



A Física do Século XX: Átomos, Partículas e Estrelas

Tópicos da História de Física Moderna – Grupo 7

Ariovaldo, Danilo e Wellington

A Realidade Pós-Guerra

- Europa encontra-se devastada
- EUA – Novo pólo científico
Radar, bomba atômica e primeiros computadores
- Financiamento as pesquisas:
Marinha
Comissão de Energia Atômica



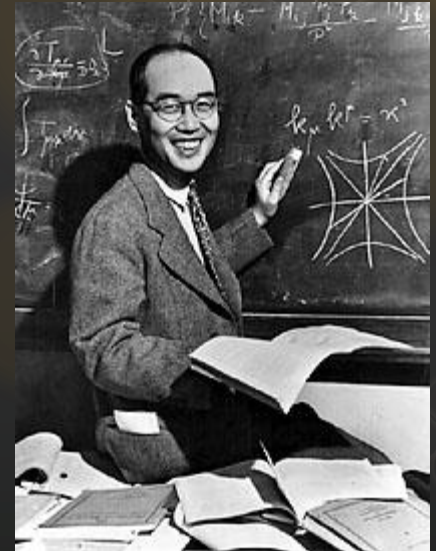
As Partículas Elementares

- Antes da guerra: prótons, nêutrons, elétrons, pósitrons, fótons e neutrinos
- Raios Cósmicos – mésostrons ($200 m_e$)
 - obra do destino
 - sem possibilidade de ajustar parâmetros
 - sem custo, bom pra Europa
- EUA (aceleradores) x Europa (emulsão fotográfica)



