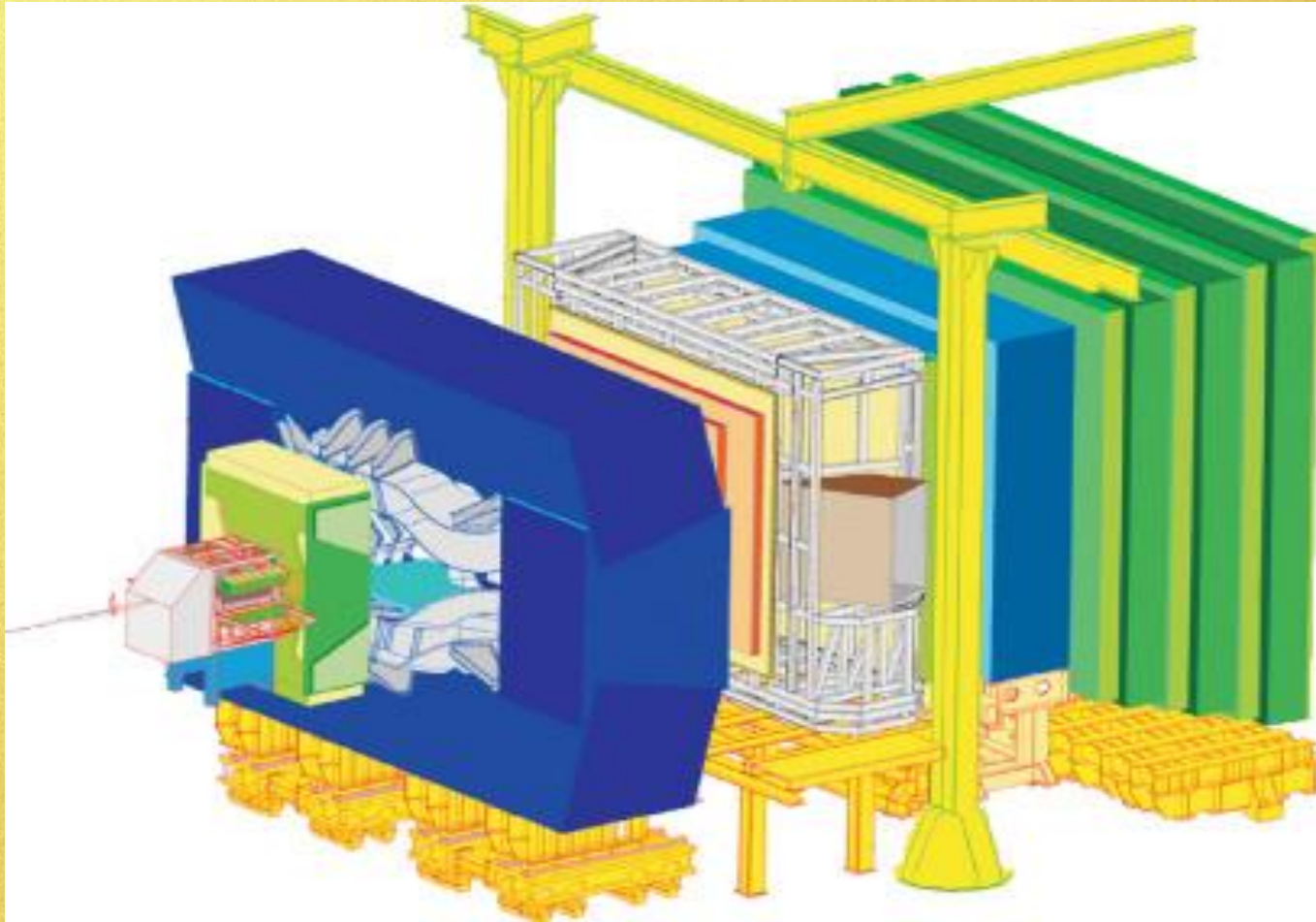
O detector ATLAS: **A** Toroidal **LHC** **A**pparatu**S**



Dimensões: 46 m comprimento, 25 m altura, 25 m largura; peso 7.000 toneladas. É o detector de partículas de maior volume já construído.

LHCb

Large Hadron Collider beauty



Dimensões: 21 m comprimento, 10 m altura e 13 m largura; peso: 5.600 toneladas

e isso é tudo ??

Sabemos responder agora a
pergunta do começo deste
seminário???

Vamos mudar um pouco :

Saindo do mundo das partículas
elementares e

.....passando para a **Cosmologia....**

(Nova área do conhecimento: Astropartículas)

de novo...

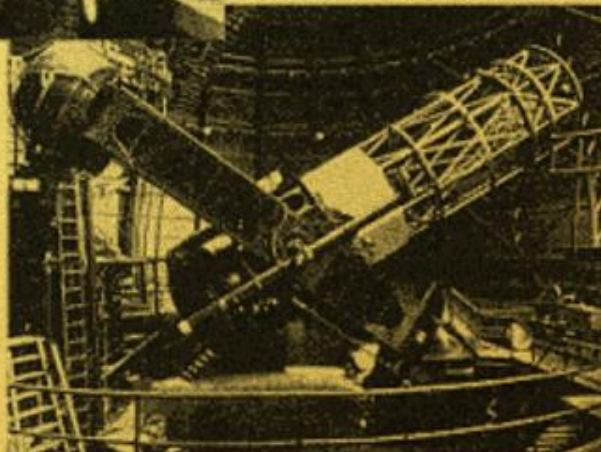
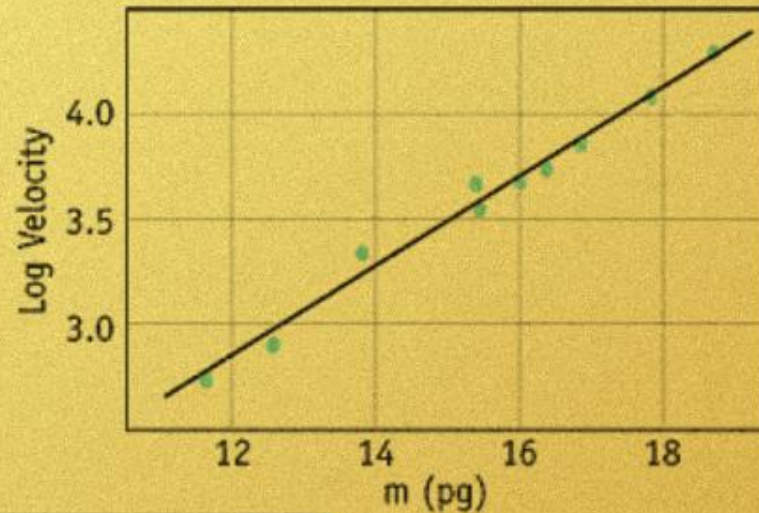
Falaremos aqui apenas de
conhecimento adquirido ou
comprovado por **experimentos...**

Edwin Hubble -1929

as galáxias se afastam de nós..

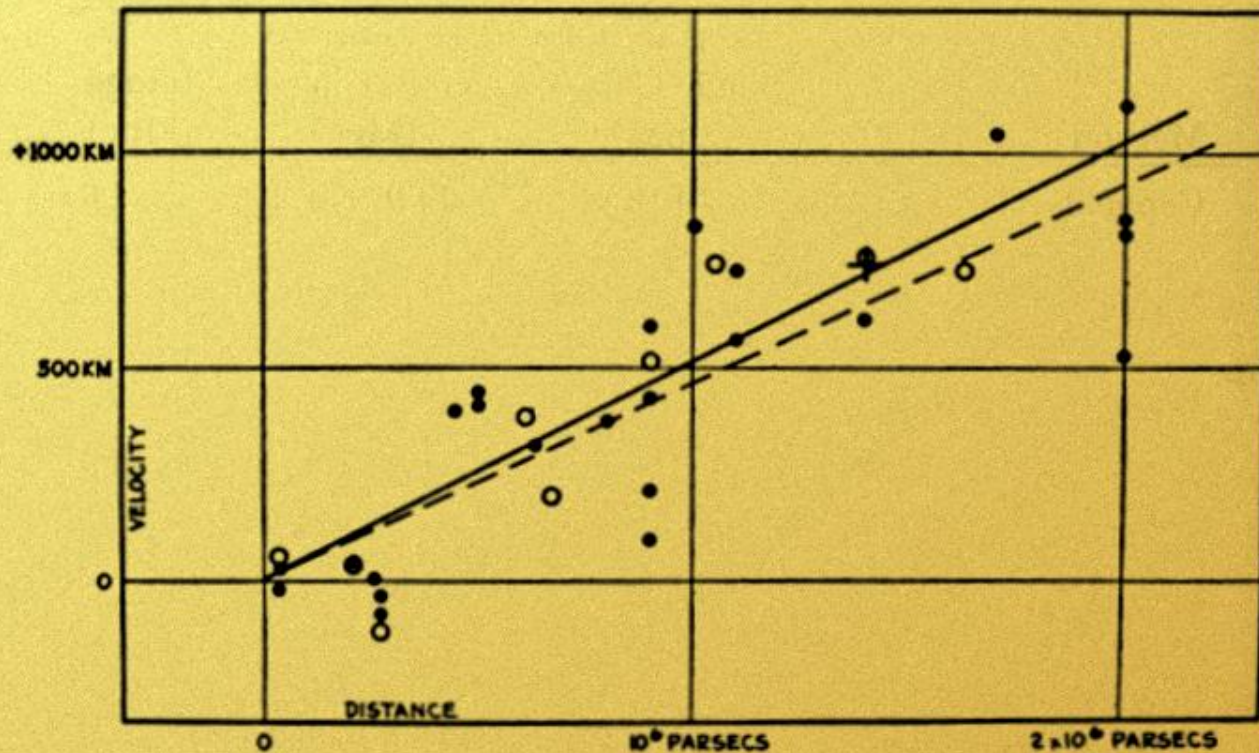


Edwin Hubble



Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

Os dados originais (1929)



**velocidade de afastamento de galáxias em função da distância
(por efeito Doppler!)**

Uma descoberta inesperada...

