

Urychlovače Historie

Z. Doležal

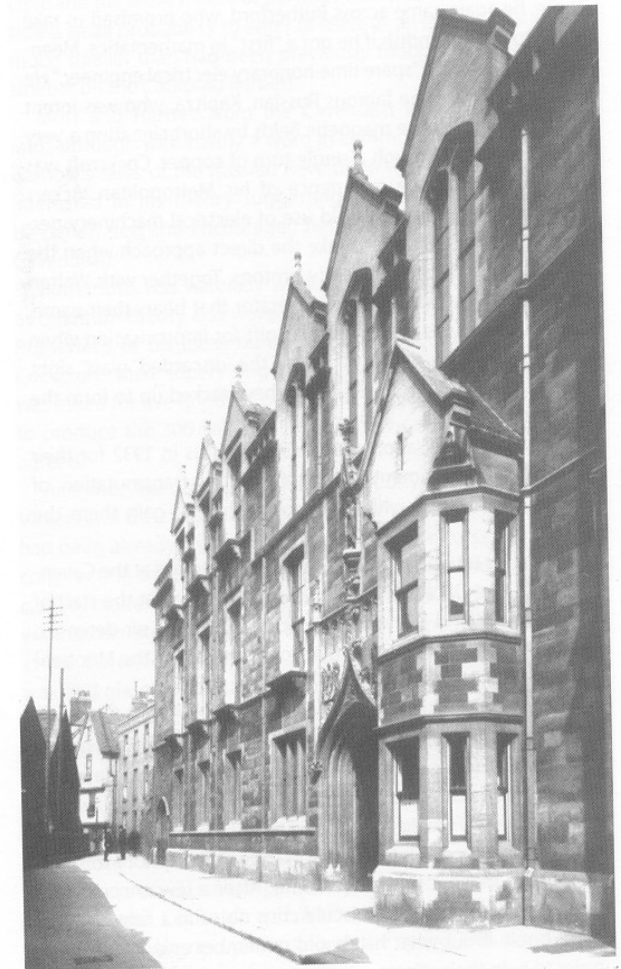
Motivace

- E. Rutherford, 1928: I have long hoped for a source of positive particles more energetic than those emitted from natural radioactive substances
- Argument E.R.: vazebné energie jsou řádově 10 MeV, takže potřebuji alespoň stejně energetický projektil
- Perspektivy: malé, i kdyby to někdo dokázal generovat, nebyl způsob jak zabránit výbojům

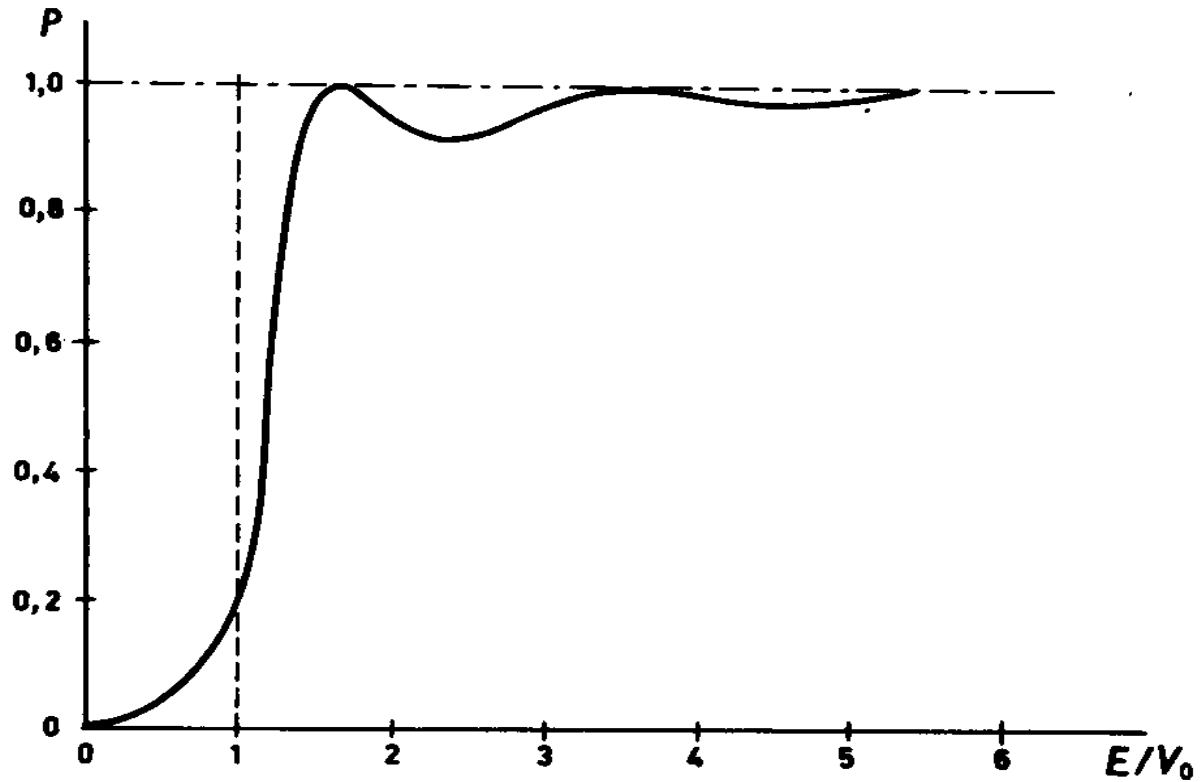


Coulombická bariéra, kvantová mechanika

- Klasický výpočet Coulombické bariéry: 1 MeV
- Překonání: příklad mezinárodní spolupráce.
 - Cavendishova laboratoř Cambridge: experiment (ředitelé Maxwell, Rayleigh, Thomson, Rutherford)
 - Bohrův ústav Kodaň (Heisenberg, Schrödinger, Pauli, Gamow)
 - Univerzita Göttingen
- G. Gamow (použil kvantovou mechaniku - princip neurčitosti), 300 keV



Tunelový jev



Cockroft-Waltonův urychlovač

- kaskádní generátor, 1932
- první jaderná reakce
- $p(^7\text{Li}, ^4\text{He})\alpha$

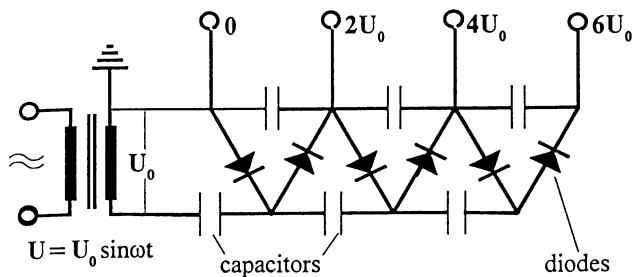


Fig. 2.3. Cascade generator (schematic)