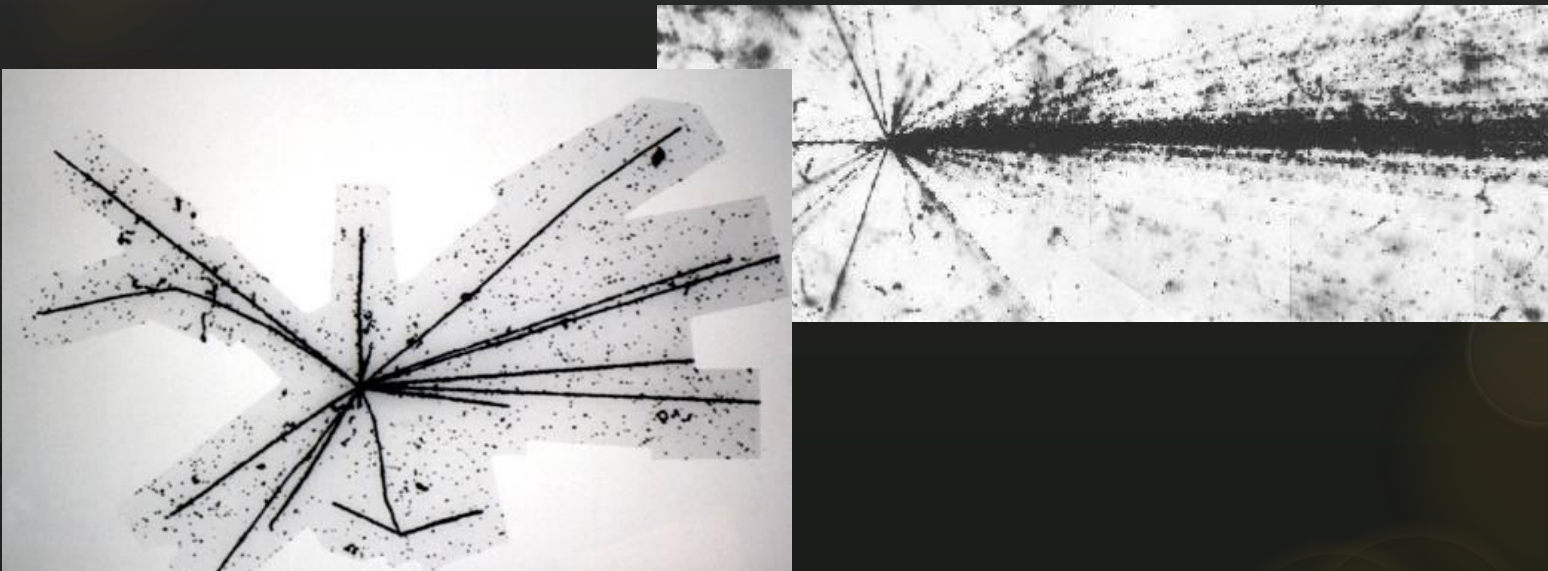
Descoberta do Píon

- 1937 – méson com $200 m_e$, instáveis, decaimento em $2\mu s$
- Mésons \neq Partículas de Yukawa
- Hideki Yukawa – nascido em Tóquio, 1907
 - Professor na Universidade em Osaka
 - fundador da escola de físicos teóricos Uni. de Kyoto
 - fundador da The Progress of Theoretical Physics
 - 1º japonês com Nobel de física em 1949
- Tanikawa, Sakata e Inoue (Japão)



Descoberta do Píon

- Método da Emulsão Fotográfica
 - usado para detectar partículas □ antes da 1ª Guerra
 - ionização induz reações químicas que permitem visualizar a trajetória da partícula
 - até o momento só partículas lentas



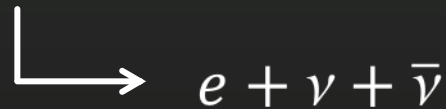
Descoberta do Píon

- Em 1945, Cecil Powell recebe em seu laboratório em Bristol o físico Giuseppe Occhialini que voltava do Brasil
- 1946 – chapas cobertas com nova emulsão – duas dúzias de 2x1 cm e 5 μm de espessura.
 - Observatório francês dos Pirineus – 3000m de altitude
 - abrem-se as portas para um novo mundo
 - Peter Fowler, primeira observação dos mésons
 - Grupo de Powell-Occhialini descobre um méson que fragmentava núcleos

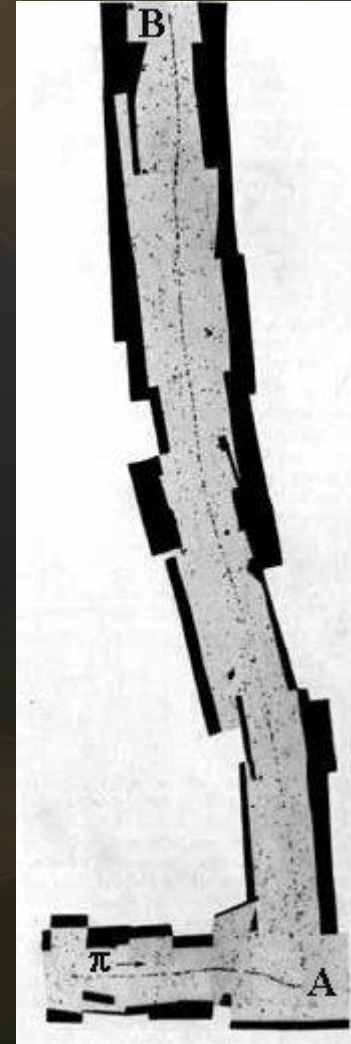


Descoberta do Píon

- Méson com massa de $139 \text{ MeV}/c^2$ □ partícula de Yukawa □ píon
- Méson com massa de $106 \text{ MeV}/c^2$ □ múon



- Tanto os píons positivos quanto os negativos produzem reações nucleares violentas.