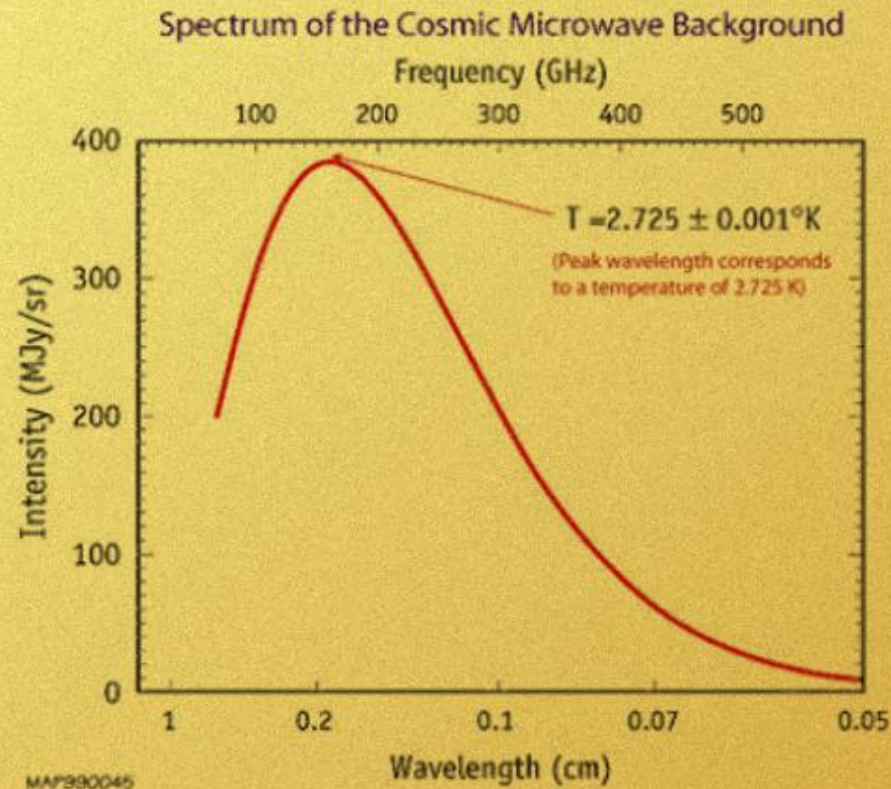
- 1965
- Penzias* e Wilson*
- Descoberta de uma radiação cósmica de fundo na faixa de micro-ondas



***Prêmio Nobel 1978**

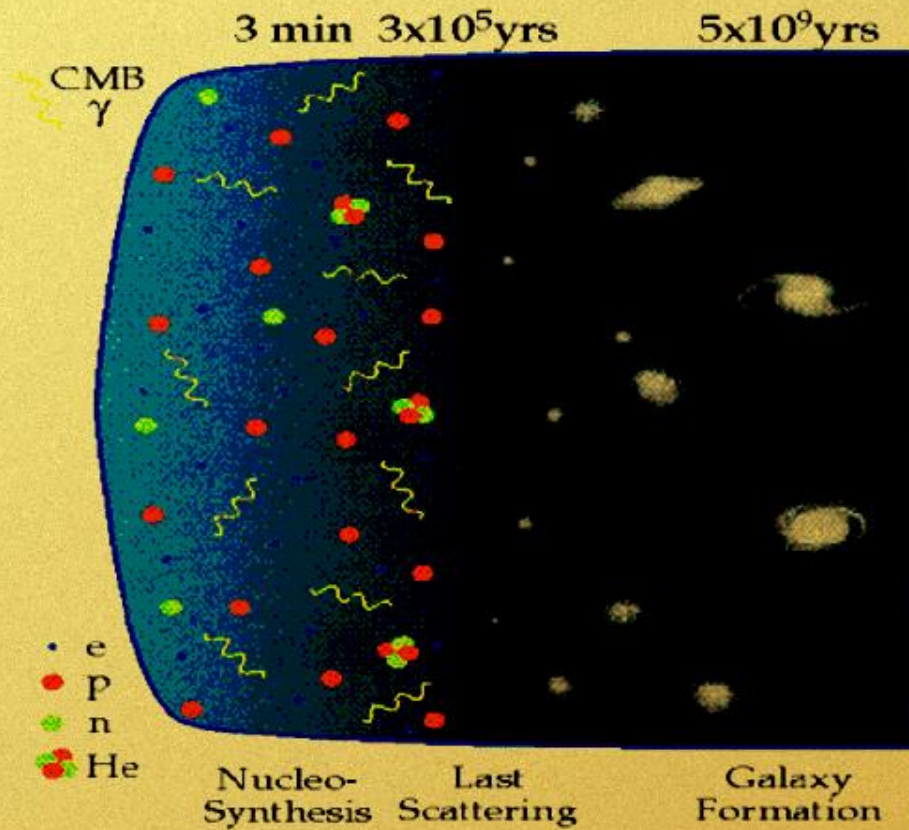
- **Em 1948 Gamow, Alpher e Herman já tinham previsto a existência de uma radiação de fundo remanescente do Big Bang**

O espectro da radiação de fundo: corpo negro!



uma breve história...

[Very] Brief History Of The Universe



mais um Prêmio Nobel...

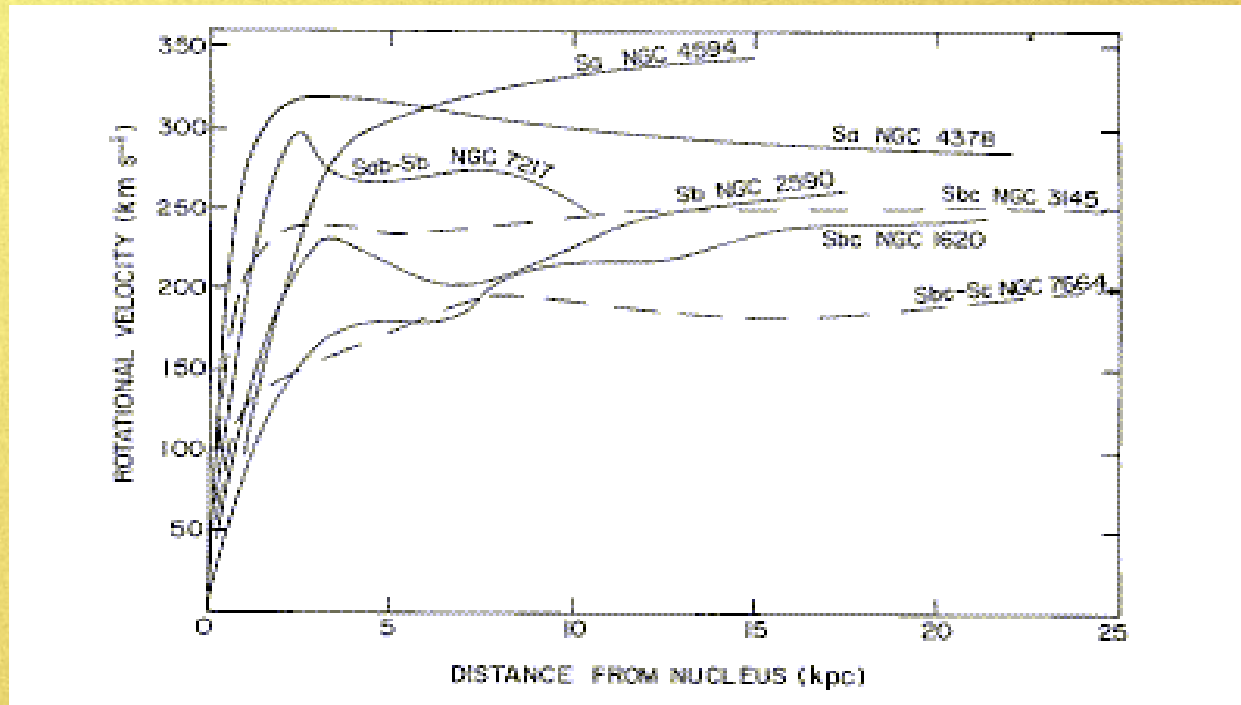
O cientista **John Mather**, da NASA, e **George F. Smoot**, da UC Berkeley, receberam o Prêmio Nobel de 2006 pela sua descoberta da forma de corpo negro e da anisotropia da radiação cósmica de fundo de micro-onda usando o Cosmic Background Explorer (COBE)

por outro lado...



a astrônoma Vera Rubin...

mediu...



Velocidades rotacionais de matéria interestelar (nuvens de hidrogênio ionizado - são as regiões HII em linguagem astrofísica) em 7 galáxias, em função da sua distância ao centro da galáxia.

os resultados de Vera..

indicam que, se supusermos que a mecânica newtoniana ainda é válida, há muito mais matéria numa galáxia típica em rotação do aquela que podemos de fato observar....

⇒ matéria escura

A ideia é velha...

- No início da década de 30 - os astrônomos Zwicky e Oort, independentemente, já haviam sugerido a existência de matéria escura.
- a proposta era baseada em observações do movimento de estrelas no disco na nossa galáxia e do movimento de galáxias dentro do aglomerado local de galáxias: as estrelas pareciam se mover rápido demais para estarem confinadas, mas **estavam confinadas!!**

Segundo Zwicky e Oort,...