Sir John Dougals
Cockroft
1897-1967

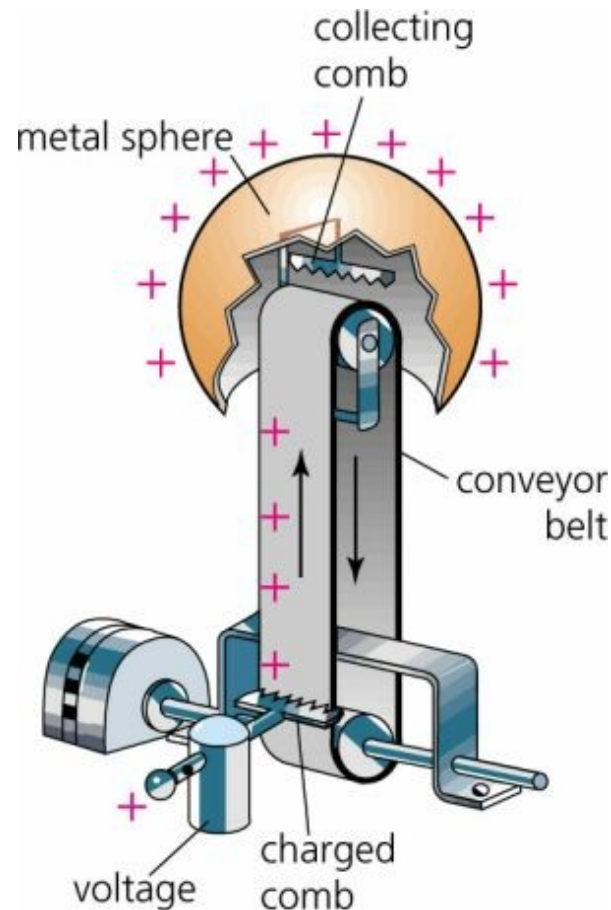
- kaskádní generátor,
1932
- první jaderná reakce
- Nobelova cena 1951

Ernest T.S. Walton
1903-1995



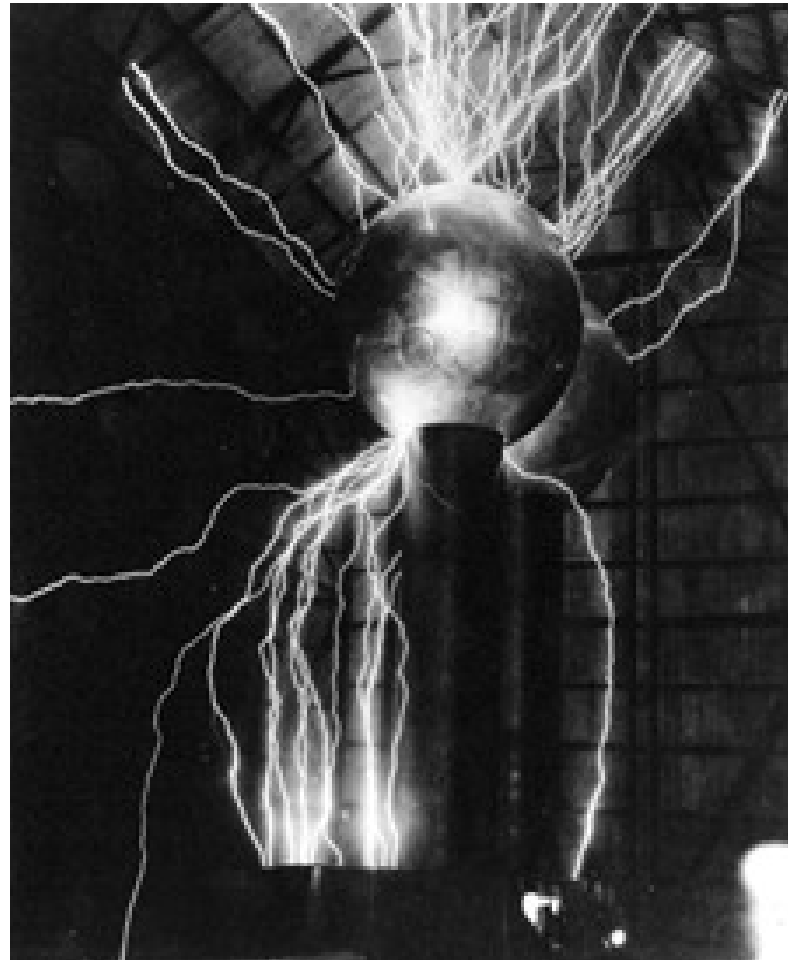
Robert Jemison Van de Graaff 1901-1967

- přednáška L. de Broglie, 1924
- Oxford, PhD, 1925-29
- Princeton, 1929: první funkční prototyp generátoru s hedvábným pásem
- publikace, 1,5 MeV, 2 m, 1931
- MIT, velký generátor, 1931



Robert Jemison Van de Graaff 1901-1967

- přednáška L. de Broglie, 1924
- Oxford, PhD, 1925-29
- Princeton, 1929: první funkční prototyp generátoru s hedvábným pásem
- publikace, 1,5 MeV, 2 m, 1931
- MIT, velký generátor, 1931



Van de Graaffův urychlovač

- Raymond Herb, Wisconsin:
 - stlačený plyn - zvýšení průrazného napětí
 - vodivé prstence kolem urychlovací kolony
 - vodorovné uspořádání
 - firma National Electrostatic Corporation (1965)
- Tandemový urychlovač
 - dvojnásobné využití potenciálu
 - myšlenka: W. Bennett, 1935, L. Alvarez 1951 - Swindleton
 - realizace 1953

Odd Dahl 1899-1994

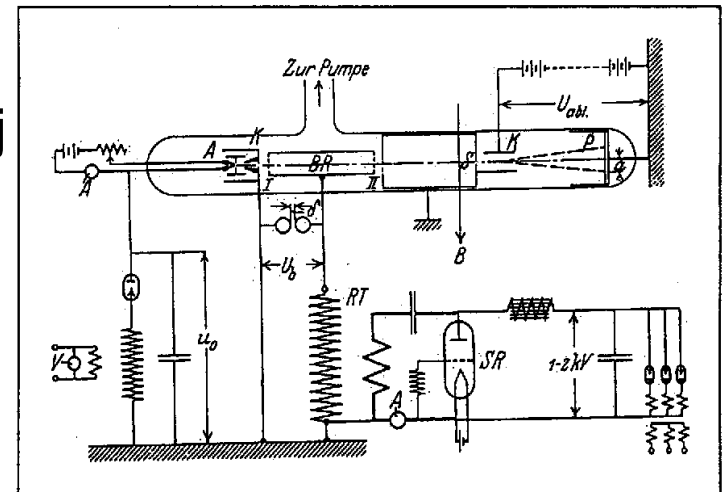
- Amundsenova expedice, 1922 po obtížném startu zničil letadlo, nucen strávit 2 roky na lodi - studoval fyziku a vyvíjel oceánografické přístroje
- Washington, Carnegie Inst., 1,2 MeV VdG, 1931 (spolu s M. Tuvem a G. Breitem)
- Bergen, 1935-51, 3 VdG, betatron, reaktor
- CERN, šéf PS 1951



Auger, Amaldi, Bohr, Dahl

Rolf Wideroe (1902-1996)

- *1902 Oslo
- 1922, Karlsruhe, studium, myšlenka betatronu
- 1926: návrh betatronu jako disertační práce: odmítnuto
- 1927: pokračoval v Cáchách (nefunkční prototyp, nabíjení skleněné trubice)
- 1927: sestrojil první funkční linac (2x aplikace napětí) – popis v jeho disertaci (úspěšné)
- Disertaci si přečetl E. Lawrence a sestrojil linac
- 1928: Berlín, AEG, vývoj relé
- 1932: odchod do Norska



Rolf Widerøe (1902-1996)

- 1941 Trondheim, přednáška o 1. betatronu
- 1943: článek o urychlování
- 1943: odchod do Hamburgu, práce na betatronu
- 1944: 15 MeV betatron funguje
- 1945: uvězněn v Oslo za „konstrukci V2“
- 1946: Curych, BBC, betatrony
- Ozařování pacientů,
- Synchrotrony...

