

HISTÓRIA DOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS

LISHEP 2018 Instituto de Física - UFBA Setembro de 2018

Newton Oliveira

O que são esses aceleradores?

Máquinas capazes de imprimir altas velocidades (acelerar) em corpos eletricamente carregados.

Para que servem os aceleradores?

- Para produzir feixes de partículas velozes (alta energia).
- Para produzir feixes de fótons (UV e Raios-X) com altas intensidades (altas taxas de fótons por unidade de tempo).

Aplicações:

- Experimentos e estudos em física da matéria condensada.
- Indústria eletrônica (soldagem com feixes de elétrons, litografia na fabricação de CI, raios-X industriais).
- Nas áreas biomédica e biofísica: feixes de partículas para tratamento de câncer, raios-x para radiografias e tomografias, raio-x para tratamento de câncer.
- Produção de isótopos radioativos.

Experimentos em física nuclear.

 Experimentos em física de partículas (choque em alvo fixo e choque entre partículas).

Histórico:

 Descoberta do núcleo atômico em 1911 por Ernest Rutherford utilizando partículas alfa de fontes radioativas naturais (Ra e Th) para bombardear átomos de ouro. A energia disponível está limitada à natureza da fonte (aprox. 6 MeV). Origens da necessidade de acelerar partículas:

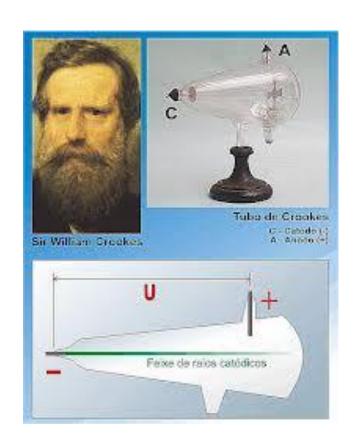
 Para quebrar o núcleo atômico é necessário uma energia maior que a barreira de energia potencial coulombiana.

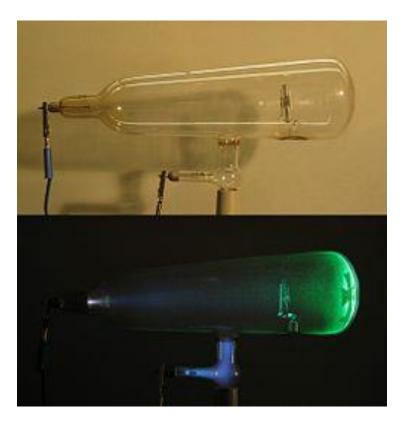
 As energias e as intensidades precisam ser controladas.

- Primeiro acelerador: A ampola de Crookes (William Crookes1832-1919).
- Os raios catódicos são partículas negativas emitidas pelo catodo (1878).

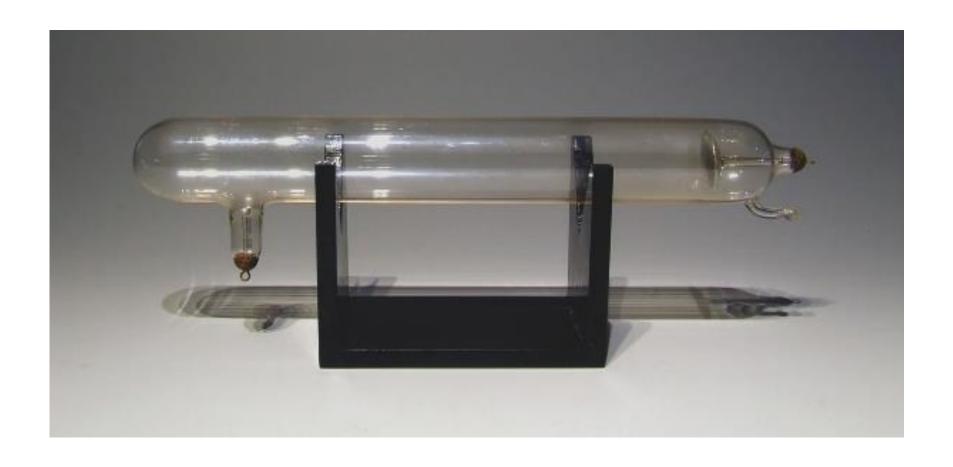


• Ampolas de Crookes:





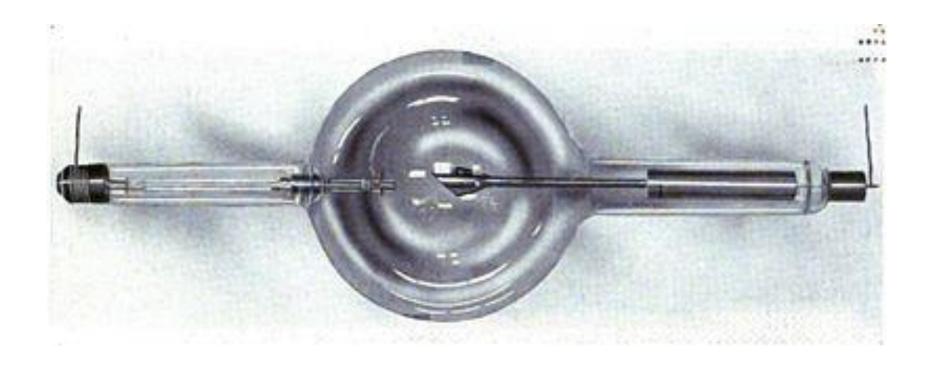
• Tubo de Crookes de 1900



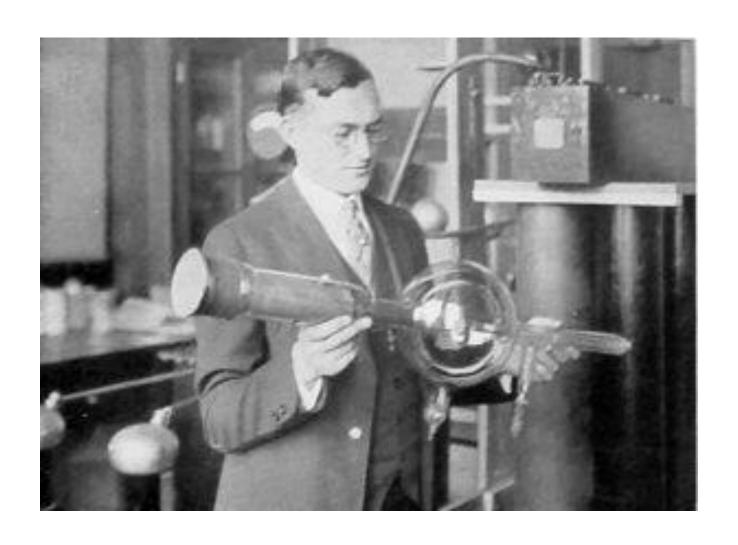
• O tubo de Roentgen (1895): Produção de raios-x com tubo de catodo frio.



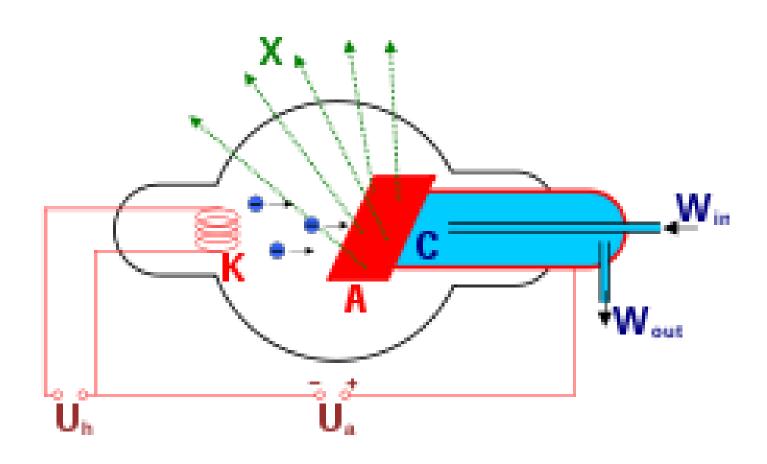
 Tubo de Coolidge (1913) ou tubo de catodo quente.