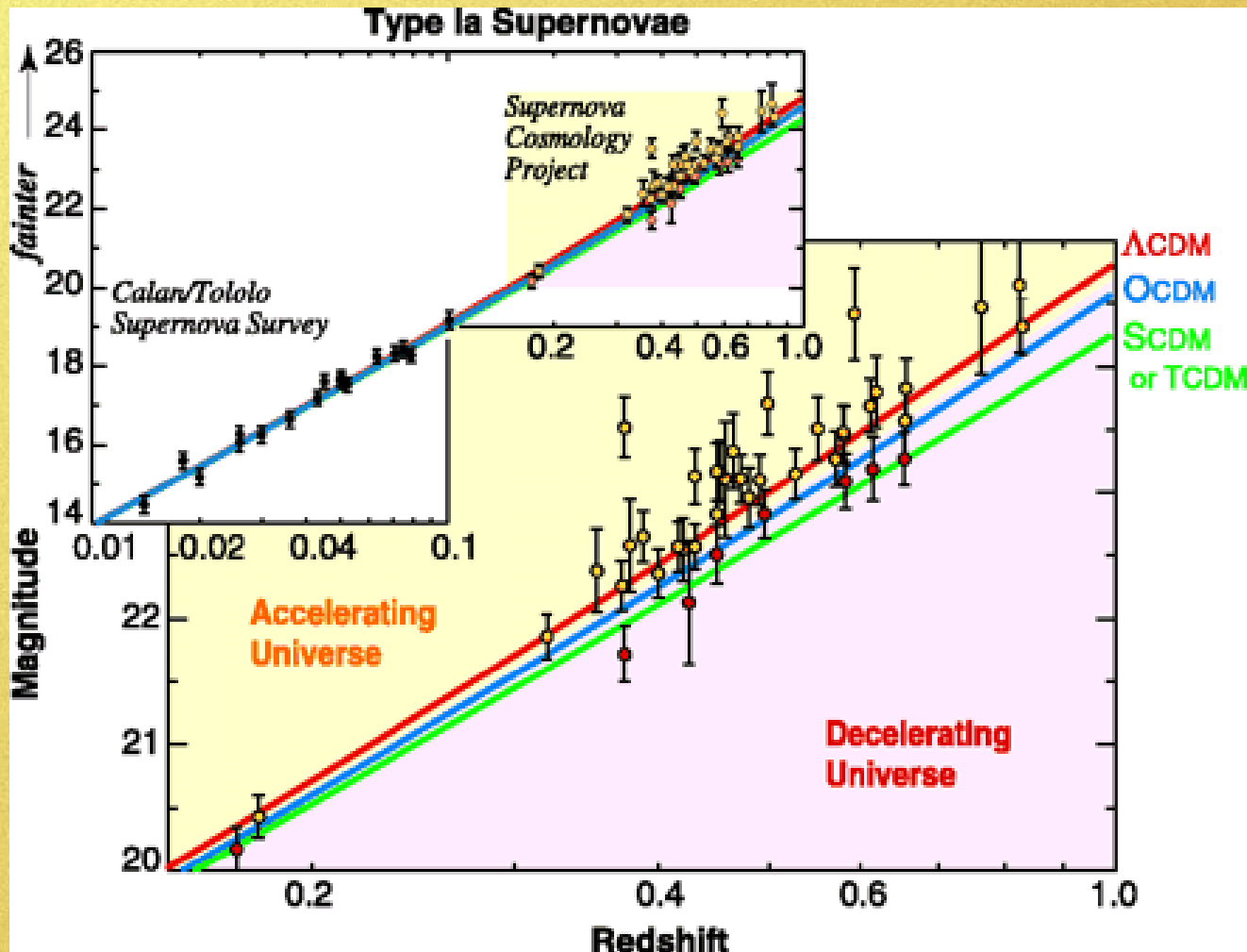
Parecia existir uma **matéria escura** que fosse responsável pela energia gravitacional adicional para manter essas estrelas e essas galáxias confinadas.

Observação inesperada..

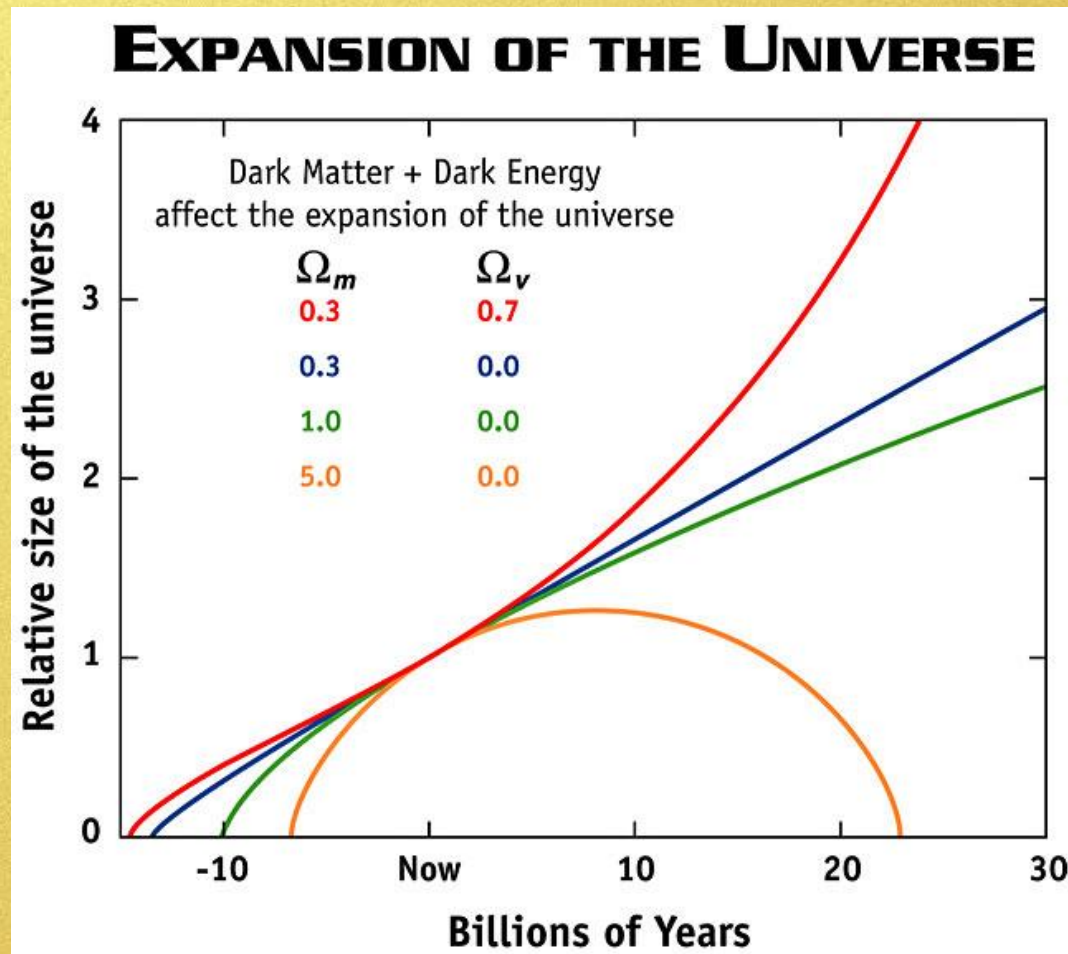
Ou seja a quantidade de matéria está aumentando com o raio..., ao contrário do que nos dizem as observações baseadas em luz emitida / absorvida pelas galáxias.. (galáxias mais luminosas no centro e luminosidade cai com o raio)

... Observação experimental não “casa” com teoria..

A última grande surpresa do século XX



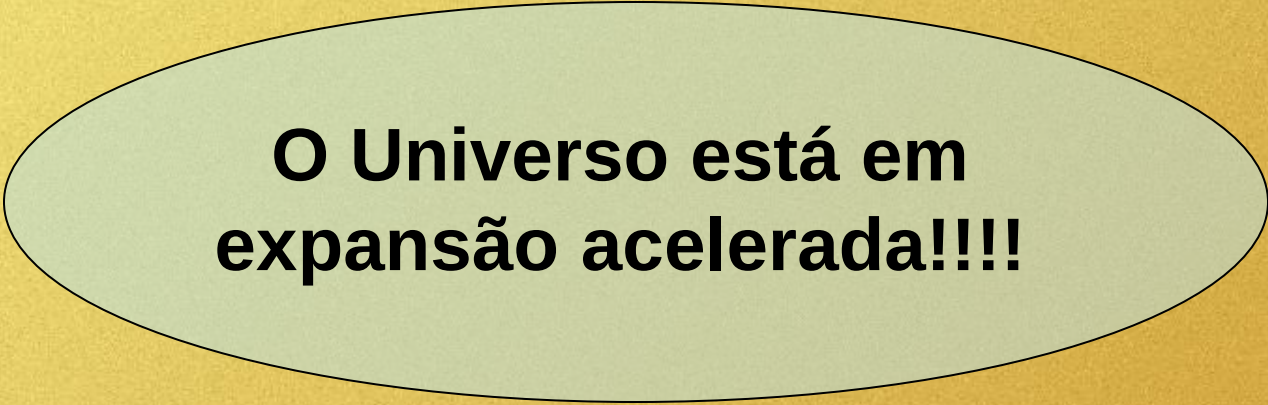
A expansão do Universo é acelerada...



Expansão acelerada....

1998- Revolução!