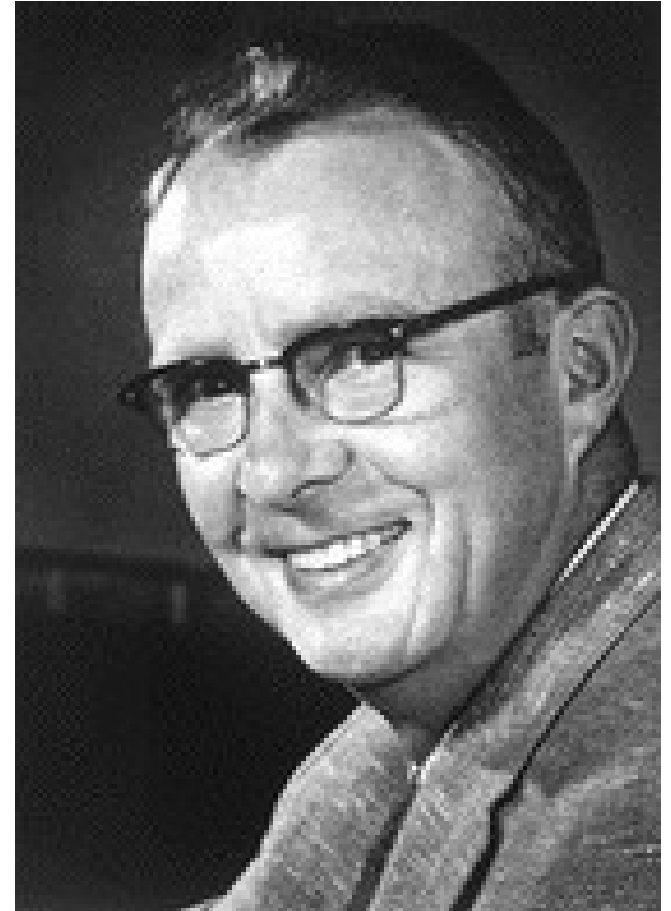


Lineární urychlovač

- 1927, R. Wideroe, návrh a prototyp, 1π
- 1931-1934, D. Sloan, E. Lawrence, 1 MeV Hg
- 1946, L. Alvarez, 2π linac, Berkeley

Luis Alvarez (1911-1988)

- San Francisco, syn lékaře
- University of Chicago,
 - 1932: Bc, 1936: MSc, 1936: PhD
- 1938: objev tritia
- 1944-45: project Manhattan, LA
- 1947: lineární urychlovač
- Kosmické záření, Bevatron
- Bublinové komory
- Nobelova cena 1968



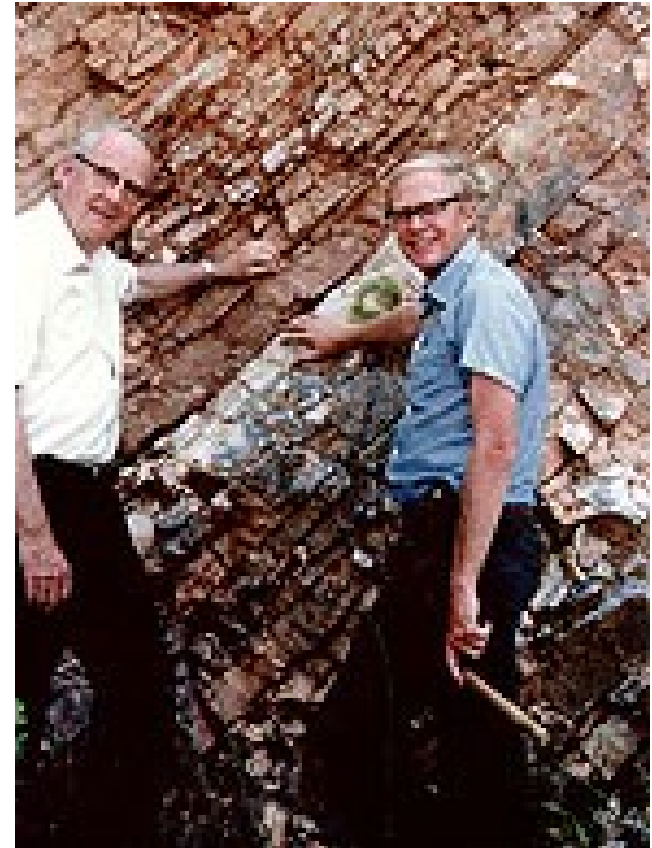
Luis Alvarez (další aktivity)

- Vynálezce (22 patentů)
- Letec (1945, Hirošima)
- 1962: člen Warrenovy komise vyšetřující atentát na JFK
- 1965: hledání komor v pyramidě v Gize (monitorování toku mionů) – bez úspěchu
- 1980: se synem Walterem: teorie velkého asteroidu který zasáhl Zemi a způsobil vyhynutí dinosaurů



Luis Alvarez (další aktivity)

- Vynálezce (22 patentů)
- Letec (1945, Hirošima)
- 1962: člen Warrenovy komise vyšetřující atentát na JFK
- 1965: hledání komor v pyramidě v Gize (monitorování toku mionů) – bez úspěchu
- 1980: se synem Walterem: teorie velkého asteroidu který zasáhnul Zemi a způsobil vyhynutí dinosaurů



Cyklotron - myšlenka

- 1922, Ising, návrh linacu
- 1927, Wideroe, disertace,
 - návrh beteatronu
 - prototyp linacu
- 1929, E.O. Lawrence, Berkeley, v knihovně našel výtah z W. disertace, spojil 2 myšlenky (rezonance a ohyb)
- nevěřil v realizovatelnost, povzbudil ho Otto Stern (Nc 1943)