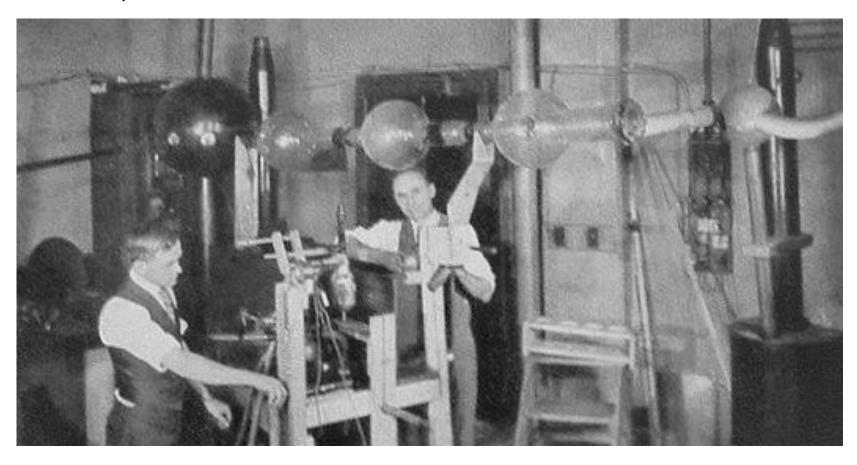
• Tubo original de Coolidge



• Tubo de Coolidge moderno



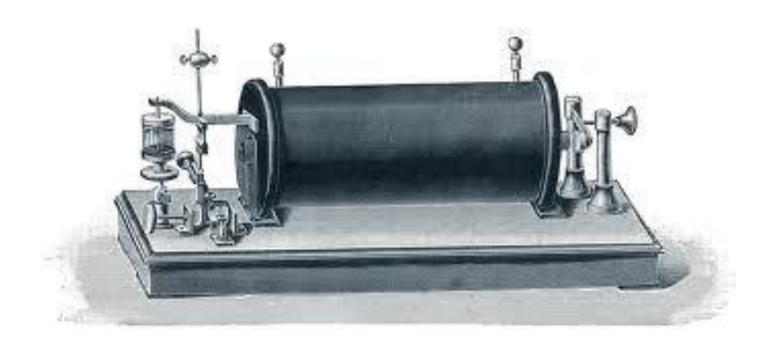
 Tubo de Coolidge triplo em cascata de 1928, tensão de 300 kV.



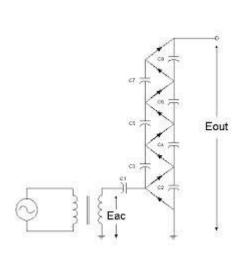
A energia para a aceleração:

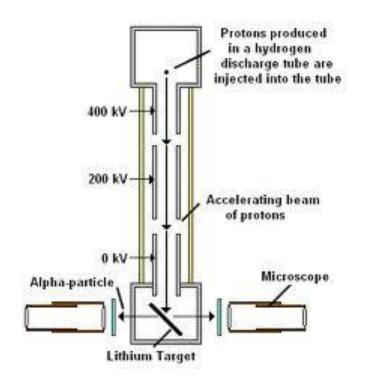
- Nesses tubos aceleradores (produtores de raios-x) eletrostáticos a energia de aceleração está limitada pela fonte de tensão.
- Inicialmente utilizava-se a bobina de Ruhmkorff para produzir alta tensão.

 Bobina de indução de 1836. Produzia centelhas de até 5 cm.