Dados experimentais de luminosidade de supernovas do tipo IA levam a uma conclusão :



**O Universo está em
expansão acelerada!!!!**

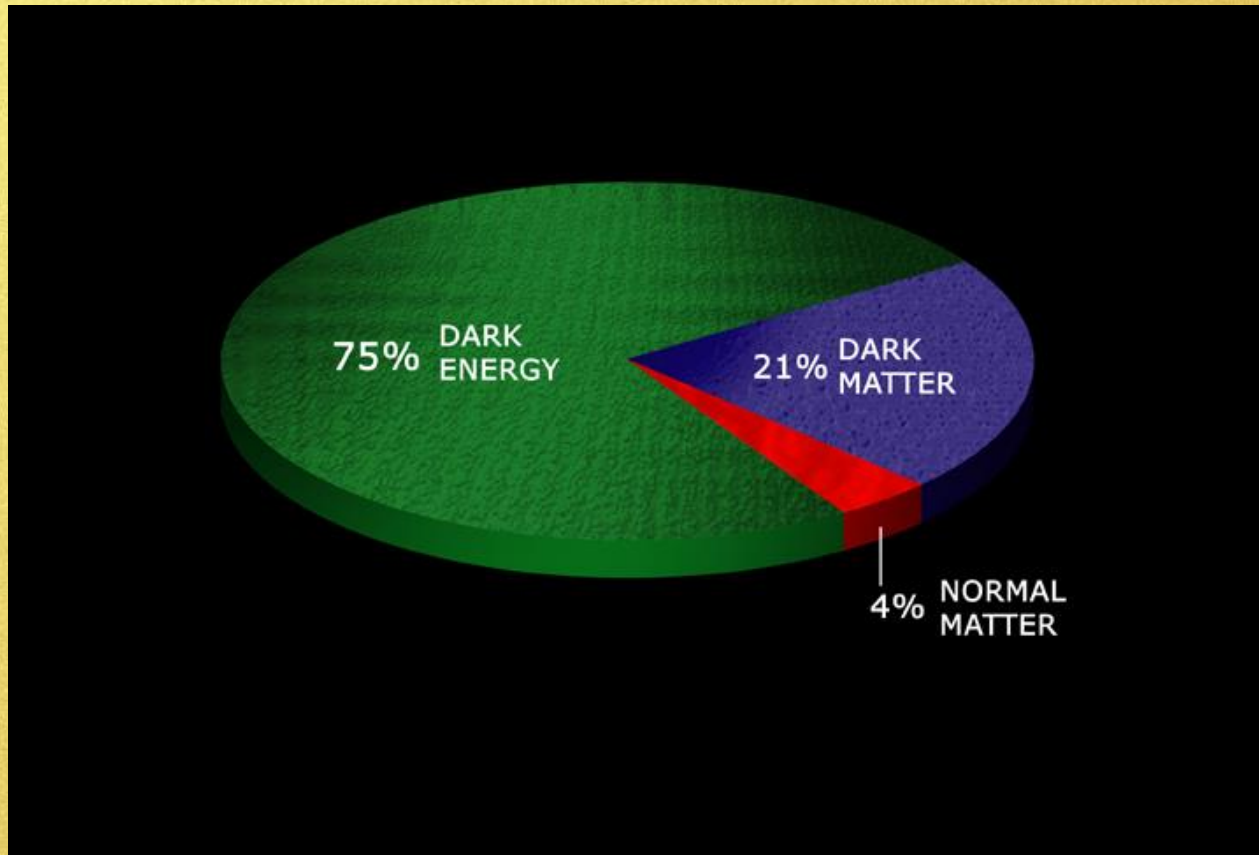
Como entender ??

- Não sabemos direito ainda!!
- Explicações?
- Existência de uma energia escura?
 - ❖ Forma exótica de energia com ação gravitacional repulsiva?
- Há uma constante cosmológica que compensa a gravidade, conforme previu Einstein?

A verdade é que...

Ainda há inúmeras perguntas sem resposta...

Segundo a previsão atual..



Então vemos que ainda não sabemos
responder totalmente as duas perguntas...

Conclusão

- Grandes avanços foram conseguidos no século XX graças a **ideias revolucionárias** e **grandes avanços tecnológicos**.
- O século XXI deverá assistir a outros avanços mais, que certamente surpreenderão..

É viver para ver.....

Muito obrigada pela atenção!

Classificação das partículas..

- 1º Critério : segundo o **spin** da partícula

spin	classificação	exemplos
semi-inteiro ($\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$)	férmion	$e, p, n, \mu, \nu, \Sigma$
inteiro ($0, 1, 2, \dots$)	bóson	γ, π, K

o spin.....

- Todas as partículas têm um momento angular intrínseco característico.
- A esse momento angular pode-se associar um número quântico s , que pode ser um número inteiro ou semi-inteiro, dependendo da partícula.
- Esse momento angular **NÃO** é $s\hbar$, como está no Halliday.

..... E daí???

férmions $\neq$ bósons

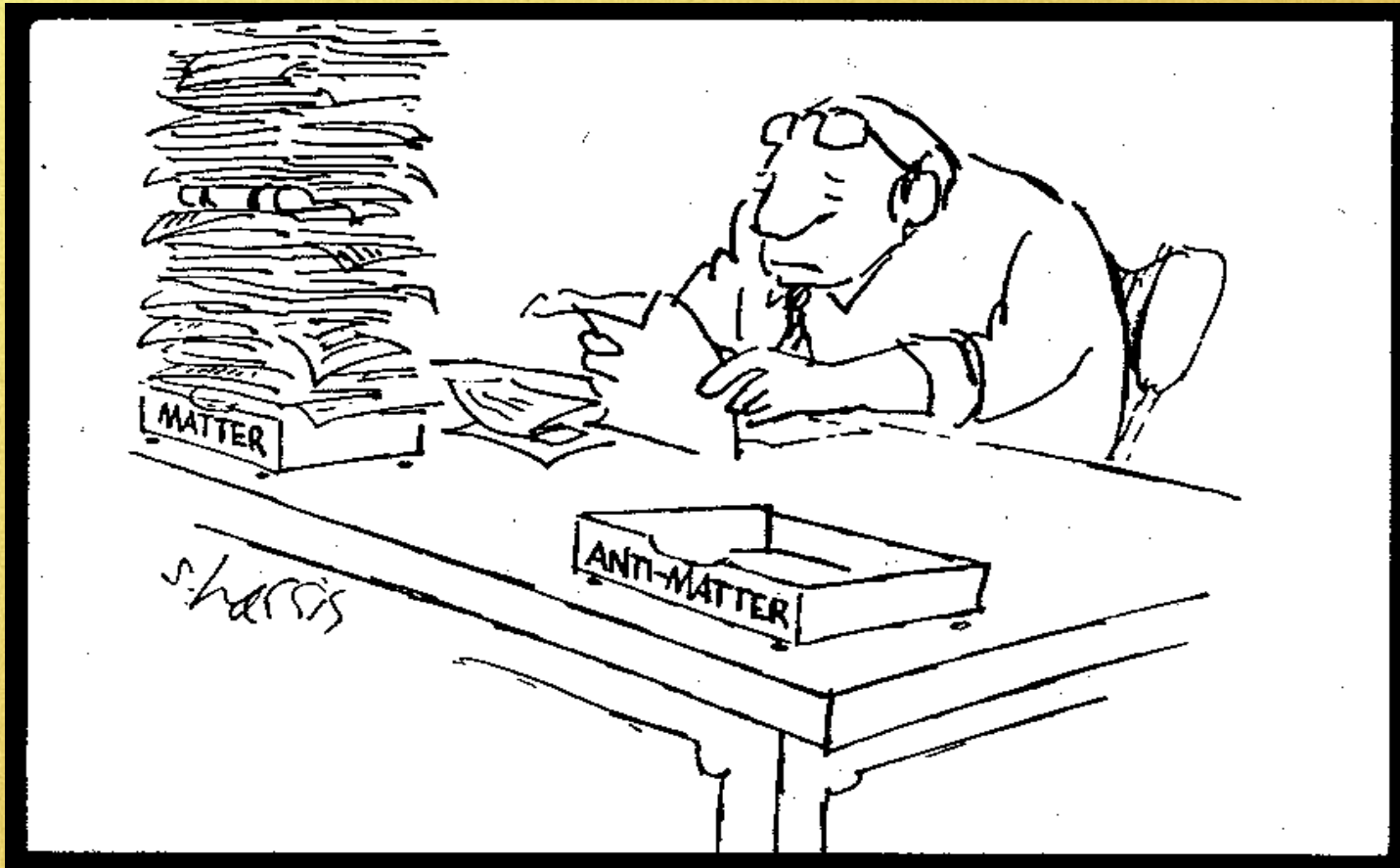
- Os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli (lembre dos elétrons nos orbitais atômicos.....);
- Os férmions são sempre produzidos aos pares e também se aniquilam aos pares.

2º critério :

partícula x antipartícula.

- Mas como é que vamos descobrir ????
- O elétron, o múon negativo, o próton e o nêutron são considerados **partículas** (constituintes da matéria).
- O pósitron, o múon positivo, o antipróton, o antinêutron são considerados **antipartículas..**

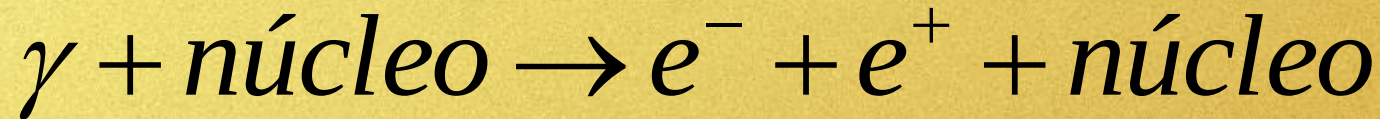
uma bela pergunta....
cadê a antimatéria???



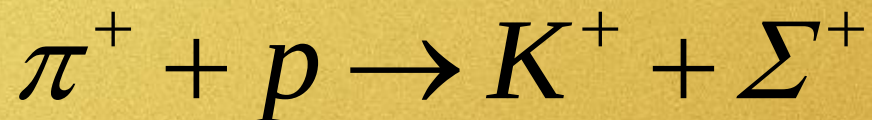
Na procura por regularidades..

Uma observação foi essencial:

- Já se conhecia a produção de pares:



- Observou-se que algumas partículas eram **sempre** produzidas aos pares; p.ex.



Estranheza....