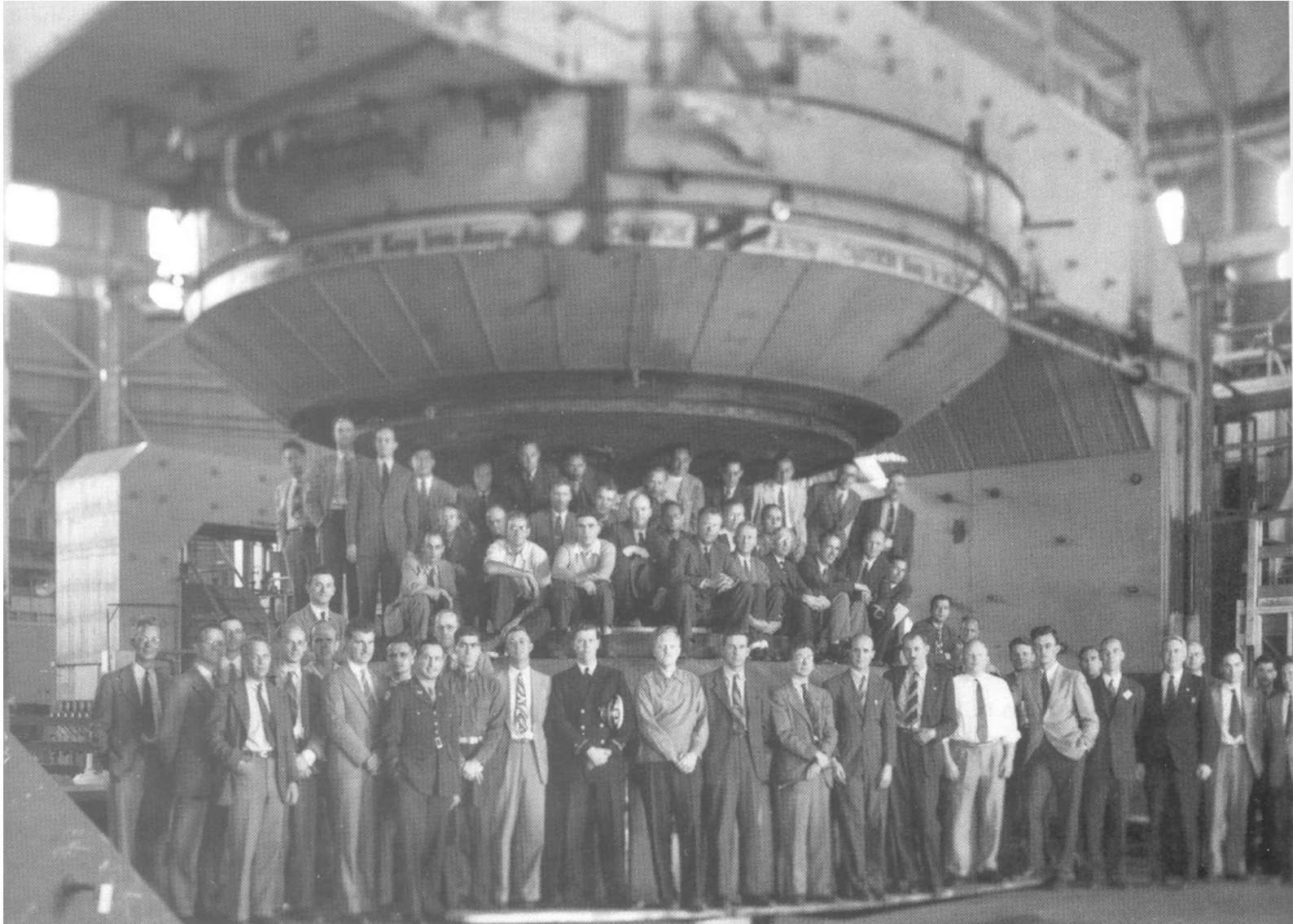
Cyclotron - realizace

- 1930, Sloan + Lawrence, linac 1 MeV
- 1930, S. Livingston, 4' cyklotron, 41 oběhů, 80 keV
- vzniká Berkeley Radiation Laboratory
- 11' cyklotron, 1,2 MeV,
- 27', 37', 60', 184'
 - “Berkeley has become less a university with a cyclotron than a cyclotron with a university attached”

Relativistický limit

- 1937, Lawrence: cílem je 100 MeV, 184'
- H. Bethe + M. Rose: vylučují možnost jít tak vysoko, zvětšování hmotnosti znemožní rezonanci
- Mc. Millan, přesné výpočty: $T_{\max} \sim 30 \text{ MeV}$
- 1941: L.H. Thomas, segmentovaný magnet, příčná fokusace
- 1945, Mc Millan: proměnná frekvence, synchrocyclotron,
- 1945, Mc Millan, Veksler“ fázová stabilita

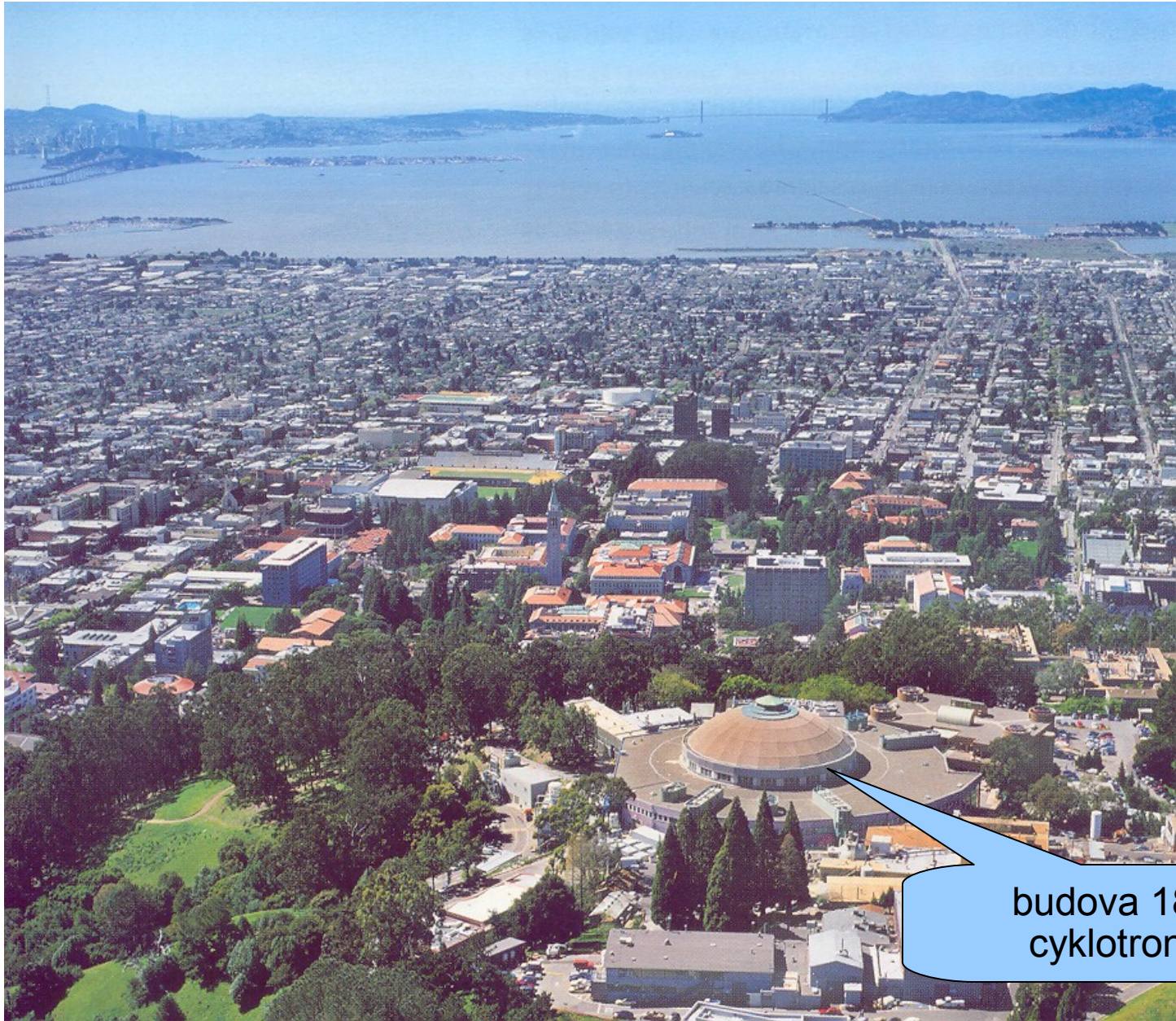
184' cyklotron, Berkeley



Calutron

- 1940, válečný výzkum, vývoj A-bomby
- odliv lidí z Berkeley (radar, Los Alamos)
- požadavek separace ^{235}U a ^{238}U
- Lawrence upravil magnet 184' cyklotronu na elektromagnetický izotopový separátor - nazván Calutron. Do konce války jich bylo v Oak Ridge vyrobeno 500