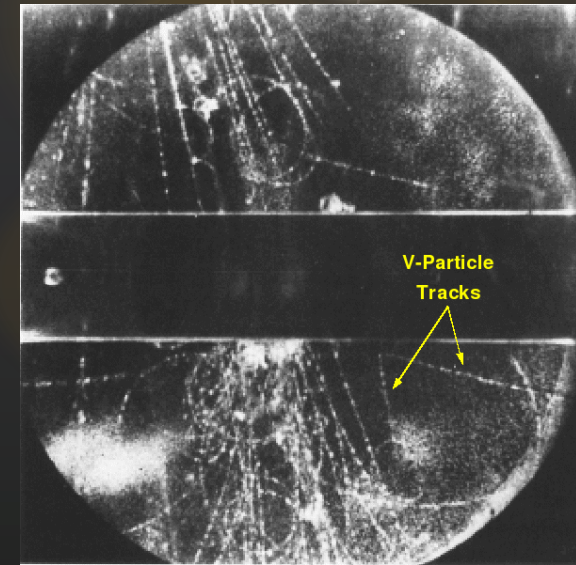
César Lattes (1924- 2005)



- Nasceu em Curitiba, 1924
 - Graduou-se em 1943
 - 1946: foi trabalhar no grupo de Powell em Bristol
 - 1947: percebeu traços das partículas de Yukawa
 - Levou as emulsões às montanhas andinas (5000m)
- Lattes, Occhialini e Powell, publicaram um artigo a respeito da partícula *méson-pi*
- Lattes parte pra Berkeley, mostrando a produção de mésons
- Recebe o prêmio *Bernardo Houssay*, dos EUA, pela sua colaboração na descoberta

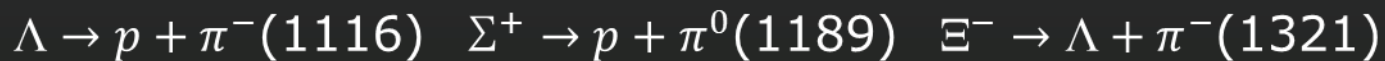
E mais partículas...

- Em 1946, G. D. Rochester e C. C. Butler descobrem uma nova partícula em forma de V, com massa de $494 \text{ MeV}/c^2$.
- Atualmente é chamada de K^0
- Com emulsão encontraram-se as K^+ ou K^-
- Entram em cena os novos aceleradores de partículas
 - 1948, ciclotron de Berkeley (píons)
 - Descoberta do pión neutro (1ª partícula)
 - Experiências inacessíveis aos Raios Cósmicos



E mais partículas...

- 1952 – Cósmotron – 1 GeV
 - Lab. Nacional de Brookhaven
 - Produção de partículas V
 - Híperons: partículas pesadas cujo produto do decaimento com nêutrons ou prótons

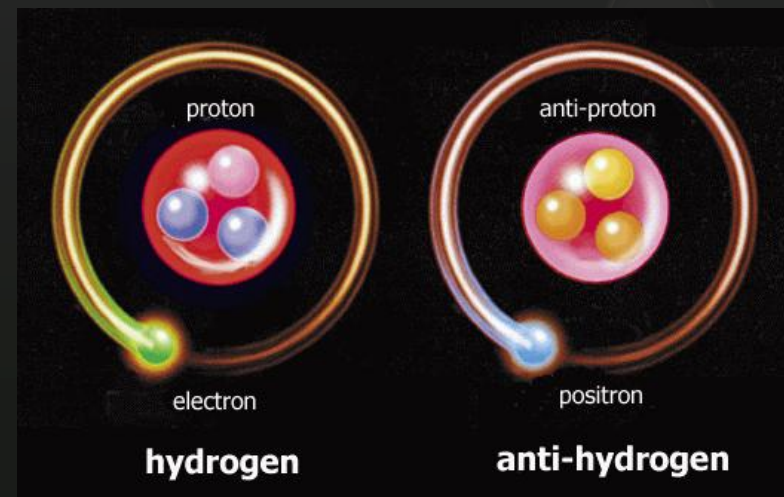


- Paradoxo da partícula Ξ - novo número quântico chamado “estranheza” (strangeness)
 - T. Nakano e K. Nishijima
 - $0, \pm 1, \pm 2, \dots$
 - a soma não se altera nas interações fortes.



