

新刊書籍 発売！ 2012年10月10日 刊行

「放射線を科学的に理解する
— 基礎からわかる東大教養の講義」

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著
中川恵一 執筆協力

丸善出版 本体 2500円＋税

- 1章 放射線とは？《放射線入門》
- 2章 放射線の性質《放射線物理学 I》
- 3章 原子力発電で生み出される放射性物質《原子核物理学・原子力工学》
- 4章 放射線量の評価《放射線物理学 II》
- 5章 放射線の測り方《放射線計測学》
- 6章 環境中での放射性物質《環境放射化学》
- 7章 放射線の細胞への影響《放射線生物学》
- 8章 放射線の人体への影響《放射線医学》
- 9章 放射性物質と農業《植物栄養学・土壤肥料学》
- 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
- 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など、多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会是非常に少ないのが実情です。

本書は、東京大学教養学部で行われた講義をもとにし、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので、高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kg.html>



放射線を科学的に理解する

鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎 著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

ごらんのファイル以外にも、別学期の講義シリーズのファイルがあります。

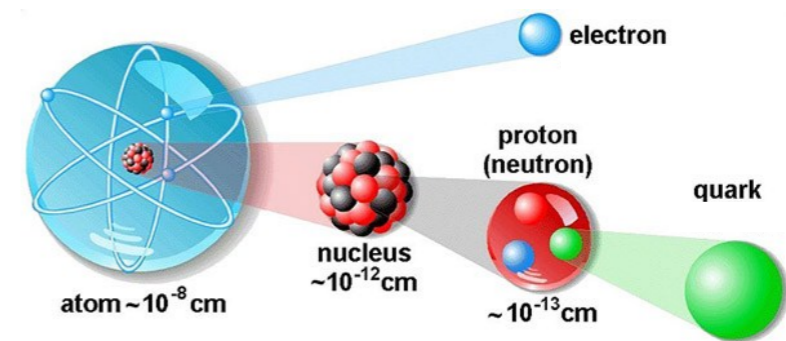
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

とあわせて、どうぞご利用下さい。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

2011年度夏学期
自主講義

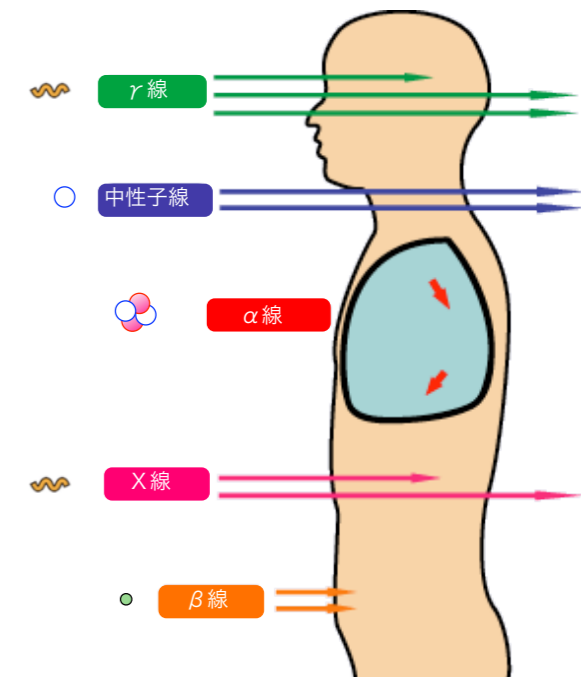
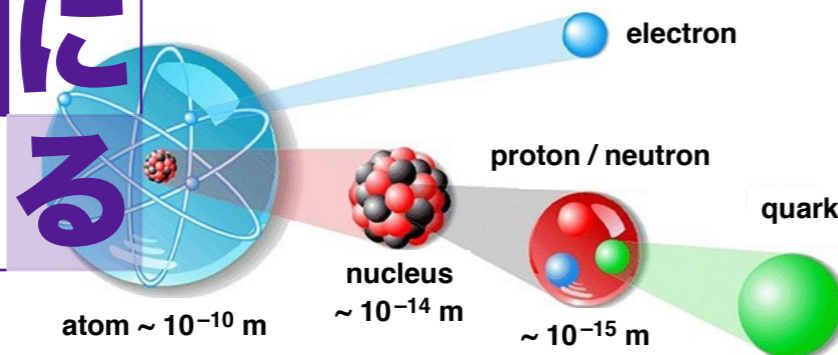
自主講義
放射線学