Berkeley RadLab



budova 184'
cyklotronu

Betatron (20. léta)

- J. Slepian, 1922, Westinghouse: patentová přihláška – transformátor (sekundární vinutí urychluje) – zamítnuta
- R. Wideroe, 1922 Karlsruhe: podobné úvahy, podmínka 2:1
- R. Wideroe, 1926 Cáchy: nefunkční prototyp
- Breit, Tuve, 1927, Washington: experimenty s cílem produkovat RTG záření (otazník fokusace)
- E. T. S. Walton, 20. léta, UK: teoretické úvahy nad fokusací
-

Betatron (30.léta)

- M. Steenbeck, 1937, Siemens Berlín: patentová přihláška na urychlovač, zabýval se fokusací
- G. W. Penny, 1938, patentová přihláška na betatron (Wideroe) s elektrostatickou fokusací
- F.R. Abbott, 1938, Washington: téměř funkční prototyp
- James L. Tuck, Leo Szilard, Oxford: nikdy nepublikované úvahy a experimenty
- D. Kerst, R. Serber, Illinois, 1939: teorie urychlování (příčně proměnné pole, časové změny)

Betatron (40.léta)

- D. Kerst, 15.7.1940, Illinois: první funkční betatron
- D. Kerst, 1940-41, General Electric: 20 a 100 MeV betatron
- R. Wideroe, 1943, Trondheim: přehledová studie,
- R. Wideroe, 1944, Hamburg: 15 MeV betatron
- D. Kerst, 1950, Illinois, 300 MeV

Joseph Slepian (1891-1969)

*1891 syn ruských emigrantů

1907 (v 16 letech) přijat na Harvard na studium matematiky

1911: Bc, 1912: MSc, 1913: PhD

1916: Westinghouse: výzkumný pracovník, 204 patentů

1938-56: ředitel pro výzkum

Matematik: studuje možné řady věcí

Přírodovědec: snaží se nalézt realizované řady věcí

Inženýr: vytváří věci s praktickým užitekem



J. Slepian

Ernest T.S. Walton (1903-1995)

- Studoval v Dublinu
- 1927 Cavendish Lab, E. Rutherford
- 1934: zpět do Dublinu
- Výzkumy urychlování (Cockroft-Waltonův ES urychlovač, teorie betatronu)
- 1951: Nobelova cena za C-W.



Max Steenbeck (1904-1981)

- 1922-1929: studium chemie a fyziky u H. Geigera v Kielu
- 1927-1945: výzkumný pracovník fy Siemens (usměrňovače, magnetismus, betatron) – Steenbeckovo kritérium
- 1945-1956: Suchumi (SSSR), plynové centrifugy uranu
- 1956-1978: NDR, rozvoj jaderné energetiky



Donald Kerst (1911-1993)

- 1937: PhD: U. Wisconsin
- 1938-57: U. Illinois
 - 1940-41: G.E.
 - 1943-45: Los Alamos
 - 1953-57: MURA
- 1957-62, General Atomic Laboratory, La Jolla
- 1962-1980: U. Wisconsin



Donald Kerst (1911-1993)

- 15.7.1940, Illinois: první funkční betatron
 - Názvy: rheotron, inductron, Super-X-Ray Machine, cosmic ray machine
 - *Ausserordentlichhochgeschwindigkeitelektronenentwickelndenschwerarbeitsbeigollitron*
 - grant \$400 nestačil, náklady byly \$2000
- Los Alamos: betatron na studium vlastností U a Th
- 4 MeV přenosný betatron na hledání bomb
- MURA: myšlenka vstřícných svazků







Synchrotron

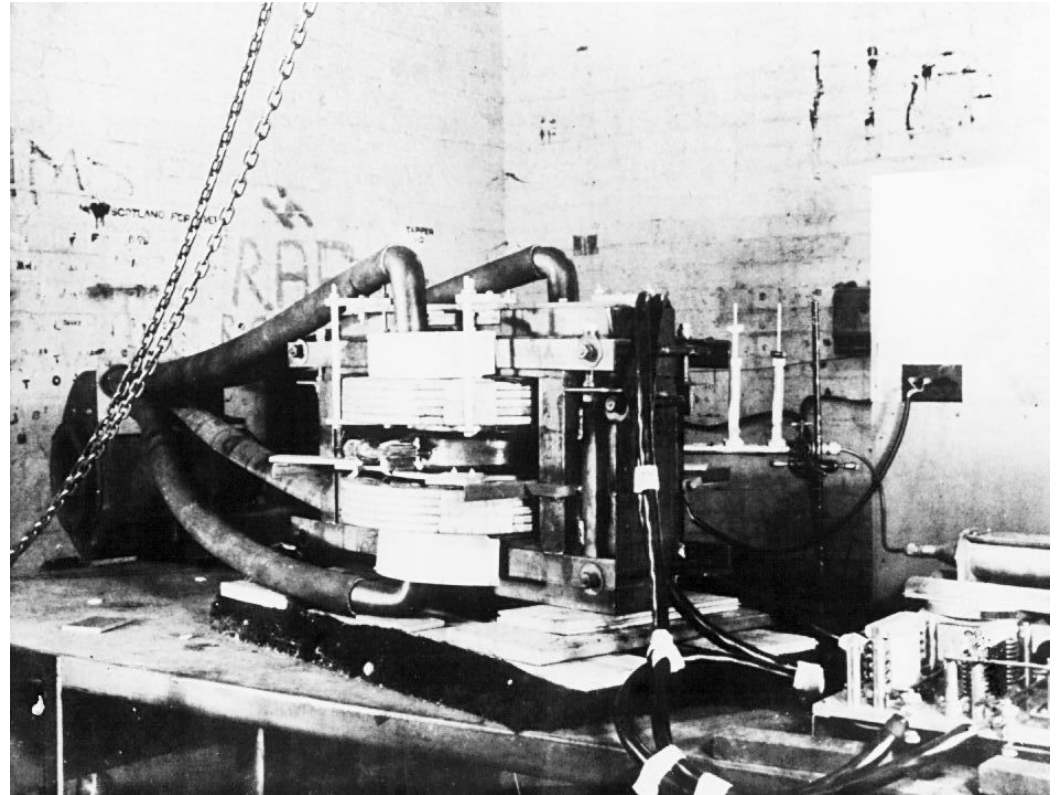
- M. Oliphant,
Birmingham/Oak Ridge
1943
 - Myšlenka synchrotronu,
zpráva do UK
- McMillan, Veksler, 1944,
články
 - Fázová stabilita
 - Synchrotron
 - McMillan: plán stavby