Matéria e Antimatéria

- Antipróton - extrapolação da Teoria de Dirac
 - Raios Cósmiticos não apresentam nada satisfatório
 - 1955, bévatron (Berkeley) atinge 2 GeV no centro, mínimo para produção do par próton-antipróton
- Massa e spin iguais, estranheza e momento igual e oposto, carga elétrica oposta
- Aniquilação matéria-antimatéria



A Câmara de Bolhas

- Método elaborado em 1952, por Donald A. Glaser
 - Trocou o gás da Câmara de Wilson por um líquido
 - detectar partículas ionizadas
 - funciona como alvo e como detector
 - geralmente se usa hidrogênio líquido

- Aperfeiçoada por L. W. Alvarez
 - 72 polegadas e 500 litros de hidrogênio líquido
 - Análise em computadores



Os Quarks

- Busca de um sistematização
 - Yuval Ne'eman: teoria de grupos da matemática
 - Predição de partículas ausentes (hádrons)
 - Subunidades chamadas *quarks*, Gell-Mann
- A hipótese dos quarks explica muitas outras coisas
 - analogia *quarks* monopólos magnéticos
 - Inicialmente três (u, d e s): conservação do n° de bárions, carga elétrica e estranheza
 - Número quântico Cor (3 valores)

Os Quarks

- Com a descoberta de novas partículas surge a necessidade de um quarto *quark*
 - Samuel Ting – *fótons pesados* (par elétron-pósitron)
 - SLAC (Stanford) – colisões elétron-pósitron
 - Frascati – confirmação e cálculos sobre o Ξ
 - Baixo tempo de decaimento e grande massa
- A estabilidade de Ξ atribui-se um novo número quântico *charm* (conservado em interações fortes)
 - novo quark (quatro espécies)