- Gell-Mann e Nishijima tiveram a ideia de associar às partículas um número quântico S , que foi batizado de **estranheza**.
- Na produção esse número seria conservado (em analogia com a carga elétrica total na produção de pares e^+e^-):

$$\pi^+ + p \rightarrow K^+ + \Sigma^+$$

S	0	0	$+1$	-1
-----	-----	-----	------	------

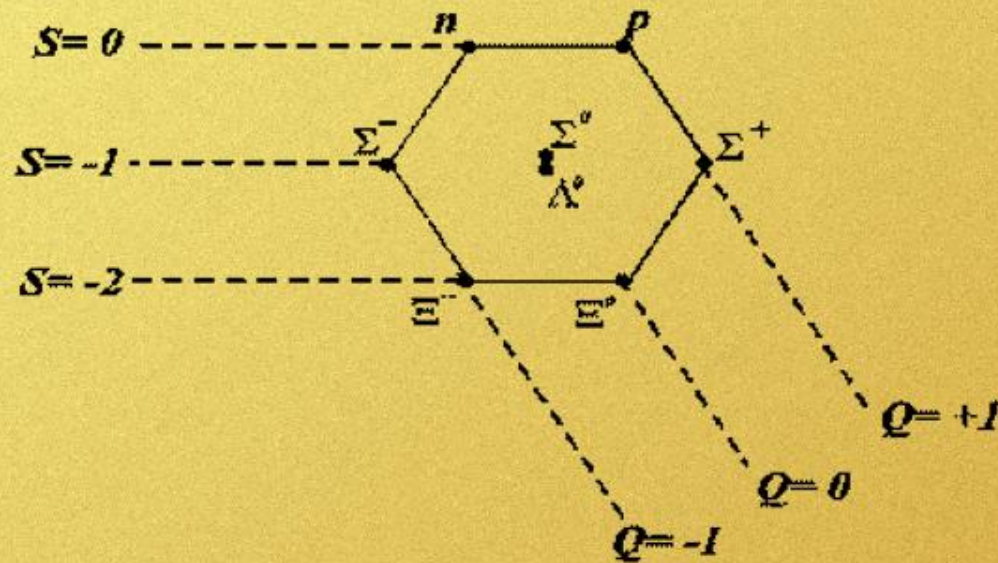
Observação de regularidades

1961- Gell-Mann*(também independentemente Ne'eman) resolveram agrupar os mésons conhecidos e os bárions conhecidos em figuras planas usando como eixos a estranheza e a carga elétrica:

S e Q .

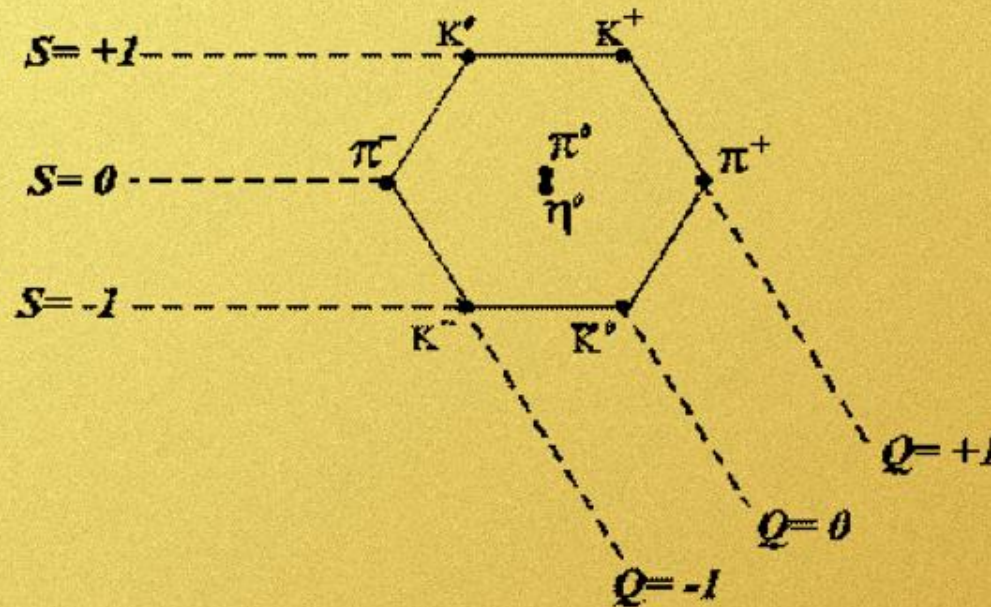
*Prêmio Nobel 1969

Figuras misteriosas...



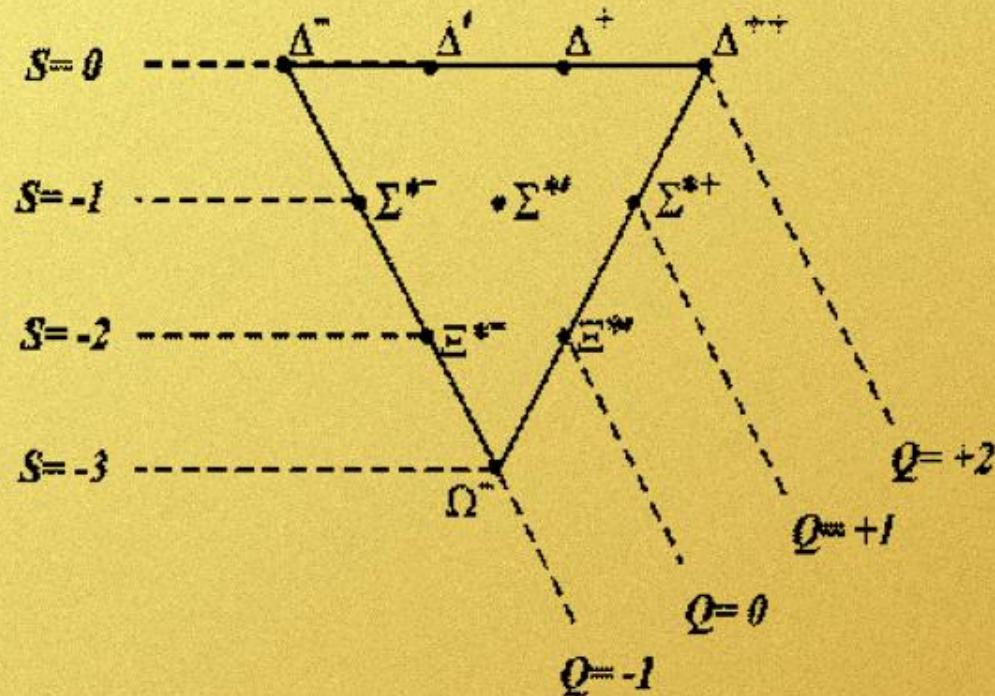
para os oito bárions com spin $\frac{1}{2}$
conhecidos na época (1961)..

E também...



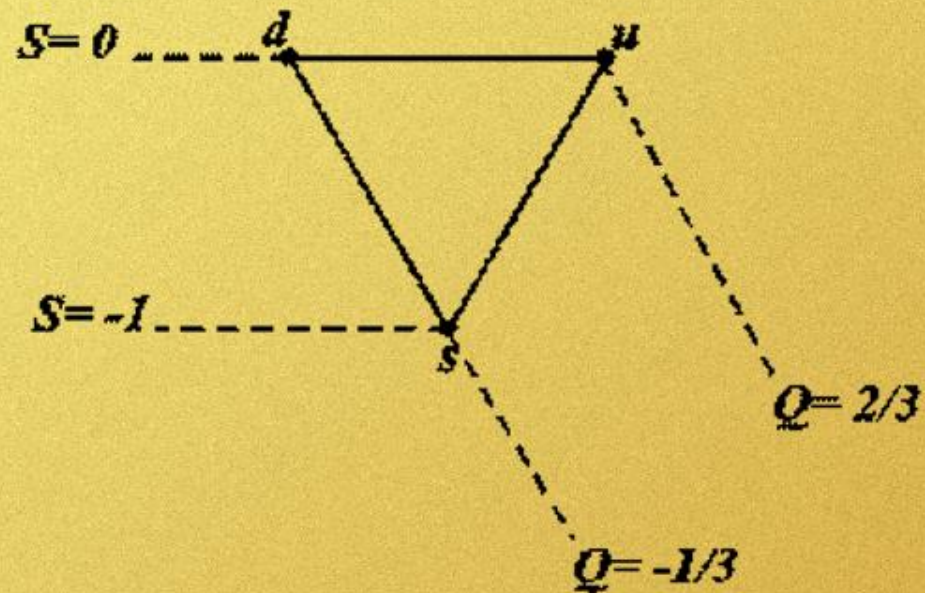
para os oito mésons de spin 0 conhecidos na época (1961) - são na verdade nove, mas o nono ainda não era conhecido

Além de..

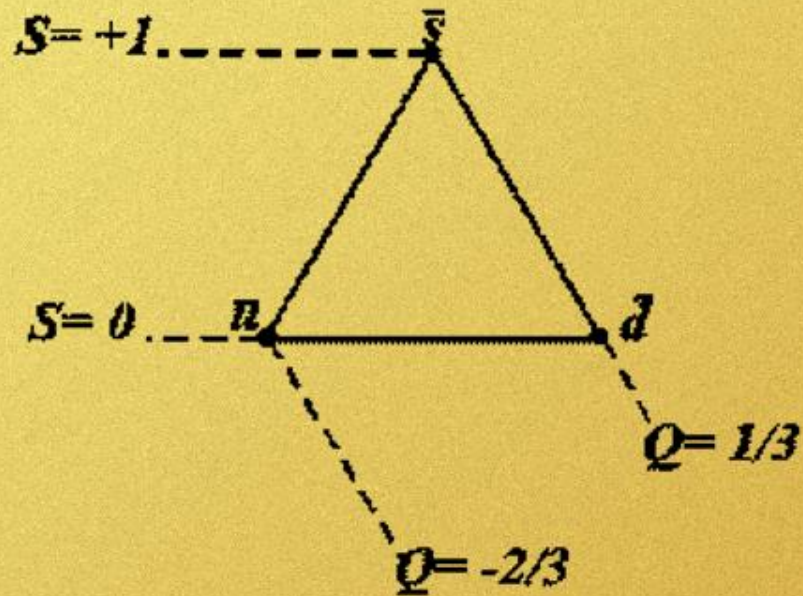


para os bárions de spin $3/2$ conhecidos na época:
 previsão da existência do Ω^{-} , logo depois descoberto
 experimentalmente

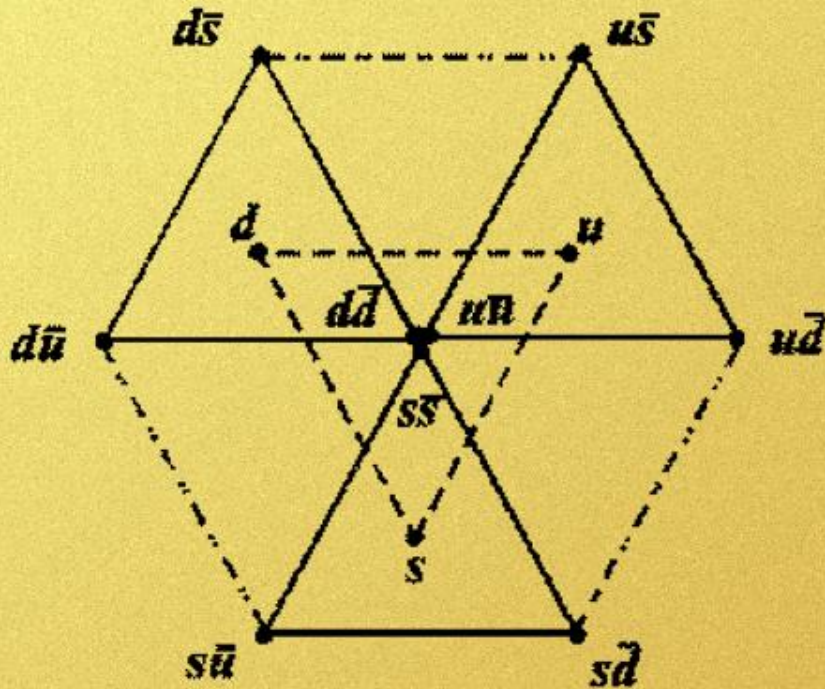
As figuras dos quarks...



dos antiquarks..

