# 高エネルギー物理学の歴史

## 1. 放射線の発見

1895年　Rontgen, X線発見（第１回1901年 Novel prize）

1896年　Becquerel, 最初のウラン塩放射能発見（β崩壊）

1903年　Nobel prize

1987年　J.J.Thompson, 電子発見(e/$m_e$), 1906年Nobel prize

1898年　P. , M.Curie, ラジウム発見、放射能測定（α崩壊）

1910年　Wilson,霧箱で放射線αを見る。1927,Novel prize

1910年　Rutherford, 原子核の発見；

α粒子の金箔での散乱実験：

散乱されたα粒子をシンチレーションスクリーンでの輝点として目で測定した。1/20,000の確率で180°後方へ散乱するのがミステリーだった。

注）α線は1902年Rutherfordにより電子発見と同じように粒子と決定された。

1912年 N.BohrはManchester大学にRutherfordを尋ねて量子論（原子）のアイデアを生み出した。

1918年　RutherfordはJ.J.Thompsomの後を引き継いでCavendish教授となる。

1919年　Rutherford, αと水素ガスとの散乱より陽子の発見

1930年　Pauli, ニュートリノ仮設

この時、N.Bohrはエネルギーの非保存を提案した。

1932年　Chadwick, 中性子を発見。$\alpha \rightarrow \beta_e \rightarrow n$ X, nといろいろのガスとの散乱によりその質量を決定した。$m_p \tilde{m}_n$

1935年　Nobel prize

1932年　Cockcroft-Walton Machine,800KeVのpを$L_i$に衝突させ、初めて人為的に核分裂を引き起こした。$p \rightarrow L_i \rightarrow 2\alpha$を霧箱で測定した。

## 2.宇宙線による発見

1932年　Anderson (Caltech), 陽電子を発見,1936,Nobel Prize
Blackett & Occhialiniは、Geiger-couterでtriggerしてsensitivityを1/20→4/5にし、Andersonの発見を確認した。
Blackett, 1948年 Nobel prize

1933年　Fermi, b崩壊の理論；$G_N J_\mu J^\mu$, 1938年Nobel prize
1935年　湯川、π中間子論

1936年　Anderson etc., 電子より透過率の高いmesotronsを発見、後のμであるが湯川はπ中間子と主張した。

1946-47年　Rochester & Butler (Manchester), "vees"(V shaped particles)を発見、実はStrangenessの発見。
磁場中に置かれた霧箱の上下を鉛で挟まれた 2 組のGeiger-counterのcoincidenceで宇宙線をtriggerした。
1946-47年　Rochester& Butler, 陽子より重いV粒子を発見。
測定器を高度2850mのPic du Midi (French Pyrenees)に設置し、10,000個の写真を撮った。

1947年　Powell & Occhialini (Bristol), emulsion でπを発見。
a few 100 μmでμに崩壊するπをemulsionで観測した。霧箱では不可能。

当時Emulsion技術が格段に進歩した。以前はα,pしかsensitivityがなかったが電子まで測定可能になっていた。

1949年　湯川秀樹、ノーベル賞
1950年　Powell , Nobel prize

3. 加速器とともに

1931年　Lawrence, Cyclotron, 13cm diameter,80KeV陽子
1932年　Lawrence & Livingston, Cyclotron, 28cm diameterで陽子を1MeVに加速した。
同年運転のCockcroft-Walton Machineのときとは違って、物理へのapplicationを考えてはいなかった。
1939年　Cyclotron, 1.5m diameter, 19MeV Deuteron.
1939年　Lawrence, Nobel prize

1946年　McMillan, Synchrocyclotron, 4.6m diameter：rf周波数を相対論的効果を補正するため可変にし、deuteronsを195MeVまで加速した。cyclotronでは25MeVが限界。

1949年　Berkeleyで$\pi^0$発見。

1947年　US Atomic Energy Commission approved two Synchrotrons：rf周波数と磁場を同時に可変にした。
Synchrocyclotronより小型にでき、より高い□エネルギーの加速が可能。

(1) Cosmotron (BNL),  3GeV Proton-Synchrotron
1952年に稼働：$\pi$'s, $\Sigma^-$,(K,$\Lambda$) associate production etc.

(2) Bevatron (Berkekey), 6GeV Proton-Synchrotron
1954年に稼働：$10^{10}$ppp, 6.2GeV, $\bar{p}$の発見を目指した。

# $\bar{P}$（反陽子）の発見

1955年　Segre, Chamberlain, Wiegand, Ypsilantis：10GeV, $\bar{P}/\pi$=1/50,000

彼等は反陽子を識別するために 2 つの方法を用いた。

まず内部標的で作られた 2 次粒子の内、負電荷のものを磁場で選り分ける。適当なスリットにより運動量のそろった負電荷粒子が測定器に入る。

(1)　時間差法(Time of Flight Method)
12m離れた2組のPlastic Scintillator counterでそれらを通過する時間を測定する。陽子の質量をもつ反陽子は通過するのに$\pi^-$より11nsec余計にかかる。このことを利用してgateをかけて計数した。

(2)　Cerenkov光による粒子識別法
Cerenkov光のしきい値の違う2種類のものを利用した。1つはorganic Liquid($C_8F_{16}O$)で反陽子より速い粒子のみが光を出し、もう1つは反陽子も含めて光を出すfused(溶解) quartzであった。

1959年　Segre, Chamberlain, Nobel prize

# Neutorino

1956年　Cowan & Reines (Los Alamos National Laboratory), Savannah River reactor experiment: "the hardest physics experiment they could think of ".　ニュトリノ『発見』