Aceleradores de partículas

Primeiras desintegrações de partículas aceleradas artificialmente

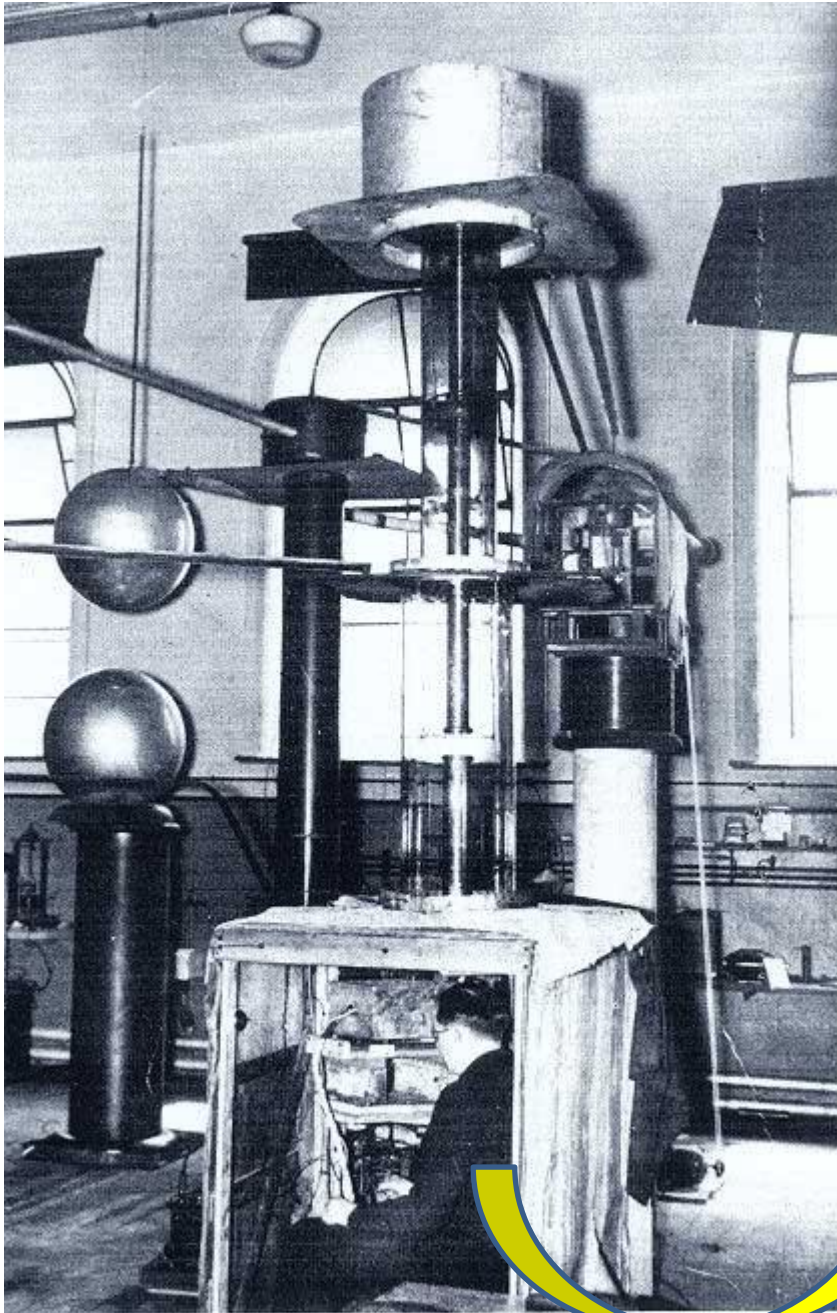


John D. Cockcroft

Ernest Rutherford

Ernest T. S. Walton

- Cockcroft e Walton constroem o primeiro equipamento capaz de induzir reações entre núcleos de maneira artificial;
- A primeira reação estudada nesse equipamento foi:
$$p + {}^7\text{Li} \rightarrow 4\text{He} + \alpha$$

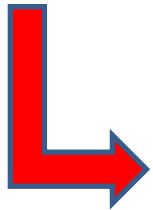


Ernest Walton – Laboratório de Cavendish em Cambridge , Inglaterra.

Para partículas com aproximadamente 1 MeV era necessário ter voltagens de cerca de 1 MV no laboratório.



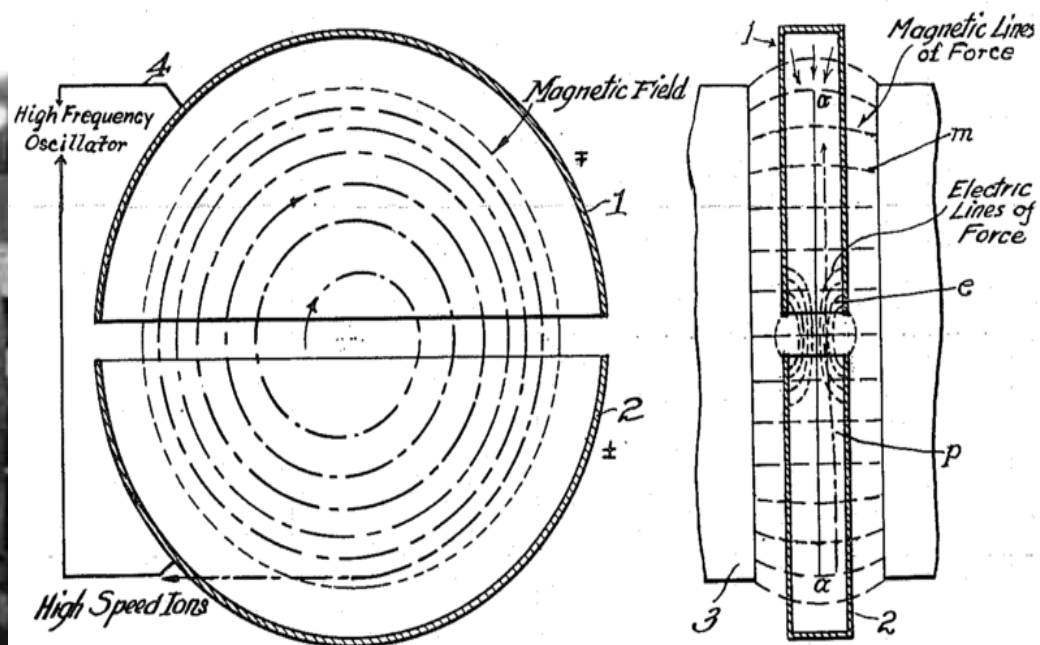
Muito difícil conseguir voltagens com esta magnitude, sem contar os RISCOS técnicos