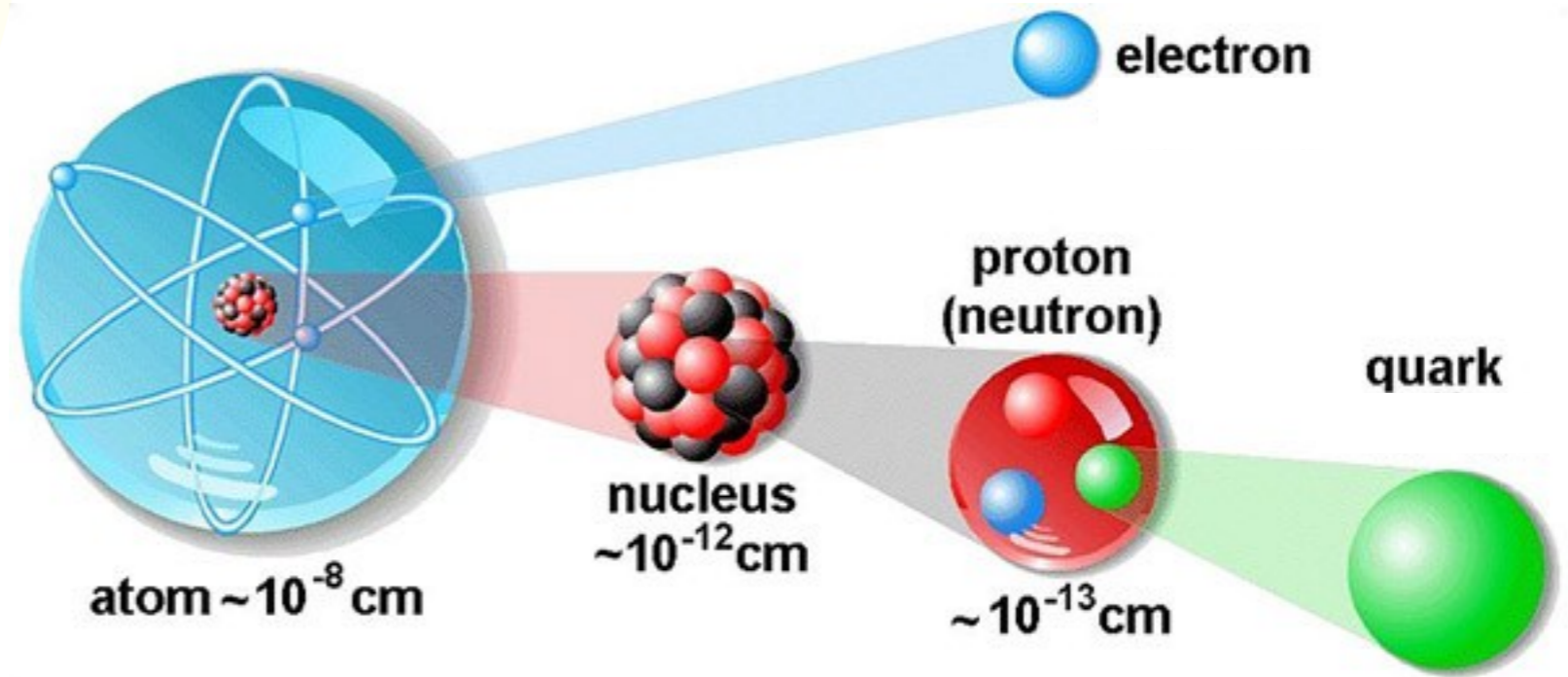
2011年度冬学期
主題科目テーマ講義

2012年度冬学期
主題科目テーマ講義

放射線を
科学的に
理解する



自主講義 「放射線学」



物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科



自主講義 「放射線学」

● 講義日程

● 第1回 5/10 (火)

● 第2回 5/17 (火)

● 第3回 5/24 (火)

● 第4回 5/31 (火)

● 第5回 6/ 7 (火)

● 第6回 6/14 (火)

● 討論会 6/28 (火)