$\bar{\nu}\ p \rightarrow n\ e^+,\ e^+\ (e^-) \rightarrow \gamma\gamma,\ n\ Cd \rightarrow \gamma s\ X$, 標的のpは水でCdはその水に溶解している塩化カドミウムで、生成されたγ線を回りに置かれた液体シンチレーターで測定した。

Reines, 1995年 Nobel prize

1956年　Lee & Yang, パリティー非保存（$K^+$崩壊）

1957年　Lee & Yang, Nobel prize

1957年　Feynman & Gellmann, V-A理論

# 4. Proton Synchrotron

1952年　Livingston, Courant, Snyder,  Strong Focussing (Berkeley)

ビームの収束・発散を繰り返して中心軌道付近で加速する。Bevatronなどのweak focussing machineに比べて真空パイプの断面積がひじょうに小さくでき磁石の大きさもしたがって小さくなる。Bevatronの真空パイプの断面は30cm(height)x120cm(wide)であり、1957年に稼働したDubnaの10GeV-PSは40cm x 150cmであり総重量が36,000tonnesもあった。

1952年　Glaser(Michigan), Bubble chamber発明。

- Breakthrough for particle detector
- Glaser, 1960年　Nobel prize.
- Alvarez, 1969年 Nobel prize for  resonances.

1951年  Pierre Auger (Director of Natural Science of UNESCO) suggested not only a modest synchrotron but also  the biggest and best accerel in the world. 第 2 次世界大戦後のヨーロッパの統一の一つの手段として。

CERN (Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire) 発足。

1959年　J.Adams, 25GeV PS, 100 magnets,100m radius, 3,200 tonnes (1/10 of 10GeV Dubna)

1960年　AGS (BNL) 30 GeV PS

1962年　Neutrino beam experiment(BNL), Lederman, Schwartz, Steinberger, 1988年 Nobel prize.

1962年　Gellmann, Neemann, 8-hold way theory(quark mode

Gellmann, 1969年Nobel prize

1964年　$\Omega^-$発見(200cm bubble ch. AGS), $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 \pi^-, \Xi^0 \rightarrow \Lambda\gamma\gamma$

1960s　Kriernen (CERN), 福井、宮本、wire spark chamber

Bubble chamberは粒子の通過する前に膨張によりsuperheat 状態にしなければならないためtriggerできないが、wire spart chamberは容易にできしかもコンピューターへのデータの転送にも向いていた。

1964年　CP-violation experiment by using $K_L$ rare decay (0.1%), Cronin, Fitch, 1980 Nobel prize.

1967年　IHEP(Serpukhov) 70GeV PS

1967年　Weinberg, Electroweak theory, and Glashow, Salam,
1979年　Nobel proze

1968年　Charpak (CER), multiwire proportional chamber and drift chamber.　1992年　Nobel prize.

1972年　Fermilab, 200GeV PS (2km diameter) by R.Wilson,

偏向電磁石と収束電磁石とを独立させてさらにコンパクトでCost performance($250millions)のよいPSを建設した。

1973年　中性カレントの発見,Gargamelle bubble chamber (CERN)

1976年　Fermilab, 500GeV PS

1976年　SPS (CERN)　400 GeV PS.

1977年　b-quark発見, Upsilon (Fermilab)

# 5. Electron Linac

1934年　Hansen (Stanford), 3.6m, 6MeV Linac
1937年　 Russel & Varial,  Klystron
1953年　Stanford, 63.6m  600MeV
1956年　Idea of 3km long Linac, E>15GeV, Panofsky
1959年　SLAC,  recommended by President Eisenhower.
1967年　20GeV Linac (SLAC),  30GeV upgrade
1967-70年　Deep Inelastic Scattering Experiments,
Taylor, Friedman, Kendall, 1990  Nobel prize.

# 6. $e^+e^-$ Collider

1963年　ADA (Frascati) 0.25GeV ,$e^+e^-$衝突
1964年　SPEAR proposed, 1.3-2.4 GeV/beam
　　Stanford Positron Electron Asymmetric Rings
1974年　Mark-I(SPEAR), J/Ψ発見
　　Richter & Ting, 1976年Nobel prize
1974年　PETRA, PEP　proposed.
1975年　Mark-I, τ発見
　　Perl, 1995年 Nobel prize
1978年　DORISでUpsion spectroscopy
1978年　PETRA completed. 周長2.3km
1979年　CESR (Cornell)
1980年　PEP completed.
1981年　TRISTANが国会で承認された。
1984年　PETRA, maximum energy of 23GeV/beam.
1986年　TRISTAN completed.
1989年　SLC completed.
1989年　LEP completed.
1995年　LEP-II　重心エネルギー130GeV.

# 7. $\bar{P}P$ Collider

1975年　ISR, Van der Meer, Stochastic cooling,　後に$\bar{P}P$ Coolingに応用された。

1981年　$\bar{P}$in SPS

1983年1月20日　Rubia(UA1), W発見、Wの電子への崩壊の6個の事象で論文。重心エネルギー = 540 GeV。
1983年6月　Z発見、$Z\rightarrow e^+e^-$(5個）,$Z\rightarrow \mu^+\mu^-$（1個）で論文
1983年8月　Zが8個、Wが52個観測された。

1983年2月 UA2でもW(4個）を確認した。

1984年　Rubia & Van der Meer, Nobel prize

1988年　CDF (Tevatron), $\bar{P}P$ 1.8TeV completed.