Surgem propostas que evitavam altas-tensões. Uma das mais importantes foi a proposta de LAWRENCE



Lawrence e o Cíclotron



Livingston (left) and Lawrence (right) with magnet of their 37-inch cyclotron.

“Aproveitando-se da atração que seu laboratório exercia sobre jovens cientistas de alto gabarito, conseguiu recrutar um excelente grupo de especialistas. Observava-os de perto e, sem interferir, deixava que demonstrassem suas aptidões em benefício geral do laboratório”
(Segrè, p. 234)

“O sincrocíclotron de Berkeley foi a máquina que, pela primeira vez, produziu mésons artificiais” (Segrè p. 241)

DESCOBERTA DE UM CIENTISTA BRASILEIRO

TRATA-SE DO "MESON", IMPORTANTE COMPONENTE NUCLEAR: PAULISTA, O AUTOR DO INVENTO.

A imprensa vespertina publica com grande destaque o noticiário procedente dos Estados Unidos sobre a descoberta de um cientista brasileiro, César Lattes, de São Paulo e anunciada agora, oficialmente nos Estados Unidos. Trata-se da produção do Meson, ligado à desintegração atômica e até então somente constatado no raio cósmico. César é um jovem cientista formado pela Universidade de São Paulo, contando 23 anos. É assistente de Física Nuclear da mesma Universidade, tendo se especializado em Física Superior na Inglaterra durante dois anos, no Laboratório de Física da Universidade de

Bristol, em gozo de bolsa de estudos. Dali foi convidado a trabalhar na Califórnia com o prof. Lawrence e outros cientistas americanos, num grande ciclotron de 4 mil toneladas. Ali acaba de realizar sua sensacional descoberta referente à produção do Meson, até então só constatado nos raios cósmicos. O Meson é o elemento intermediário entre o Próton e o Elétron, tendo grande importância como componente nuclear. Esses dois elementos já haviam sido produzidos artificialmente, mas o "Meson" só agora o foi graças aos trabalhos do cientista bandeirante.