物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

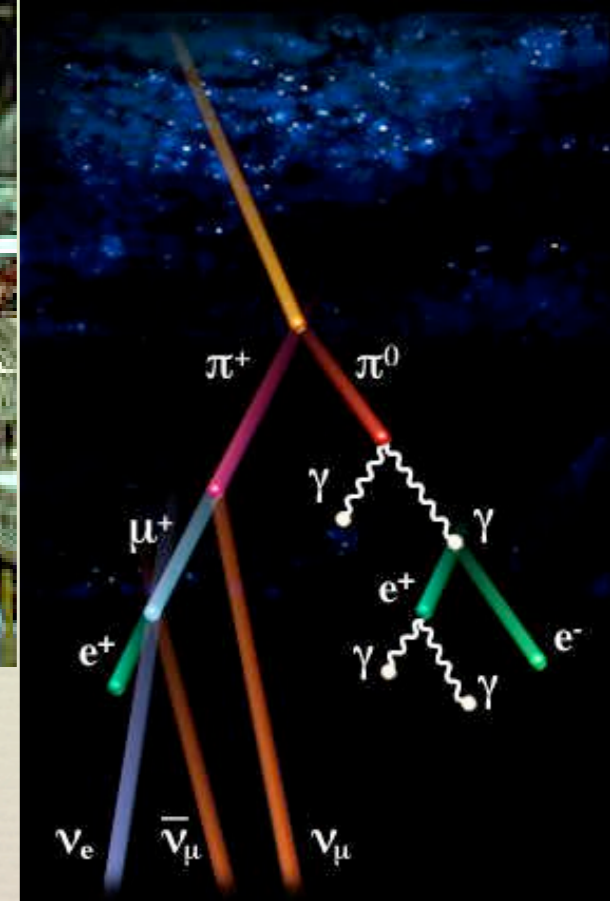
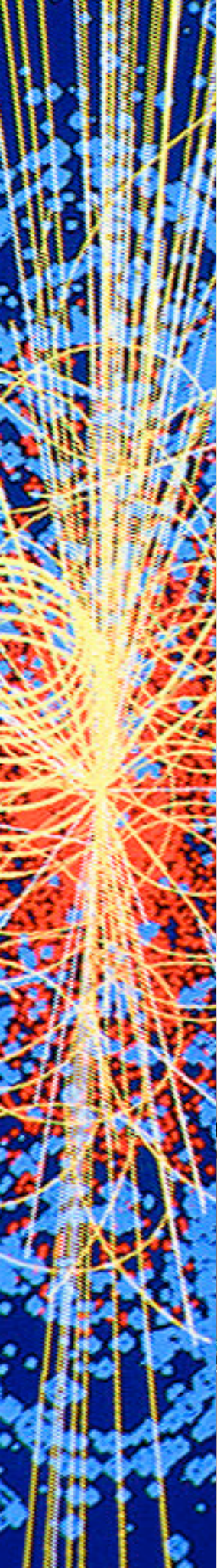
東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科

自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用
(6/7) 放射線診断・治療《放射線医療》
- 第6回：放射線の測定《放射線計測学》
(6/14) 高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》

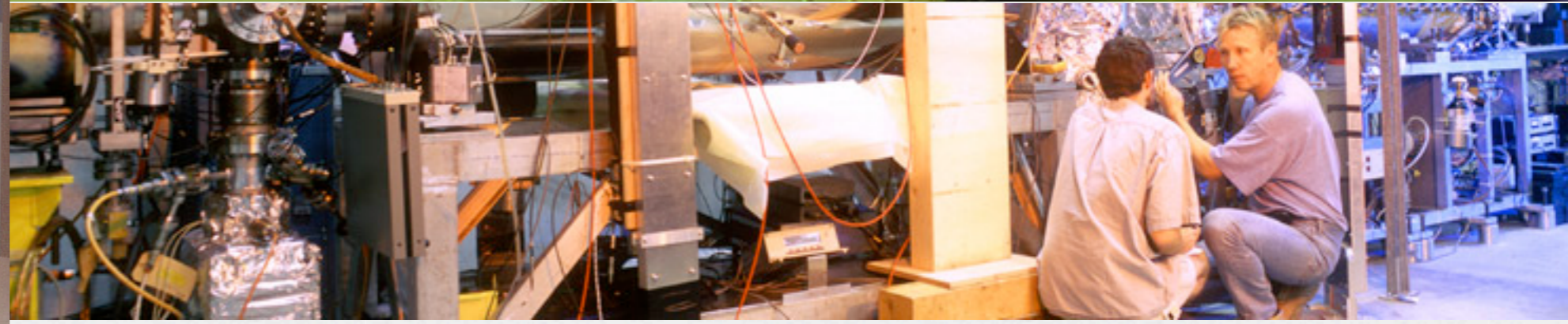
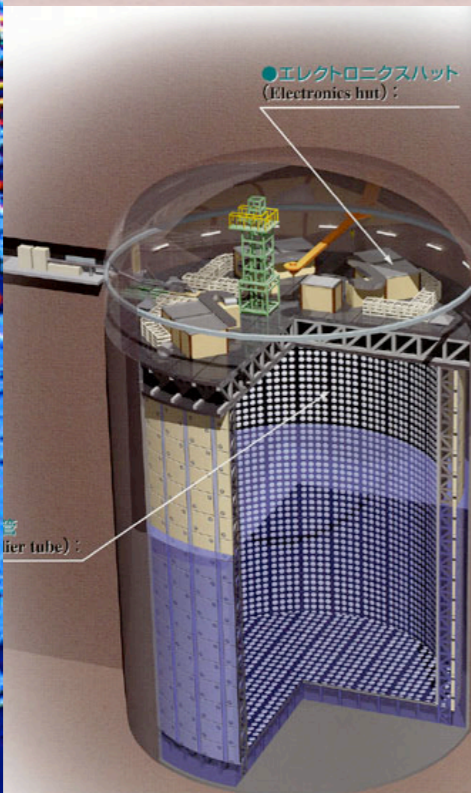
自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用 《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響 《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護 《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変 《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応 《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用
(6/7) 放射線診断・治療 《放射線医療》
- 第6回：放射線の測定 《放射線計測学》
(6/14) 高エネルギー・素粒子物理学 《加速器科学》