M. Oliphant

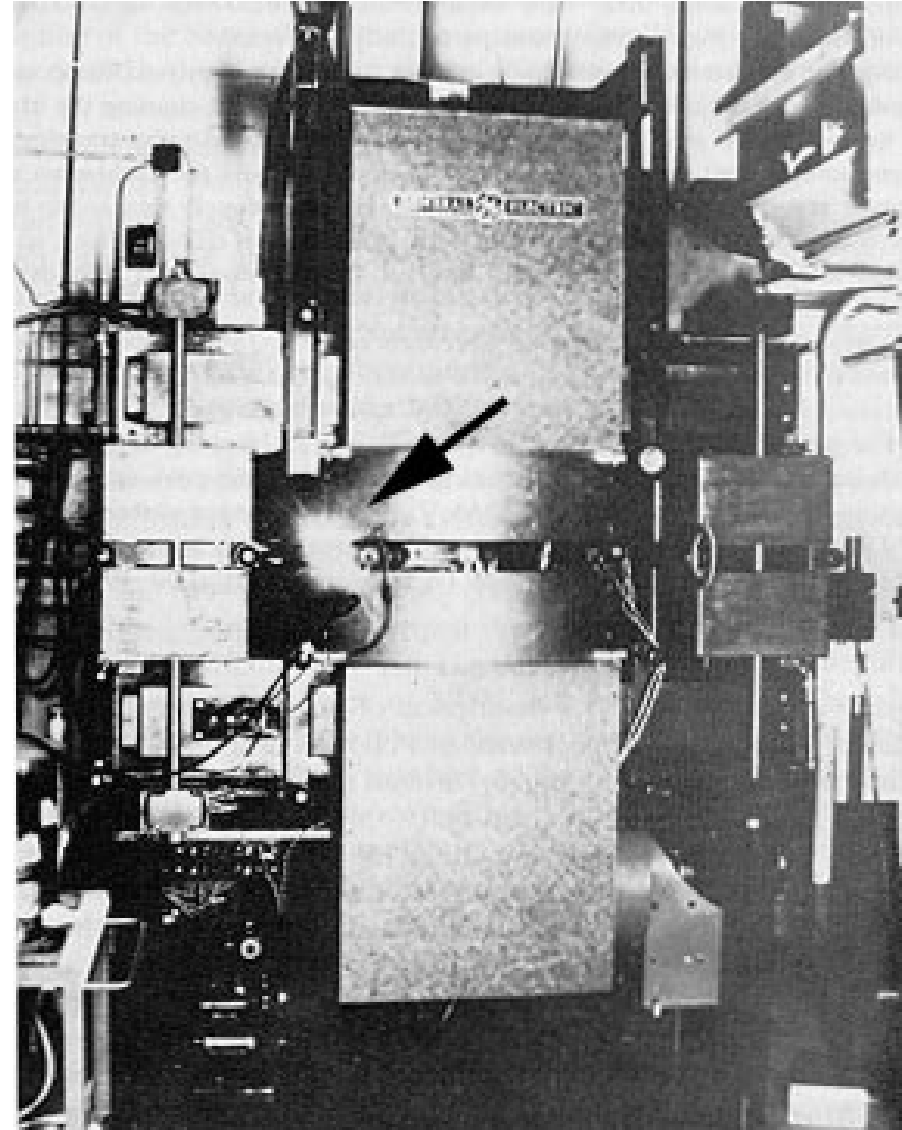
Synchrotron (2)

- F. Goward,
Woolwich Arsenal
Res. UK 1945-6:
přebudování 4,5
MeV betatronu na
8 MeV synchrotron
– 1. synchrotron



Synchrotron (3)

- G.E. Schenectady (továrna na betatrony), 1946-7
 1. speciálně budovaný synchrotron
- 1. pozorování synchrotronového záření 1947
- Hledali ho na betatronech 3 roky (radiem, ap.) – měli neprůhledné trubice



Protonový synchrotron

- 1953: M. Oliphant, B'ham, 1 GeV
- 1953: Cosmotron, BNL, 3 GeV,
– 1,22x0,22 m
- 1954: Bevatron, Berkeley, 6 GeV
– 4,3x1,2 m (Jeep)
- NIMROD, UK, 8 GeV
- 1957: Synchrofázotron, Dubna, 10 GeV

Cosmotron 1953-1966

- Brookhaven
n National
Lab
- Long
Island, NY
- 6 GeV,



Bevatron 1954

- LBL Berkeley
- 3 GeV
- 1955: objev antiprotonu
- Nc: Segré, Chamberlain



Synchrotron Dubna 195?

- Sy
- dá
- na
- Sy
- Ve
- pr
- Int
- US
- Z(
- Ar
-

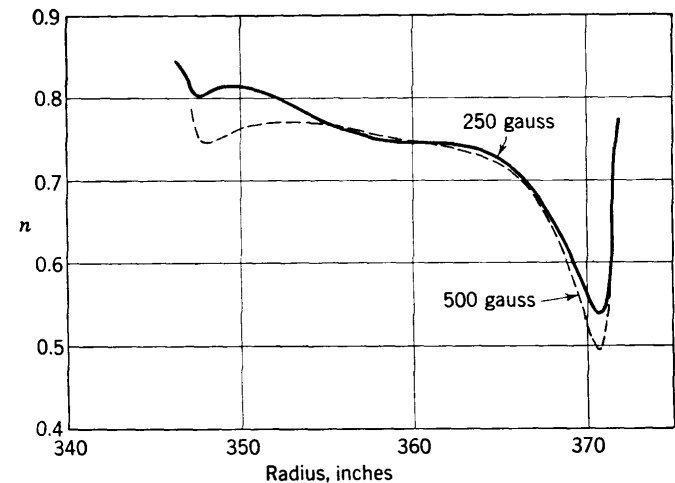
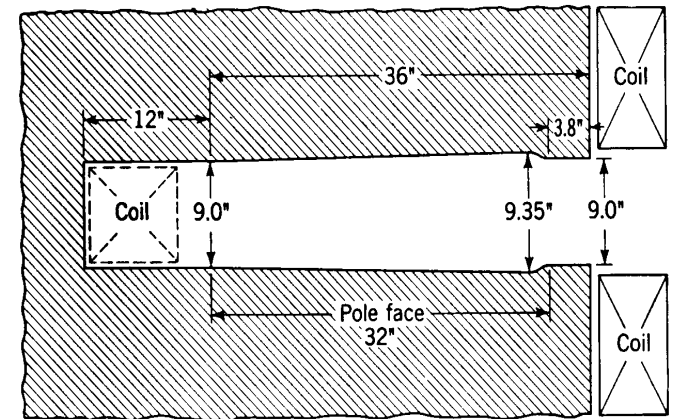


Silná fokusace (AG)