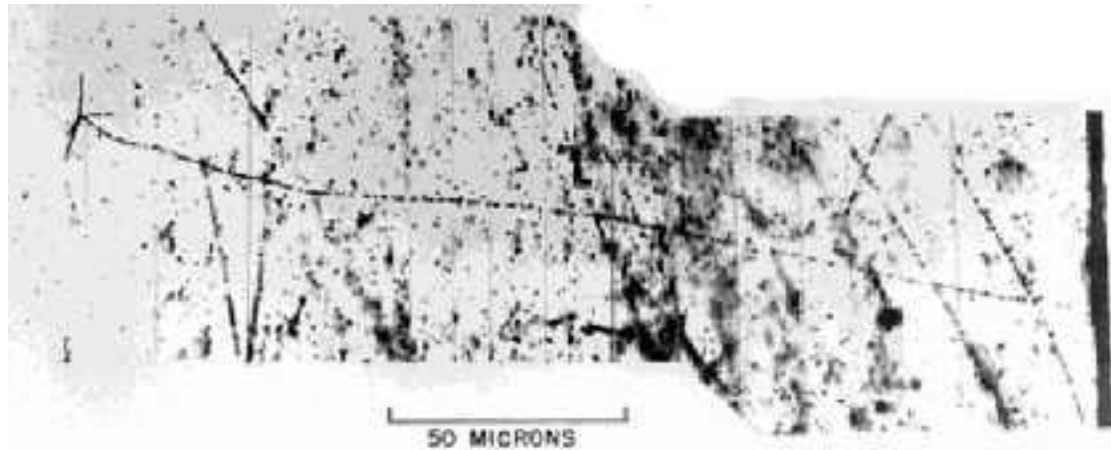
Lattes, um brasileiro na história

- César Lattes vai para Berkeley em 1947 (*Radiation Laboratory*), recomendado por Gleb Wataguin.
- Álvaro Alberto, então capitão-de-mar-e-guerra, membro da comissão de energia nuclear da ONU, interferiu para conseguir a permissão da *Atomic Energy Commission* (AEC)



Lattes, sentado, e Gardner, de pé, na Sala de Comandos do cíclotron de 184 polegadas.

“Lawrence nunca imaginou que Gardner, muito adoentado, e Lattes, um jovem físico de um país subdesenvolvido, fossem capazes de fazê-lo [detectar o méson pi] em apenas quinze dias após a sua chegada!” (<http://www.ghtc.usp.br/meson-a2.htm>)



Fotografia de um méson-pi artificial produzido no ciclotron de 184", cuja trajetória é fácil de observar. Isto porque, ao passar perto de um núcleo, o méson-pi é absorvido por atração elétrica e quase sempre explode o núcleo que o captura. Os fragmentos formam, na emulsão revelada, um desenho semelhante a uma estrela.

Um pouco mais de ciência Brasileira

Oscar Sala vai, em 1946, para Universidade de Illinois e depois, em 1948, para universidade de Wisconsin, onde participou no desenvolvimento de aceleradores eletrostáticos.



Na década de 50 Oscar Sala lidera a instalação de um acelerador eletrostático do tipo *Van der Graff*;

Na década de 70 é instalado o acelerador *Pelletron*



Os vários aceleradores pelo mundo e suas capacidades energéticas

Other early accelerator types

Accelerator	Location	Years of operation	Shape and size	Accelerated particle	Kinetic Energy	Notes and discoveries made
Cockcroft and Walton's electrostatic accelerator	Cavendish Laboratory	1932	See Cockroft-Walton generator	Proton	0.7 MeV	First to artificially split the nucleus (Lithium)

Cyclotrons

^[1] First accelerator built at the current [Lawrence Berkeley National Laboratory](#) site, then known as the Berkeley Radiation Laboratory ("Rad Lab" for short)

Accelerator	Location	Years of operation	Shape	Accelerated Particle	Kinetic Energy	Notes and discoveries made
23 cm cyclotron	University of California, Berkeley	1931	Circular	H ₂ ⁺	1.0 MeV	Proof of concept
28 cm cyclotron	University of California, Berkeley	1932	Circular	Proton	1.2 MeV	
68 cm cyclotron	University of California, Berkeley	1932–1936	Circular	Deuteron	4.8 MeV	Investigated deuteron-nucleus interactions
94 cm cyclotron	University of California, Berkeley	1937–1938	Circular	Deuteron	8 MeV	Discovered many isotopes
152 cm cyclotron	University of California, Berkeley	1939-	Circular	Deuteron	16 MeV	Discovered many isotopes
467 cm cyclotron	Berkeley Rad Lab ^[1]	1942-	Circular	Various	>100 MeV	Research on uranium isotope separation
Calutrons	Oak Ridge National Laboratory	1943-	"Horseshoe"	Uranium nuclei		Used to separate isotopes for the Manhattan project
95-inch cyclotron	Harvard Cyclotron Laboratory	1949–2002	Circular	Proton	160 MeV	Used for nuclear physics 1949 - ~ 1961, development of clinical proton therapy until 2002