第6回 (6/14)

- 放射線の測定 《放射線計測学》
- 高エネルギー・素粒子物理学 《加速器科学》

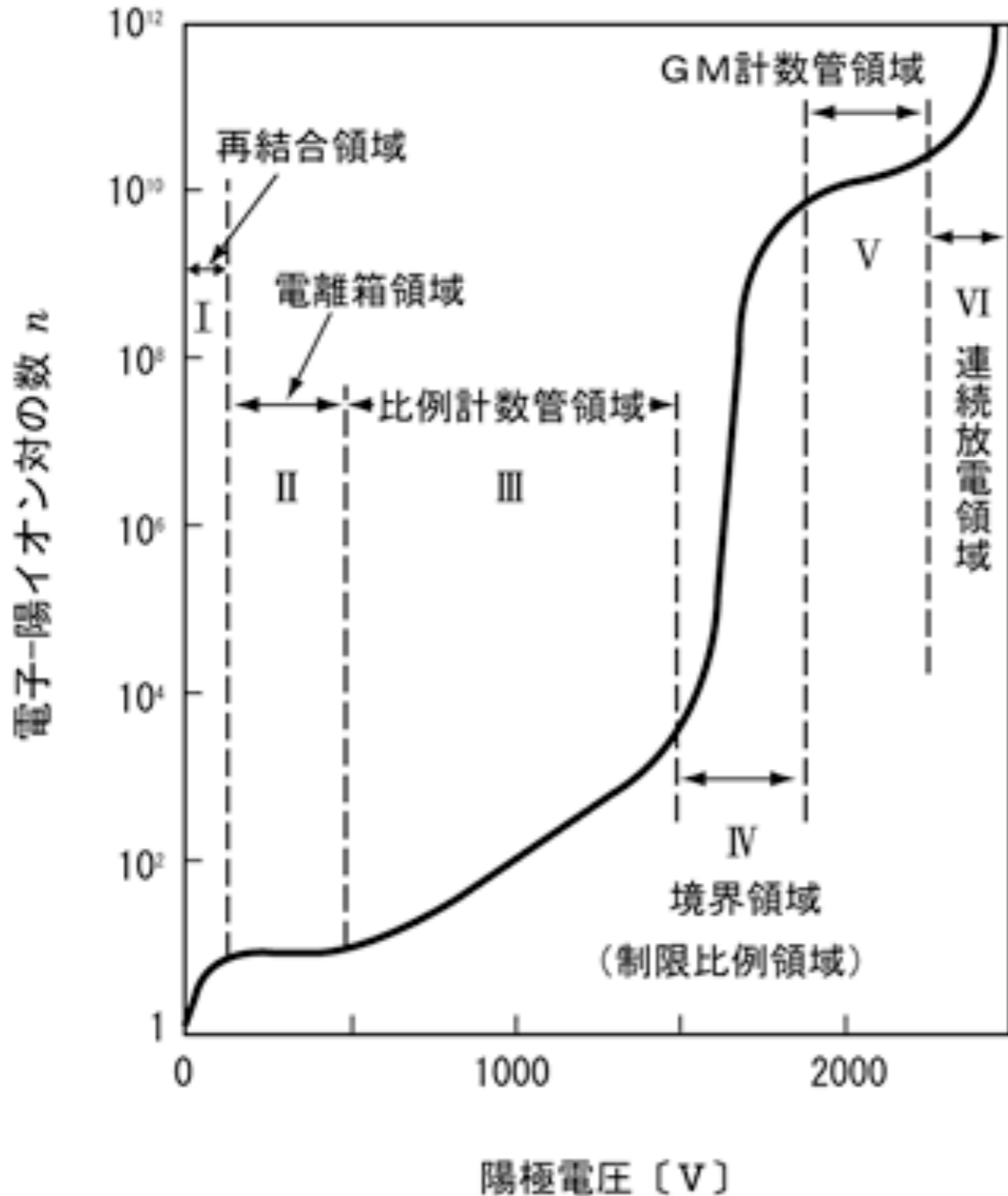


放射線計測学