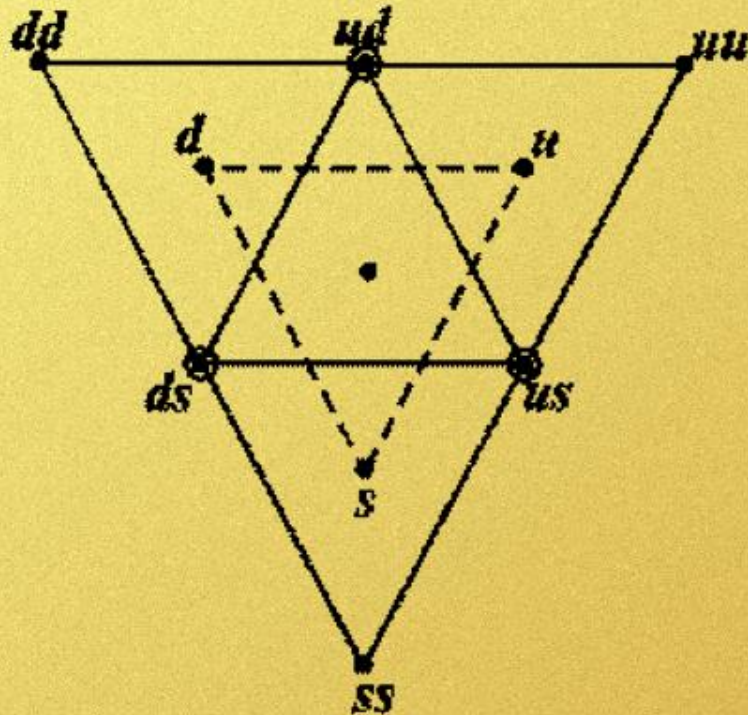


e as figuras misteriosas..



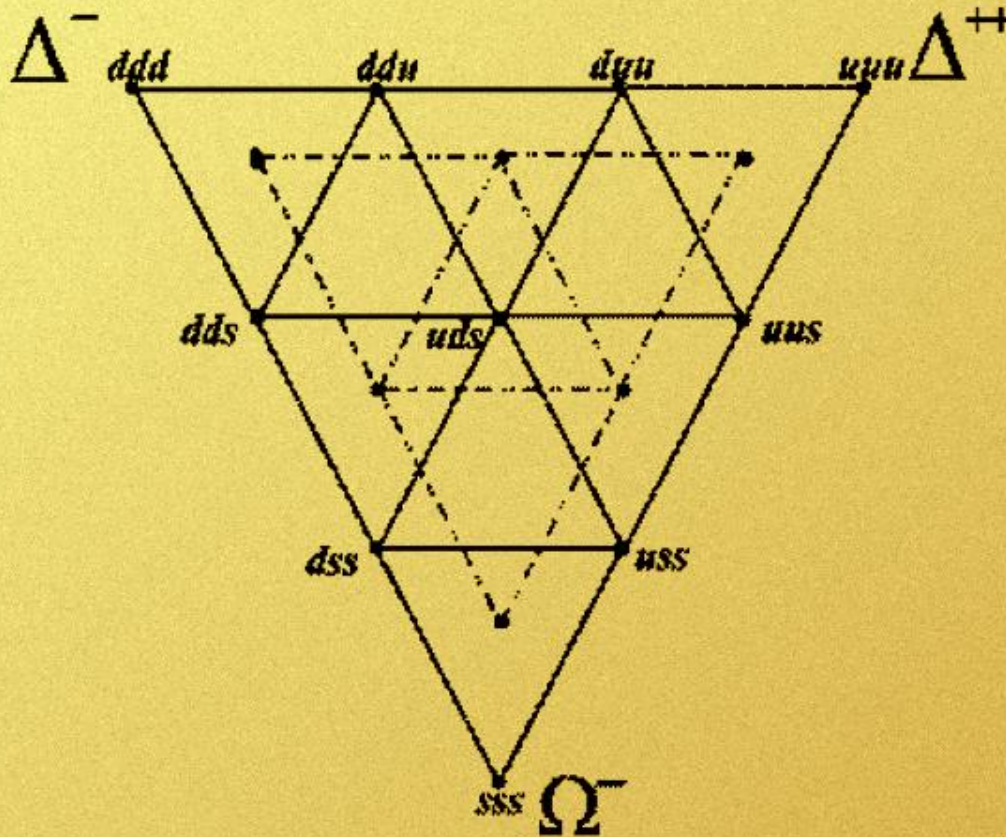
$q\bar{q}$

não são mais misteriosas....



qq

tudo no seu lugar....

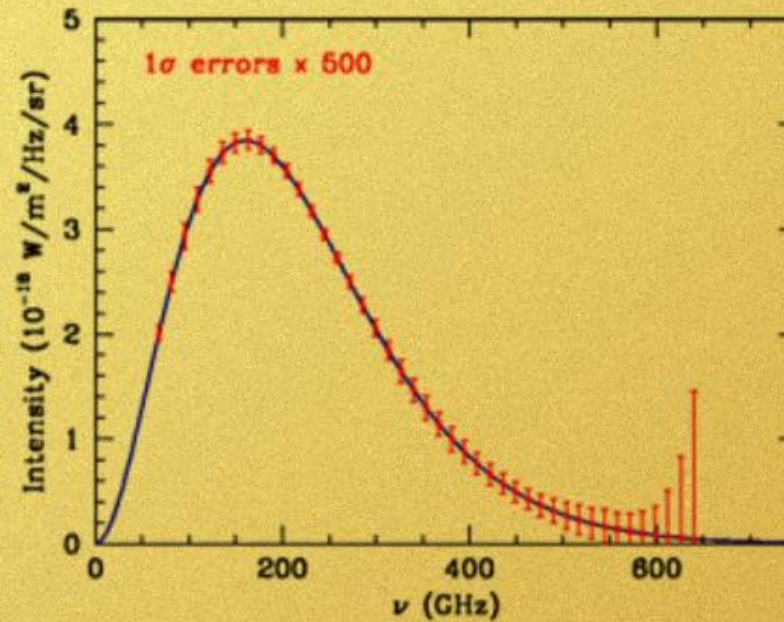


qqq

Ecos do Big Bang...

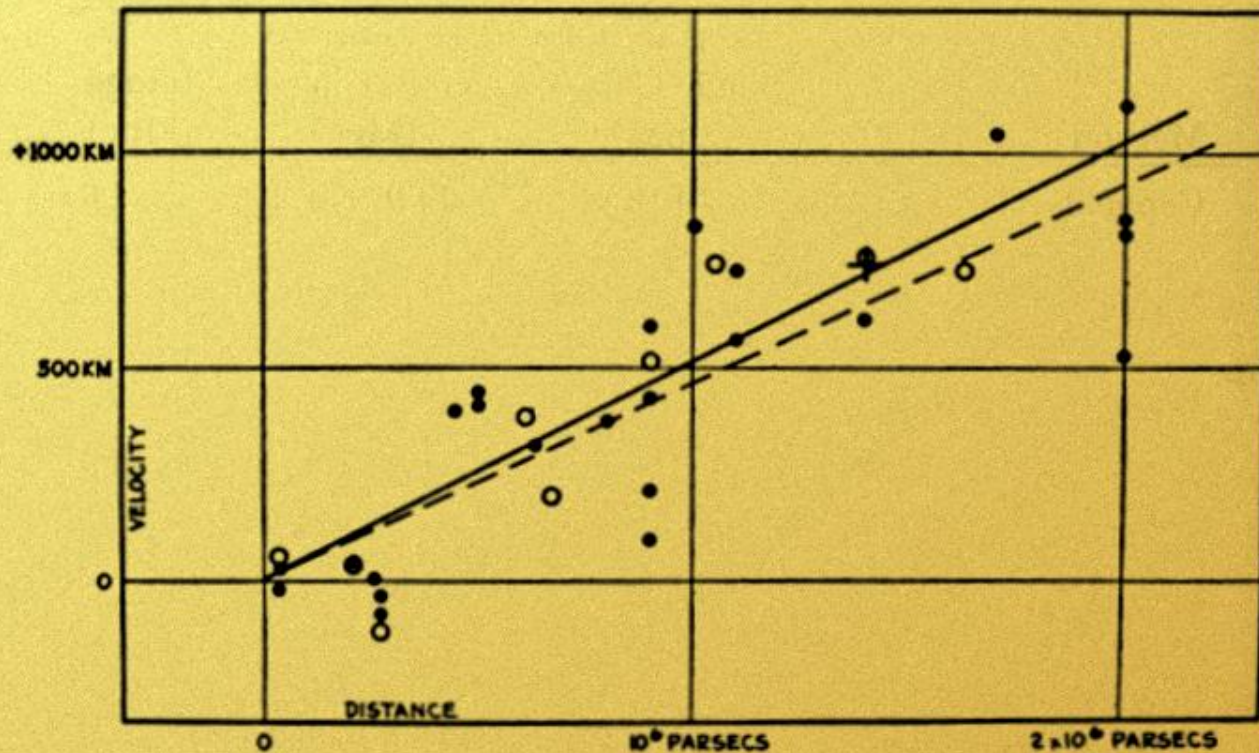
- Penzias e Wilson estavam testando uma **antena** para detectar **micro-ondas** que era bastante sensível.
- Eles observaram um **ruído de fundo** constituído de micro-ondas.
- Por mais que tentassem, não conseguiram eliminar este ruído: a causa do ruído parecia estar em todos os lugares e vir de todas as direções no céu!!
- Todos tentaram convencer os dois de que o ruído provinha da própria antena.
- Eles então tomaram todos os cuidados com o instrumento, inclusive resfriando-o a baixas temperaturas.
- Nada: o ruído continuava lá!!
- O que eles estavam detectando?? **Os ecos do Big-Bang!**

Ecos do Big Bang...