 Foi possível obter tensões de até 200kV com esse tipo de bobina (transformador) para alimentar tubos de raios-x. Em 1930 John Douglas Cockroft e Ernst Thomas Sinton Walton desenvolvem uma fonte de alta tensão utilizando uma cadeia de retificadores e em 1932 conseguem produzir 400 kV. Com essa energia de 400 keV foi possível acelerar prótons que se chocavam com o átomo de lítio transmutando-o em hélio.
Primeira transmutação nuclear feita pelo homem. Diagrama do multiplicador de tensão e acelerador Cockcroft - Walton





 Primeira transmutação e primeira verificação da equação de Einstein

$$E = mc^2$$

$$_3^7Li + _1^1H \rightarrow _2^4He + _2^4He + Energy$$

• O experimento:



Walton and the machine used to "split the atom"

Cockroft Walton no Fermilab



- Veja o tamanho! Energia de 750 keV.
- Saiu de operação em agosto de 2012.



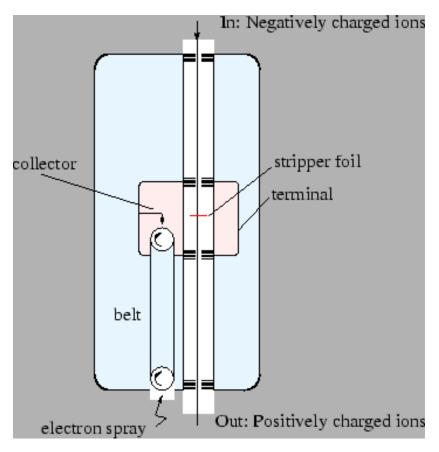
Novo acelerador que substituirá o Cockroft



 Van der Graaff em 1931 desenvolveu um acelerador de carregamento eletrostático



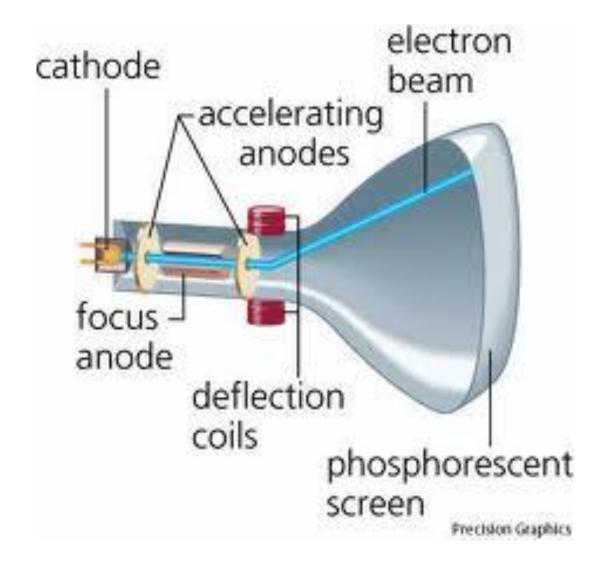
Van der Graff em tandem (40 Mev)



Um acelerador doméstico.

- Você sabia que muito provavelmente você tem um acelerador de elétrons em sua residência?
- Trata-se do tubo de imagem de um aparelho de televisão convencional.
- Em uma TV a cores de 29" o potencial de aceleração vale aproximadamente 25 kV!

Tubo de raios catódicos de TV



- Que velocidade atinge o elétron?
- Da conversão de energia potencial elétrica em energia cinética temos:

$$e.V = \frac{1}{2} m. v^2.$$

Portanto,

$$v = (2.e.V/m)^{1/2}$$
.

Com e=1,6 x 10⁻¹⁹ C, m=9,1x 10⁻³¹ kg e
V=25 kv encontramos

• $v=9,4x10^7$ m/s!

 Aproximadamente 1/3 da velocidade da luz no vácuo! Se a tensão fosse elevada para 500 kV esperaríamos encontrar v=4,2x 10⁸ m/s! maior que c= 3x10⁸ m/s!

 A experiência mostra que isso não é possível. Veja o gráfico no quadro. A causa disso está no aumento da massa inercial com o aumento da velocidade

$$m = m_0/(1-(v/c)^2)^{1/2}$$
.

 Isso tem que ser levado em conta em todos os cálculos nos aceleradores!