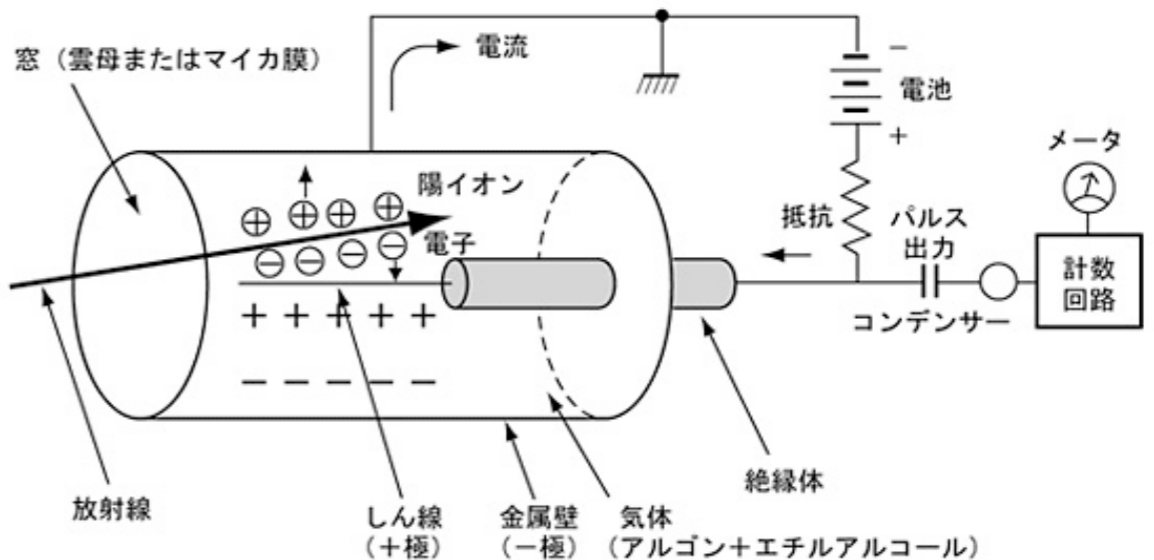
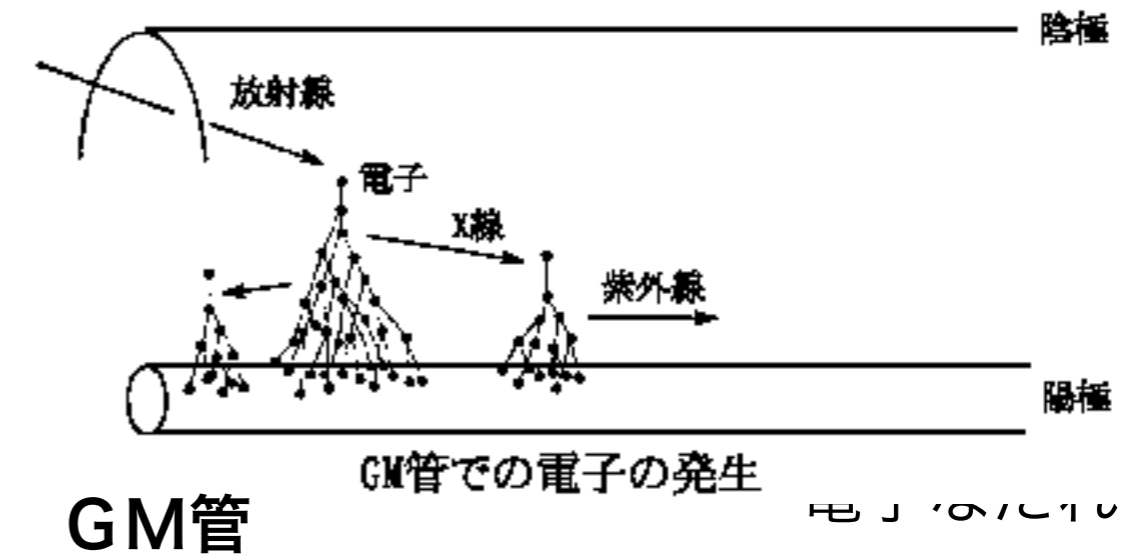
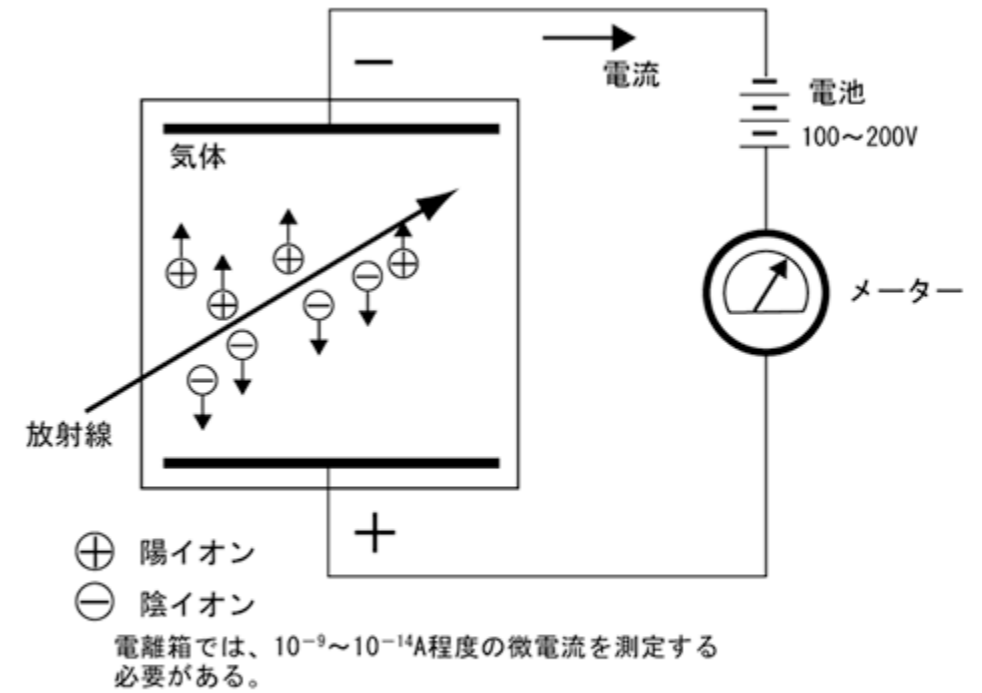
気体の電離を利用する放射線計測