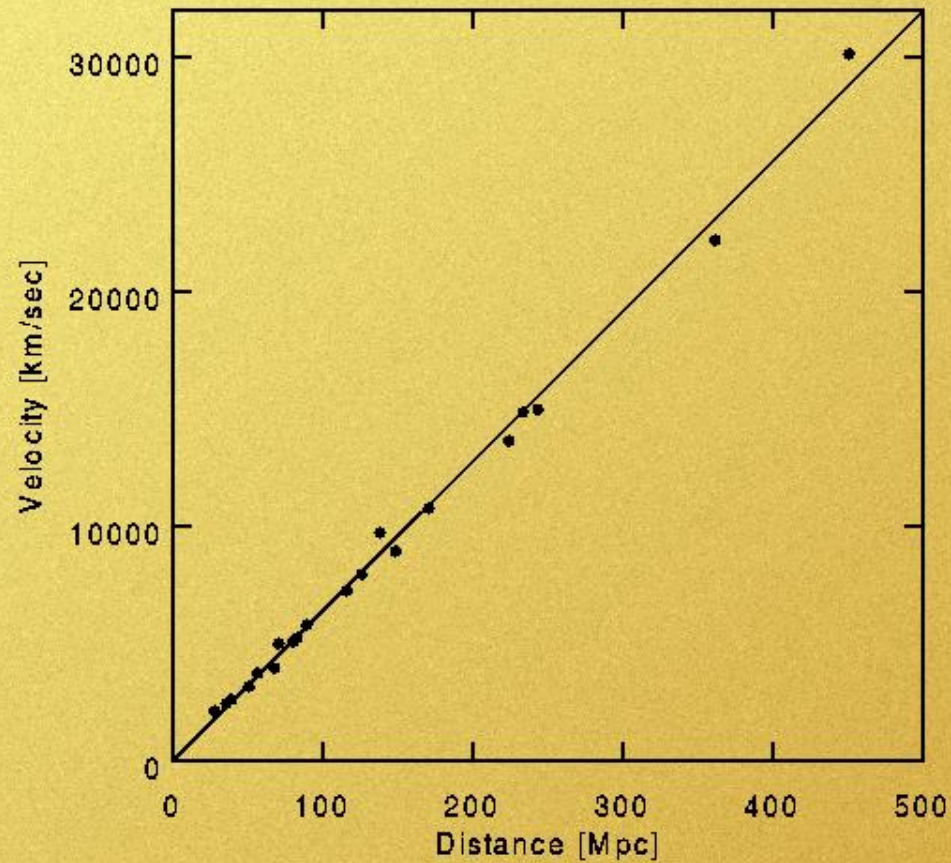
veja Halliday Cap. 43

Os dados originais (1929)

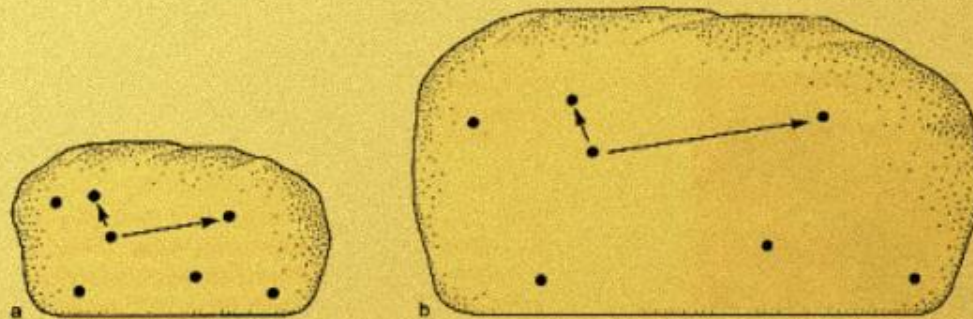


**velocidade de afastamento de galáxias em função da distância
(por efeito Doppler!)**

mais medidas..



comparação com um panetone crescendo...



cada passa se afasta das outras ...

A lei de Hubble

$$v = H_0 \cdot d$$

- v é a velocidade de afastamento das galáxias
- d é a sua distância até nós
- $H_0 \Rightarrow$ constante de Hubble = 71 ± 4 km/s /Mpc

o universo ainda no berço...

- **O universo era:**

- ❖ um bilhão de vezes menor;
- ❖ preenchido de um plasma quente de 3600 graus, semelhante à superfície do Sol;
- ❖ opaco e praticamente homogêneo.

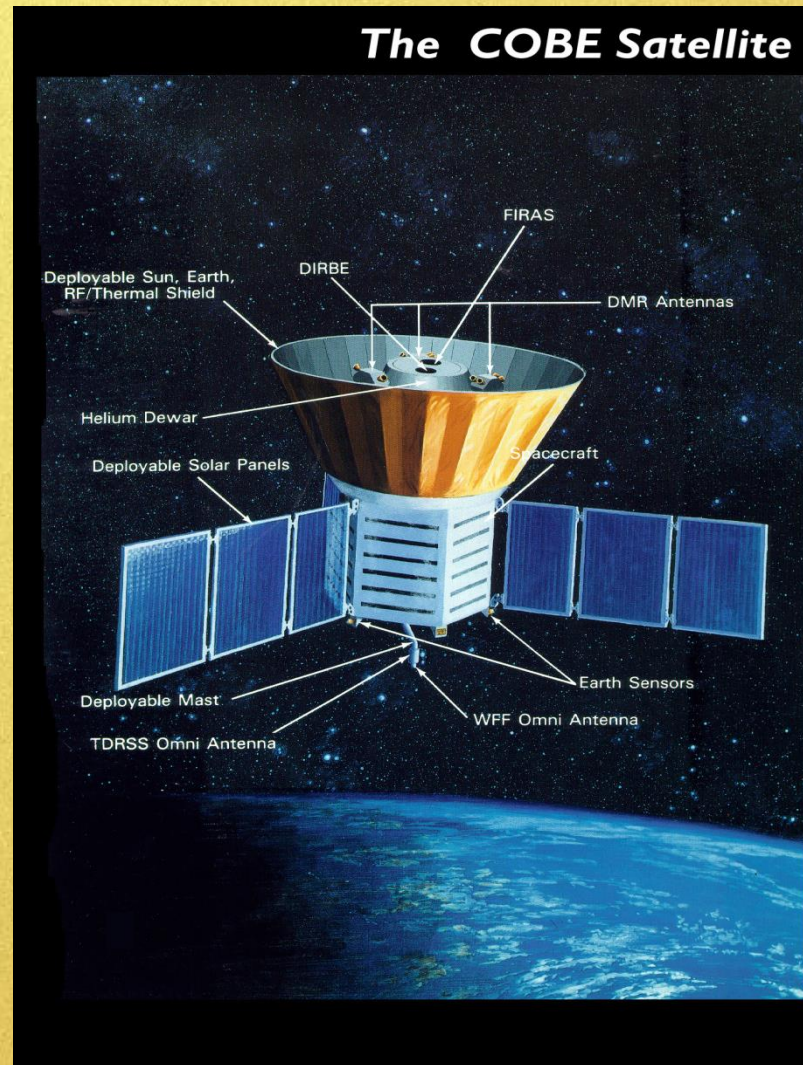
380 000 anos após o Big Bang...

- **Finalmente: o universo se torna transparente!**
- Elétrons e prótons formam átomos de hidrogênio;
- Os fótons que faziam parte do plasma podem agora se propagar livremente em todas as direções (isso em todo o universo);
- Devido à expansão do universo nós os vemos deslocados para o vermelho (efeito Doppler!) e hoje constituem a radiação cósmica de fundo de micro-ondas.

medidas mais precisas

- foram obtidas com o experimento **COBE** (**C**osmic **B**ackground **E**xplorer) em missão com satélite da NASA : 1989-1993
- medidas de precisão com o **FIRAS** (**F**ar **I**nfrared **A**bsolute **S**pectrophotometer)
- diferenças (flutuações no fundo de micro-onda) medidas com os **DMR** (**D**ifferential **M**icrowave **R**adiometers)
- o fundo no infravermelho medido com **DIRBE** (**D**iffuse **I**nfrared **B**ackground **E**xperiment)