Synchrotrons

Accelerator	Location	Years of operation	Shape and size	Accelerated particle	Kinetic Energy	Notes and discoveries made	Reference(s)
Cosmotron	Brookhaven National Laboratory	1953–1968	Circular ring (72 meters around)	Proton	3.3 GeV	Discovery of V particles , first artificial production of some mesons .	
Birmingham Synchrotron	University of Birmingham	1953–1967		Proton	1 GeV		
Bevatron	Berkeley Rad Lab i.e. LBNL	1954-~1970	"Race track"	Proton	6.2 GeV	strange particle experiments, Antiproton and antineutron discovered, resonances discovered	
Bevalac , combination of SuperHILAC linear accelerator, a diverting tube, then the Bevatron	Berkeley Rad Lab i.e. LBNL	~1970-1993	linear accelerator followed by "Race track"	any and all sufficiently stable nuclei could be accelerated		observation of compressed nuclear matter. Depositing ions in tumors in cancer research.	

Saturne	Saclay , France				3 GeV	
Synchrophasotron	Dubna , Russia	December 1949 – present			10 GeV	
Zero Gradient Synchrotron	Argonne National Laboratory	1963–1979			12.5 GeV	
Proton Synchrotron	CERN	1959–present	Circular ring (600 meters around)	Proton	28 GeV	Used to feed ISR , SPS , LHC
Proton Synchrotron Booster	CERN	1972–present	Circular Synchrotron	Protons and ions	1.4 GeV	Used to feed PS , ISOLDE
Super Proton Synchrotron	CERN	1980–present	Circular Synchrotron	Protons and ions	480 GeV	COMPASS , OPERA and ICARUS at Laboratori Nazionali del Gran Sasso
Alternating Gradient Synchrotron	Brookhaven National Laboratory	1960-	Circular ring (807 meters around)	Proton, deuteron, copper and gold ions	33 GeV	J/ψ , muon neutrino , CP violation in kaons , injects heavy ions and polarized protons into RHIC

Hadron colliders

Accelerator	Location	Years of operation	Shape and size	Particles collided	Beam energy	Experiments
Intersecting Storage Rings	CERN	1971–1984	Circular rings (948 m around)	Proton/Proton	31.5 GeV	
Super Proton Synchrotron /SppS	CERN	1981–1984	Circular ring (6.9 km around)	Proton/Antiproton	270-315 GeV	UA1 , UA2
Tevatron Run I	Fermilab	1992–1995	Circular ring (6.3 km around)	Proton/Antiproton	900 GeV	CDF , D0
Tevatron Run II	Fermilab	2001–2011	Circular ring (6.3 km around)	Proton/Antiproton	980 GeV	CDF , D0
Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) polarized proton mode	Brookhaven National Laboratory , New York	2001–present	Hexagonal rings (3.8 km circumference)	Polarized Proton/Proton	100-250 GeV	PHENIX , STAR
Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) ion mode	Brookhaven National Laboratory , New York	2000–present	Hexagonal rings (3.8 km circumference)	d- ¹⁹⁷ Au ⁷⁹⁺ ; ⁶³ Cu ²⁹⁺ - ⁶³ Cu ²⁹⁺ ; ¹⁹⁷ Au ⁷⁹⁺ - ¹⁹⁷ Au ⁷⁹⁺	4.6-100 GeV per nucleon	STAR, PHENIX, Brahms, Phobos
Large Hadron Collider (LHC) proton mode	CERN	2008–present	Circular rings (27 km around)	Proton/Proton	4 TeV (design: 7 TeV)	ALICE , ATLAS , CMS , LHCb , LHCf , TOTEM
Large Hadron Collider (LHC) ion mode	CERN	2008–present	Circular rings (27 km circumference)	²⁰⁸ Pb ⁸²⁺ - ²⁰⁸ Pb ⁸²⁺	2.76 TeV per nucleon	ALICE , ATLAS , CMS