電離箱, 比例計数管, GM管

(ガイガー・ミュラー管)

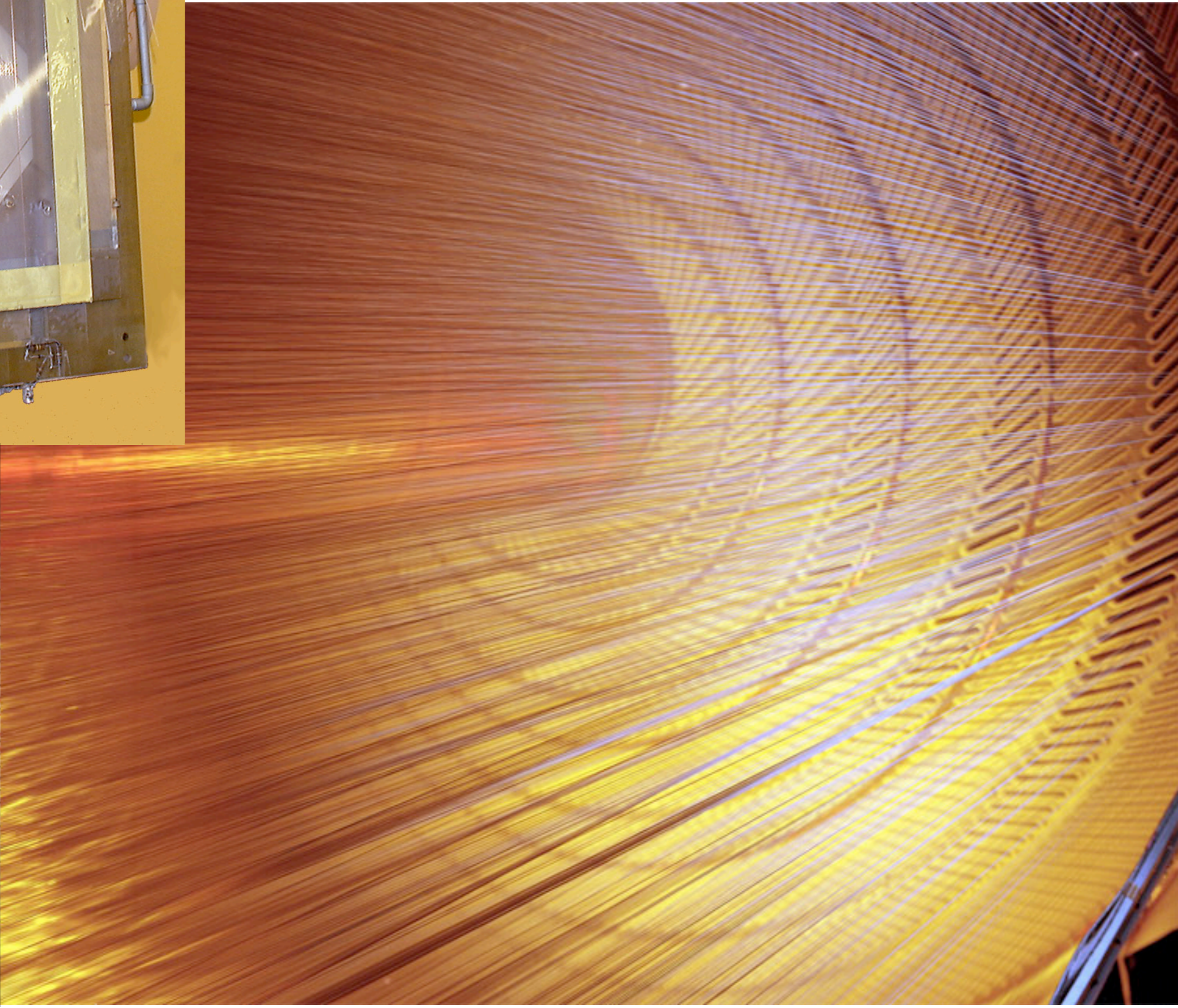