COBE- A visão do artista

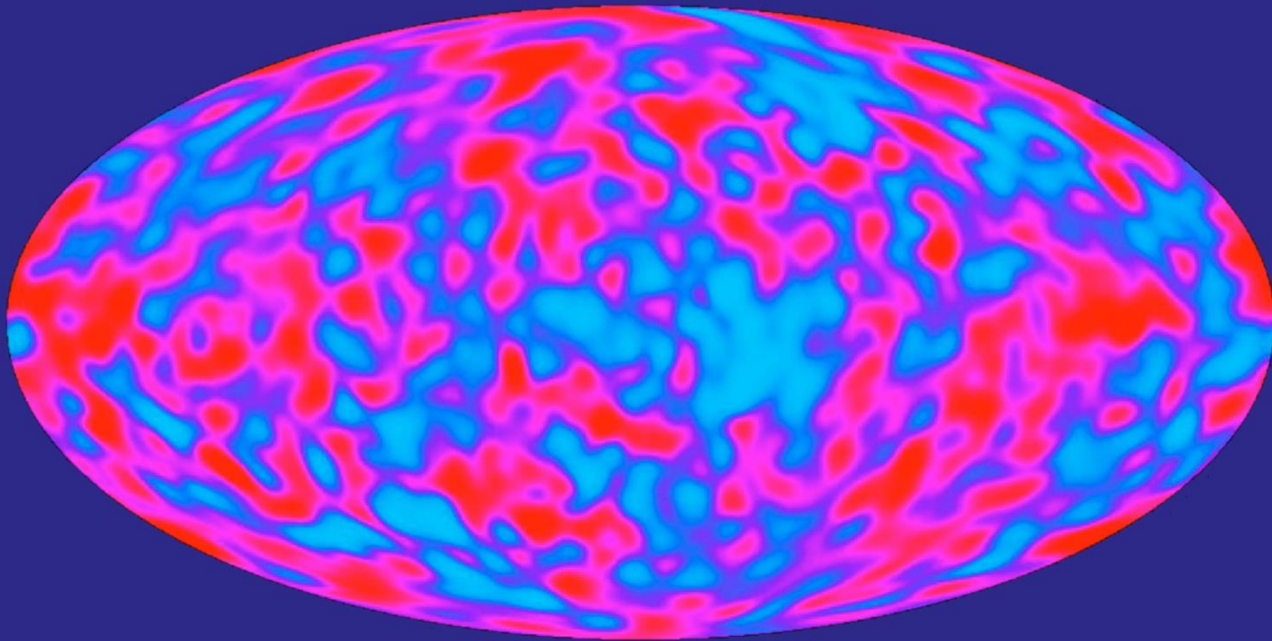


380 000 anos após o Big Bang...

- Pequenas oscilações no plasma revelam flutuações de densidade: há regiões mais densas e menos densas;
- Estas flutuações na radiação cósmica de fundo foram medidas com o satélite COBE.

Resultados do COBE

DMR's Two Year CMB Anisotropy Result



mapa mundi...

- Este gráfico é análogo a um mapa mundi: projeção de uma esfera sobre um plano!!



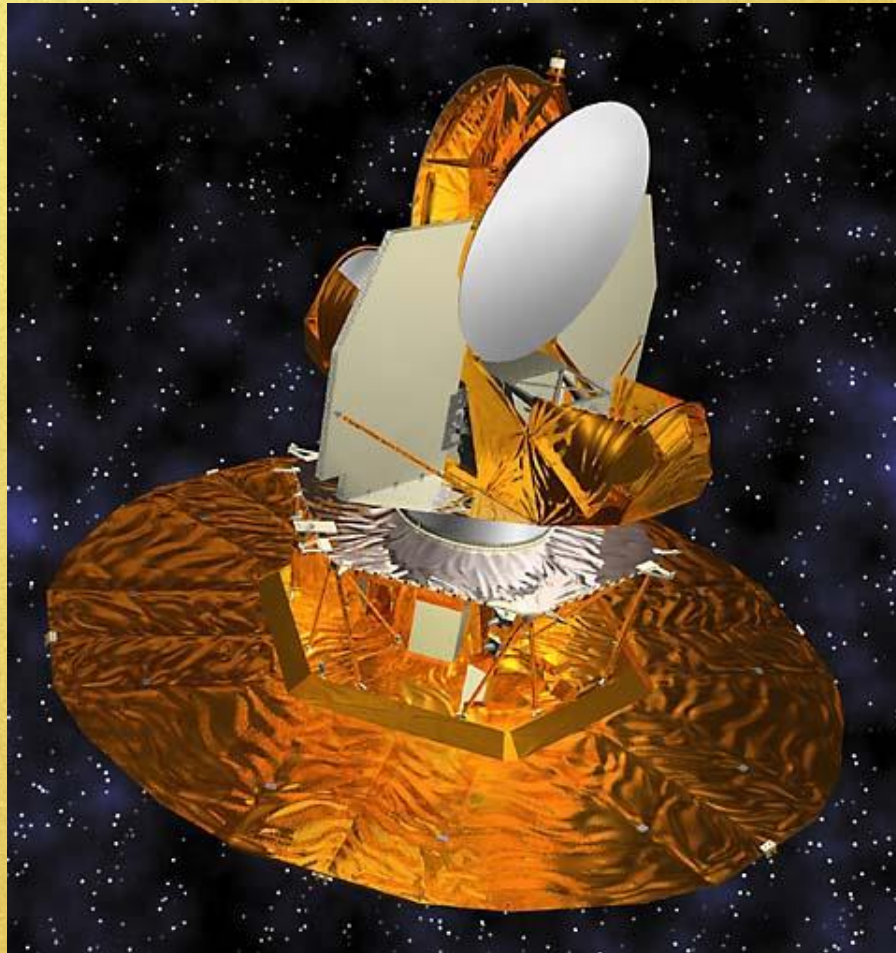
Só que neste caso...

- Cada ponto representa uma direção no céu, em coordenadas galáticas!
- O centro galático está no centro da figura!
- A única diferença: no mapa mundi você está fora da esfera e aqui você está dentro da esfera!!!

mais um Prêmio Nobel...

O cientista **John Mather**, da NASA, e **George F. Smoot**, da UC Berkeley, receberam o Prêmio Nobel de 2006 pela sua descoberta da forma de corpo negro e da anisotropia da radiação cósmica de fundo de micro-onda usando o Cosmic Background Explorer (COBE)

medidas mais recentes: WMAP

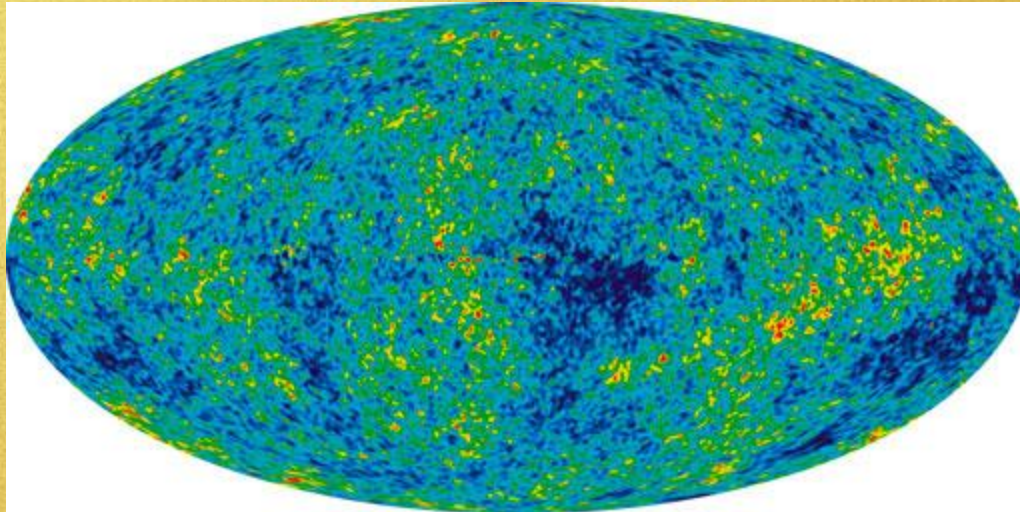


WMAP

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe :

Missão da NASA para medir a temperatura da radiação cósmica de fundo sobre todo o céu com precisão sem precedentes!!!

Há 380.000 anos:



pelo que sabemos da mecânica...

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$GM(r) = v^2 r$$

O que dizem os resultados experimentais??

Que v^2 é constante em função de r

Portanto: $M(r) \propto r$

O exemplo da figura anterior..

- Vide evento observado pelo STAR no RHIC em uma colisão de feixes de íons de ouro, cada um com momento 100 GeV/c. Os traços indicam as trajetórias das milhares de partículas subatômicas produzidas na colisão, quando passam do detector (TPC-Time Projection Chamber), que funciona como uma grande câmara digital 3D

Por que o LHC ???

- Nas últimas décadas, os físicos têm sido capazes de descrever cada vez com mais detalhes as partículas fundamentais que compõem o universo, bem, como as interações entre elas. Este conhecimento está englobado no **Modelo Padrão da Física de Partículas**, porém vimos que este modelo tem **lacunas** e ainda não pode nos revelar todos os segredos.
- Para preencher as lacunas no conhecimento das partículas e suas interações, não necessários novos dados experimentais e o **LHC** representa o próximo passo nessa direção.

O que o LHC pode revelar??

- Bóson de Higgs?
- Alguma partícula supersimétrica, por exemplo, o neutralino (candidato a partícula da matéria escura)?
- O QGP?
- Violação de CP e uma solução do enigma matéria x antimatéria ?
- A existência de dimensões extras?

O LHC poderia revelar :

partícula	parceira	designação	spin
quark	squark	$\tilde{q}$	0
lépton	slépton	$\tilde{l}$	0
neutrino	neutralino	$\tilde{\nu}$	0
glúon	gluíno	$\tilde{g}$	$\frac{1}{2}$
bóson W	wino	$\tilde{W}$	$\frac{1}{2}$
fóton	fotino	$\tilde{\gamma}$	$\frac{1}{2}$
Higgs	Higgsino	$\tilde{h}$	$\frac{1}{2}$
graviton	gravitino		$\frac{3}{2}$

A verdade é que...

Ainda há inúmeras perguntas sem resposta...

- Massa das partículas: o bóson de Higgs!! (Englert & Higgs- 2014)
- Onde está a antimatéria?
- Existem partículas supersimétricas?
- Existe a matéria escura?
- Existe a energia escura?
- Existem dimensões extras?
- Consegue-se separar os quarks de dentro dos hádrons e produzir o plasma de quarks e gluons?

Classificação das partículas..

- Um critério : segundo o **spin** da partícula

spin	classificação	exemplos
semi-inteiro ($\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$)	férmion	$e, p, n, \mu, \nu, \Sigma$
inteiro ($0, 1, 2, \dots$)	bóson	γ, π, K