Cosmotron, BNL

1952

- C-magnety, na okrajích saturace, index pole $n > 1$
- S. Livingston: Jařmo magnetu na obvod
- E. Courant: pozoroval lepší efekt
- H. Snyder – teoretické vysvětlení (a posteriori)
- N. Christofilos: patent z roku 1950



Silná fokusace (AG)

Cosmotron, BNL
1952

- C-magnety, na okrajích saturace, index pole $n > 1$
- S. Livingston: Jařmo magnetu na obvod
- E. Courant: pozoroval lepší efekt
- H. Snyder – teoretické vysvětlení (a posteriori)
- N. Christofilos: patent z roku 1950



Courant, Livingston

Snyder, Christofilos

Silná fokusace a CERN



G. Collins (BNL), O. Dahl, R. Wideroe, F. Goward

AGS: BNL

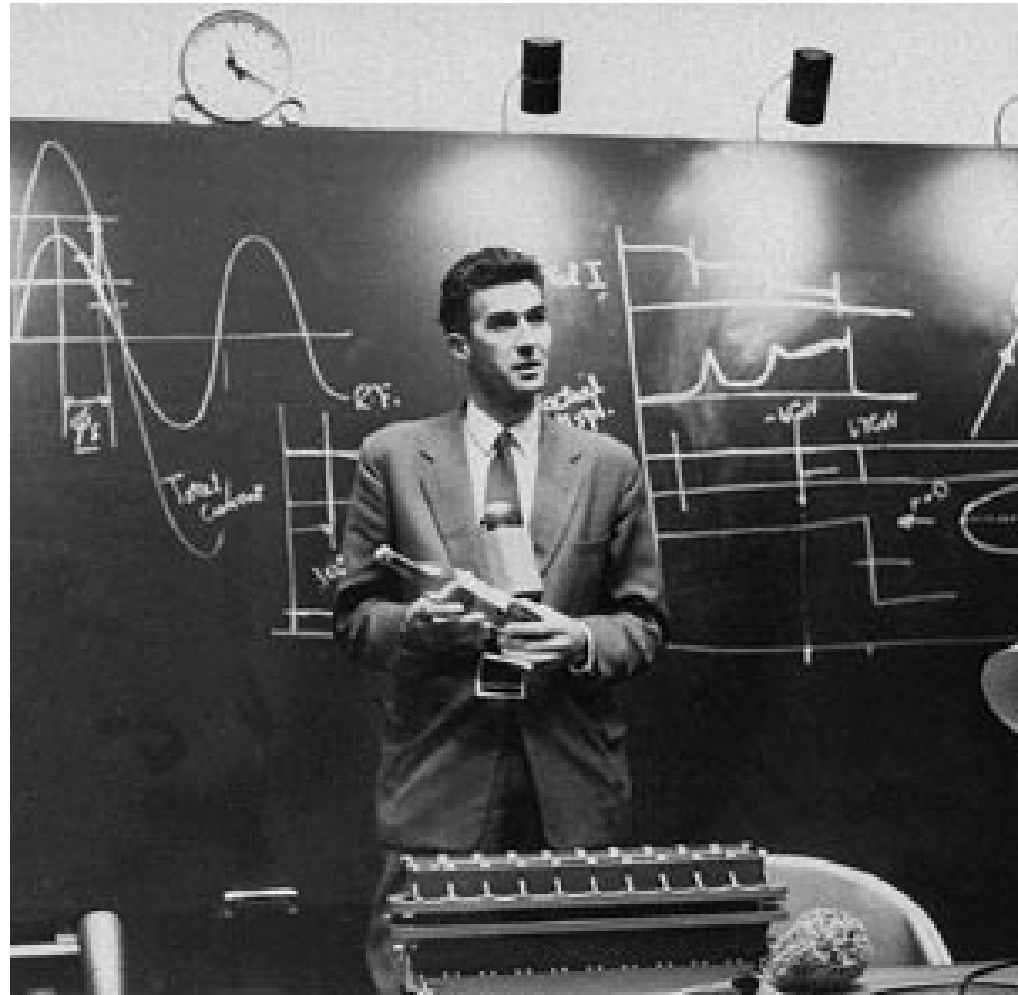
1959

- 33 GeV
- 3 Nobelovy ceny
- Mionové neutrino 1988 Lederman
Schwartz, S
- CP narušení
- J/psi 1976,
- dnes injektor



PS: CERN 1959

- 1. urychlovač přes γ_{tr}
- Veden J. Adamsem (pozdější ředitel CERNu)
- Funkční dodnes (injektor pro LHC)
- 1965: 25 \Rightarrow 28 GeV

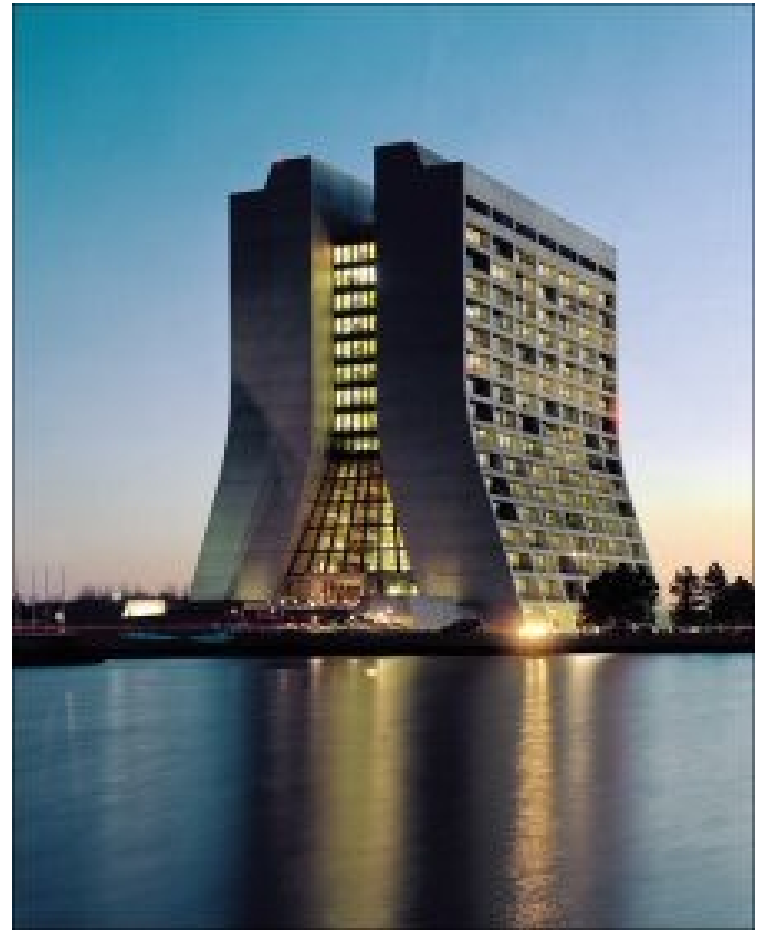


Co dále?