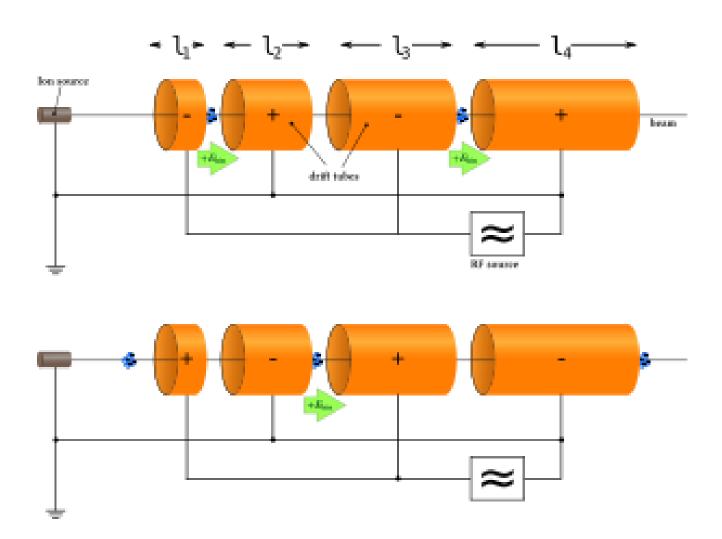
Os aceleradores ressonantes:

O acelerador linear ou "LINAC".

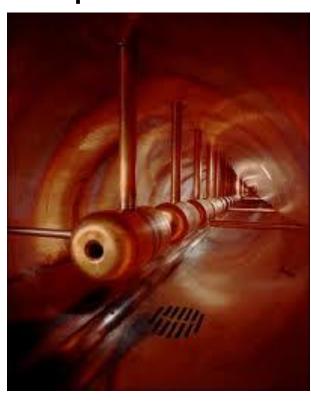
Nesse acelerador, uma longa cadeia de eletrodos metálicos cilíndricos aceleram a partícula carregada.

Os potenciais aplicados nos eletrodos são alternados no tempo para produzir um campo elétrico acelerador entre os eletrodos.

Diagrama do LINAC



 LINAC no Fermilab (H⁻): Drift tube 116 MeV@ 201,249 Mhz e estrutura side coupled 400 MeV @ 804,996 MHz.



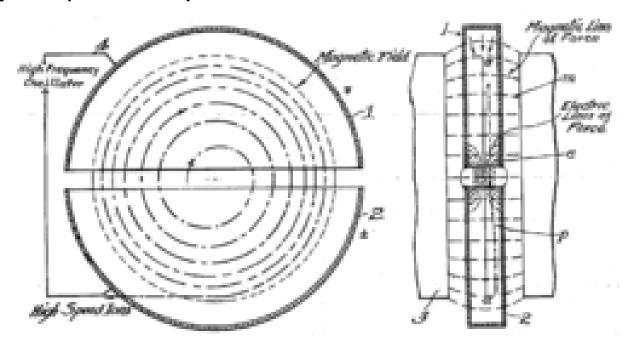


LINAC e Válvula Klystron de 4,5 MW





 O Cíclotron de Lawrence de1934. f=q.B/(2.π.m)



Vantagem: Tensão de aceleração relativamente baixa. Em torno de 10 kV. Utilizado para acelerar partículas pesadas: prótons, deuterons e partículas alfa.

• Cíclotron de 1937



- Limitação: para velocidade não relativística o raio cresce com a velocidade.
- Para velocidades relativísticas o aumento da massa produziria diminuição da frequência de rotação e o sincronismo com a frequência da fonte de RF seria perdido.

Solução:

- Campo de indução magnética B variável com o raio. Cíclotron isocrônico
- Frequência da fonte de RF variável com o aumento da velocidade para manter o sincronismo. Sincrocíclotron (até 100 MeV).