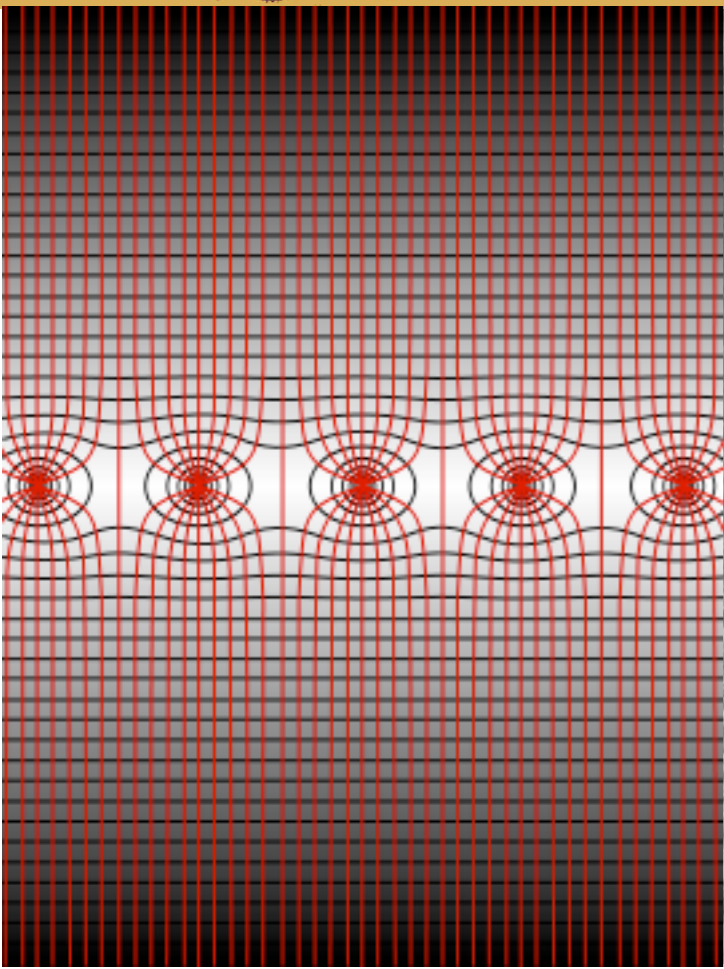
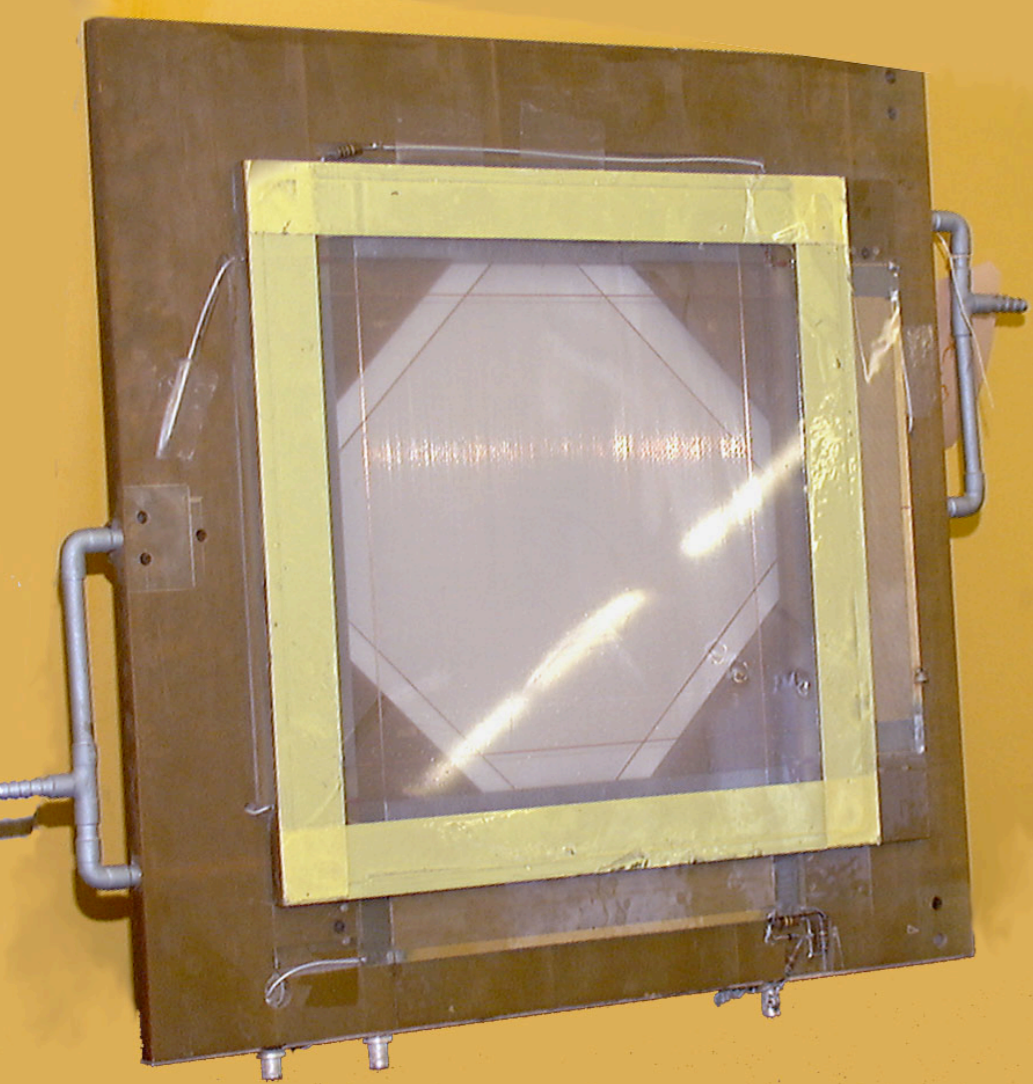