- efekt roste s odmocninou energie
- Potřebujeme alespoň 10x více
- CERN: SPS, 400 GeV
- USA: kde? West Coast nebo East Coast?
 - výsledek: Fermilab, Chicago, Ill., 400-500 GeV

Fermilab

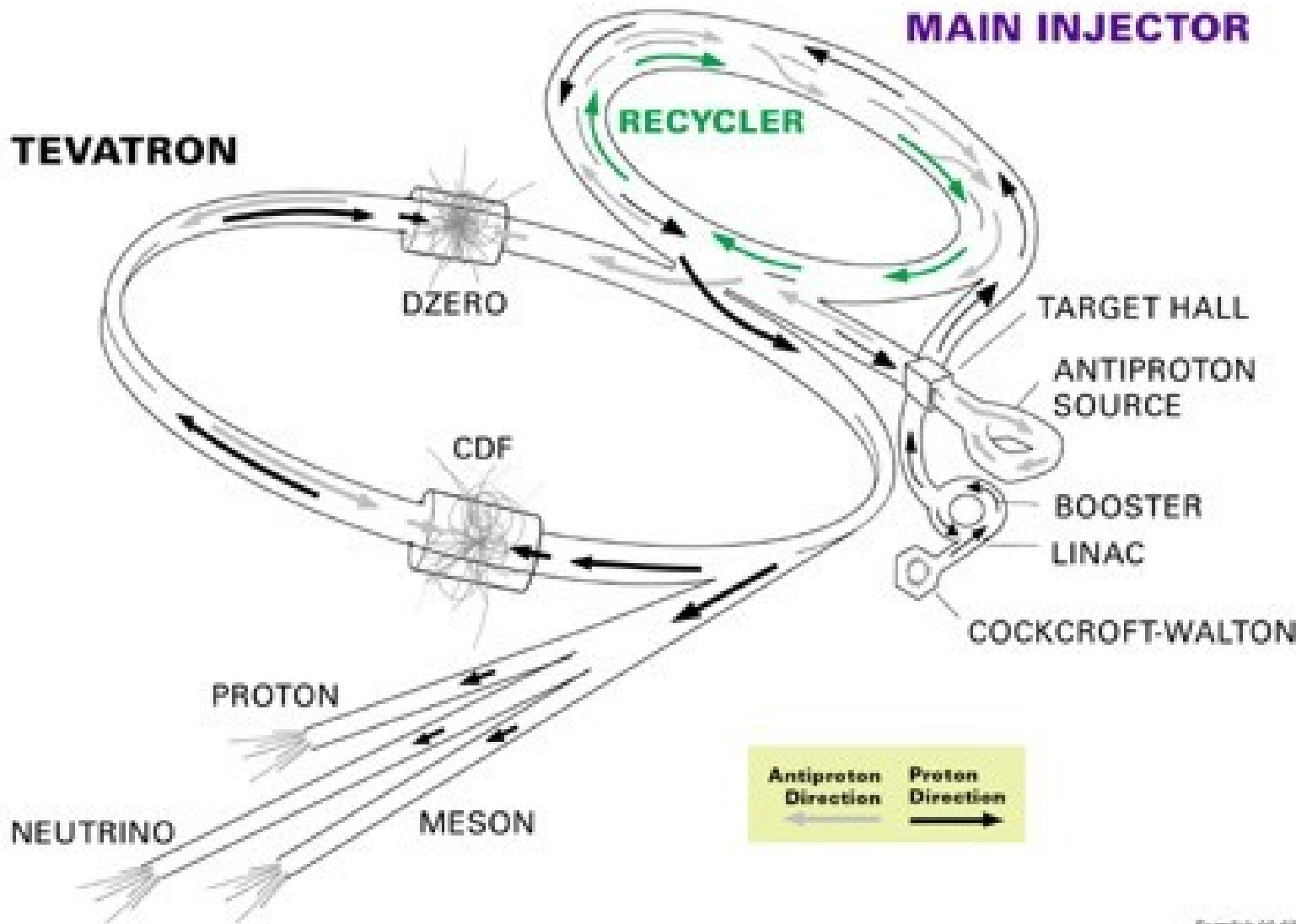
- Laboratoř v polích
- Robert Wilson: ředitel
- Plánovali 200 GeV,
pak 400 GeV,
nakonec
- 2x500 GeV
=TeVatron



Fermilab (TeVatron)



FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



Fermilab



CERN: SPS, 400 GeV

- 1977

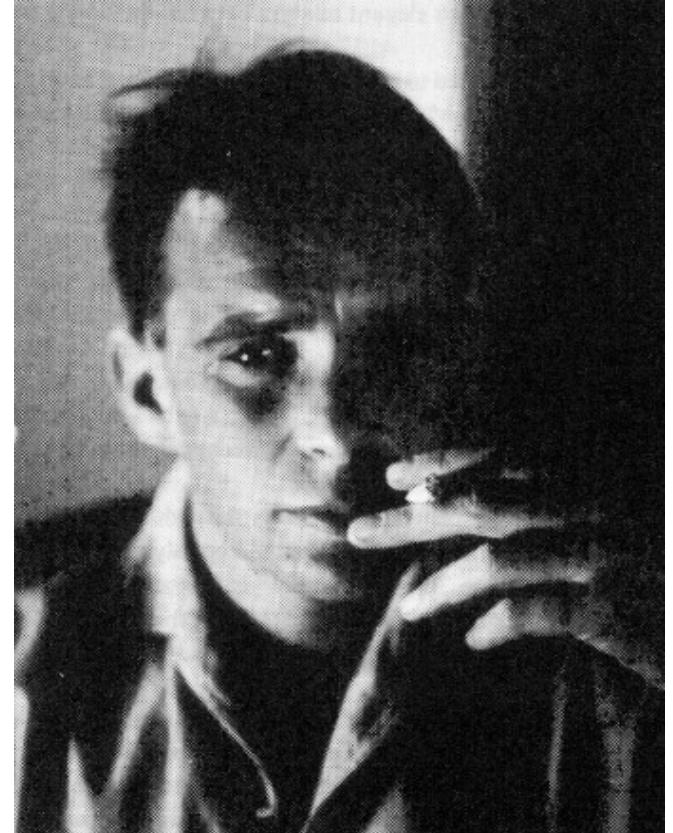


Vstřícné svazky

- R. Wideroe, německý patent, publikován 1953
- D. Kerst, , návrh, MURA, 1956
- Bruno Touschek, Řím, realizace, Frascati, ADA, e
- Akumulační prstence, Novosibirsk, e
- CERN, ISR, 30 GeV p
- CERN, SPS → SpS, 400 GeV
- S. van de Meer, stochastické chlazení
- Spolu s C. Rubiou, Nob.cena 1984

Bruno Touschek

- 1921, narozen ve Vídni
- Za války nemohl studovat na Univerzitě (matka Židovka)
- 1943 pozván R.Wideroem do Hamburgu ke spolupráci na betatronu
- 1945 zatčen gestapem za čtení zahraničního tisku, R.W. mu nosil *schnapps, cigarettes and his beloved books*
- Po válce dostudoval na Uni Gottingen, a pokračoval v Glasgowě
- 1952 nastoupil v Římě



Bruno Touschek

- 1961: úspěšná demonstrace prvního collideru ee AdA
- Popsal mnoho jevů (Touschekův jev)
- 1978 zemřel v Innsbrucku



Bruno Touschek

- 1961: úspěšná demonstrace prvního collideru ee AdA
- Popsal mnoho jevů (Touschekův jev)
- 1978 zemřel v Innsbrucku