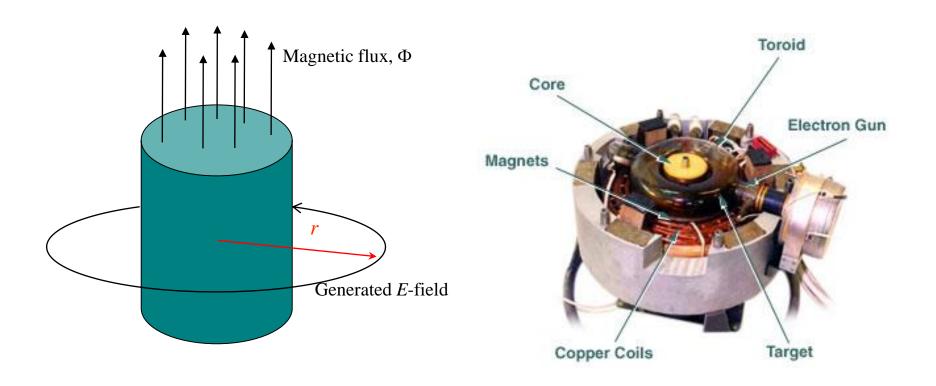
• Cíclotron moderno para radioterapia.



Acelerador de indução:

- O Betatron foi um acelerador desenvolvido em 1940.
- Baseado na lei de indução de Faraday.
- Consiste em um eletroimã em que o campo de indução magnética varia no tempo (crescendo) induzindo um campo elétrico que acelera elétrons injetados em

uma câmara toroidal evacuada ao redor do núcleo magnético.



• Betatron de 1942

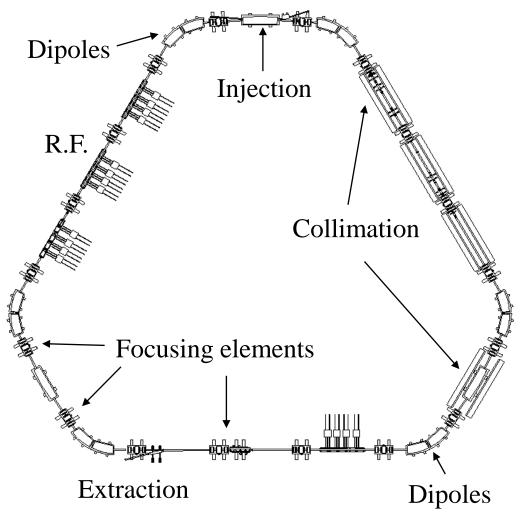


Acelerador Síncrotron:

- As partículas são mantidas em um grande anel composto por vários eletroimãs (dipolos).
- Em cada dipolo a partícula executa um pequeno arco de círculo.
- A partícula é acelerada em um trecho reto com radiofregência.

 O campo de indução magnética aumenta acompanhando o aumento da velocidade da partícula para manter o raio constante.

Layout de um anel de armazenamento:



Trecho do Booster (anel intermediário) do Fermilab



Estagio de aceleração do Booster

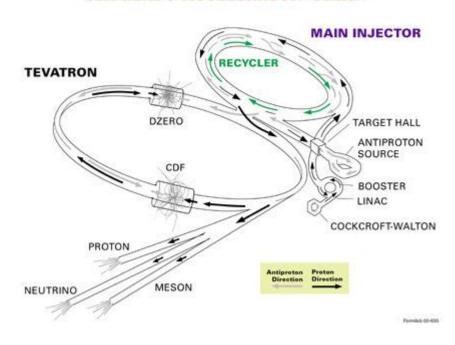


Main ring (anel principal) e Tevatron



Complexo de aceleradores no Fermilab

FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



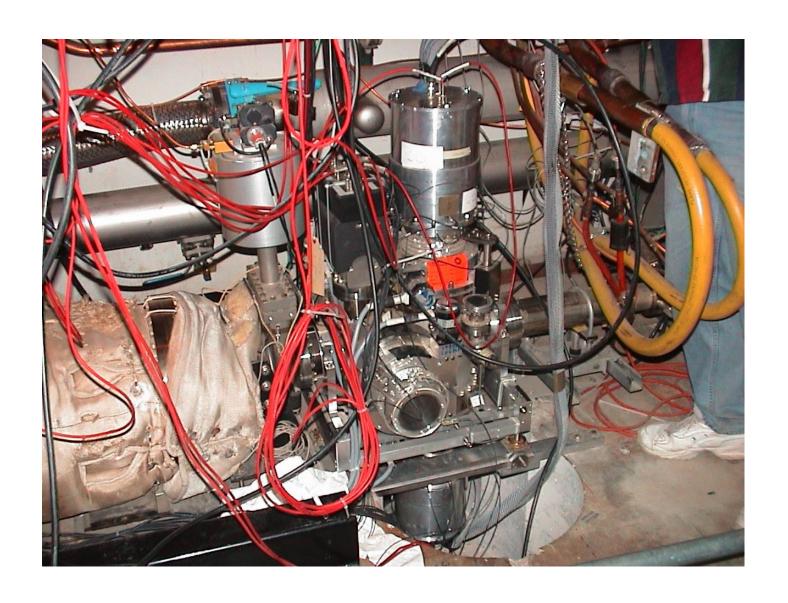
Vista aérea do Fermilab

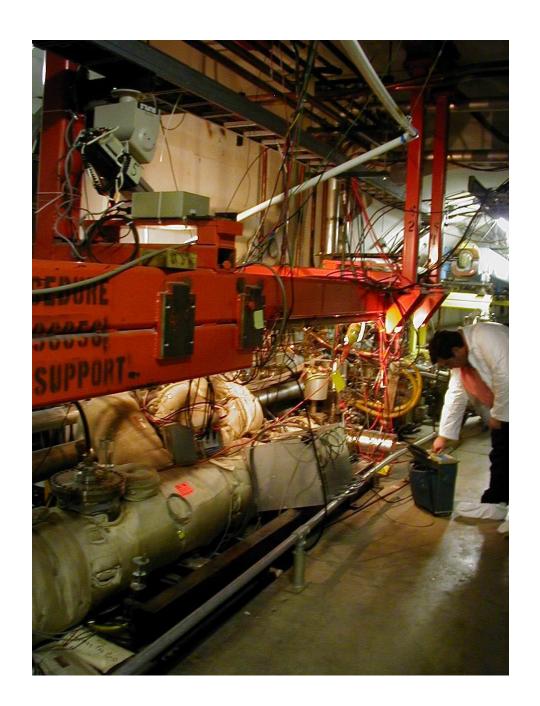


Tunel do Tevatron -Fermilab



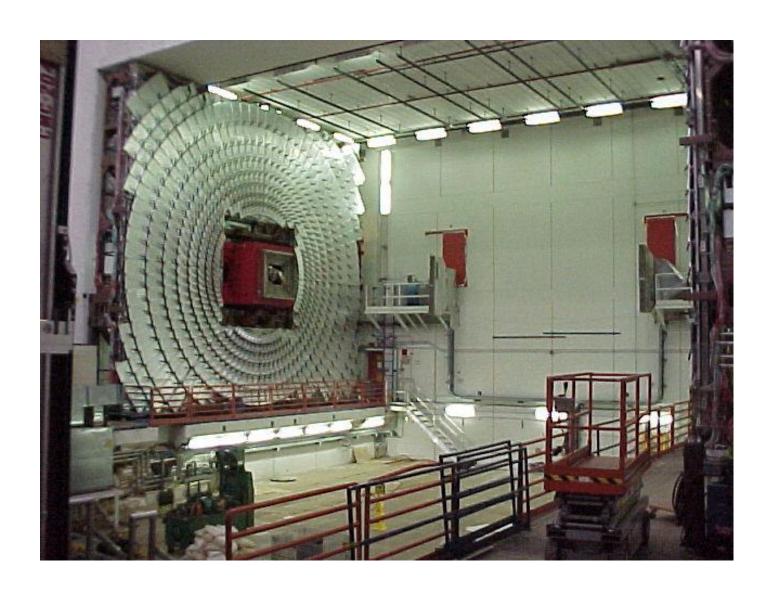
Detector de partículas







Sala de colisão D0



FIM