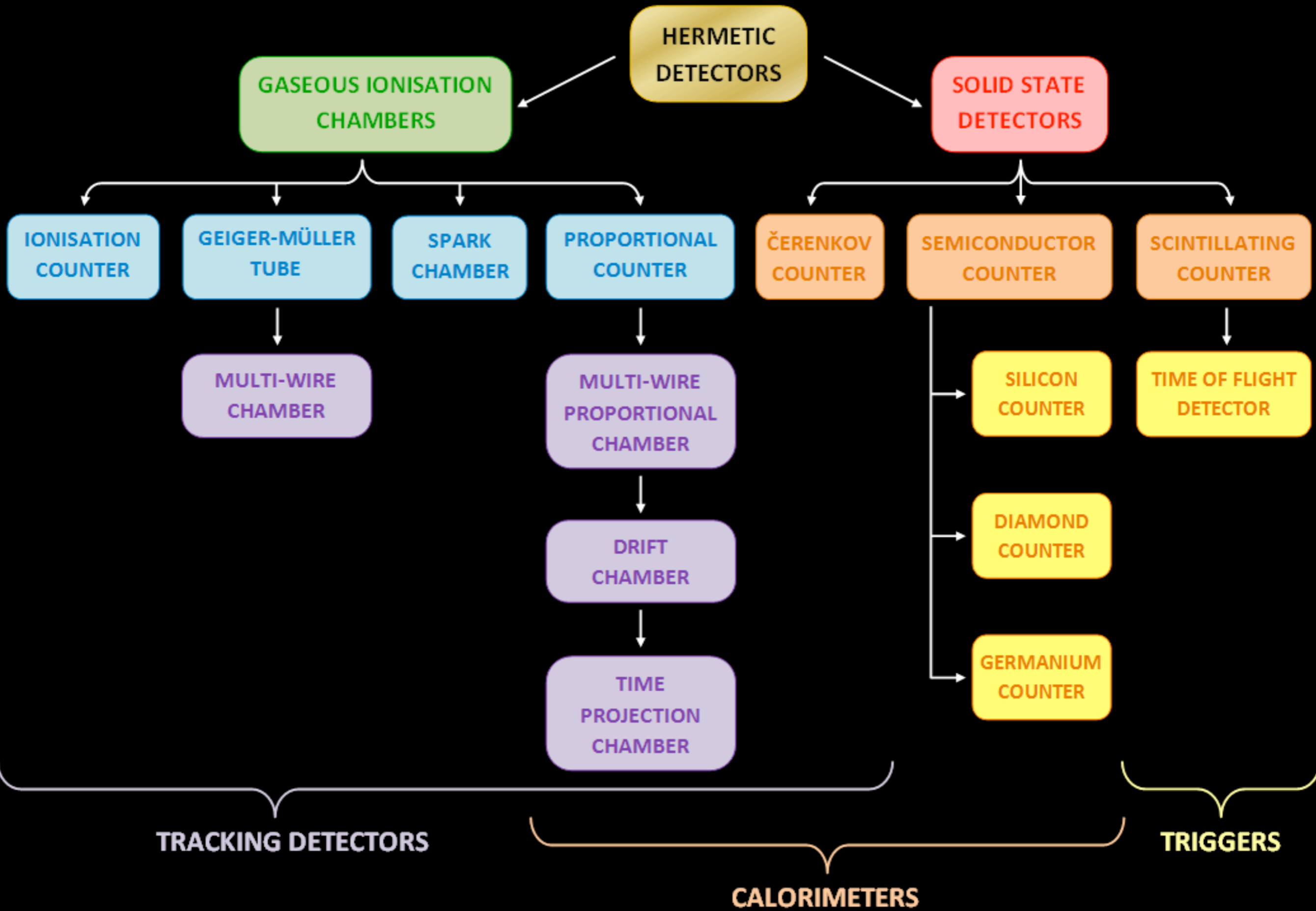
電離箱



ワイヤーチェンバー MWPC

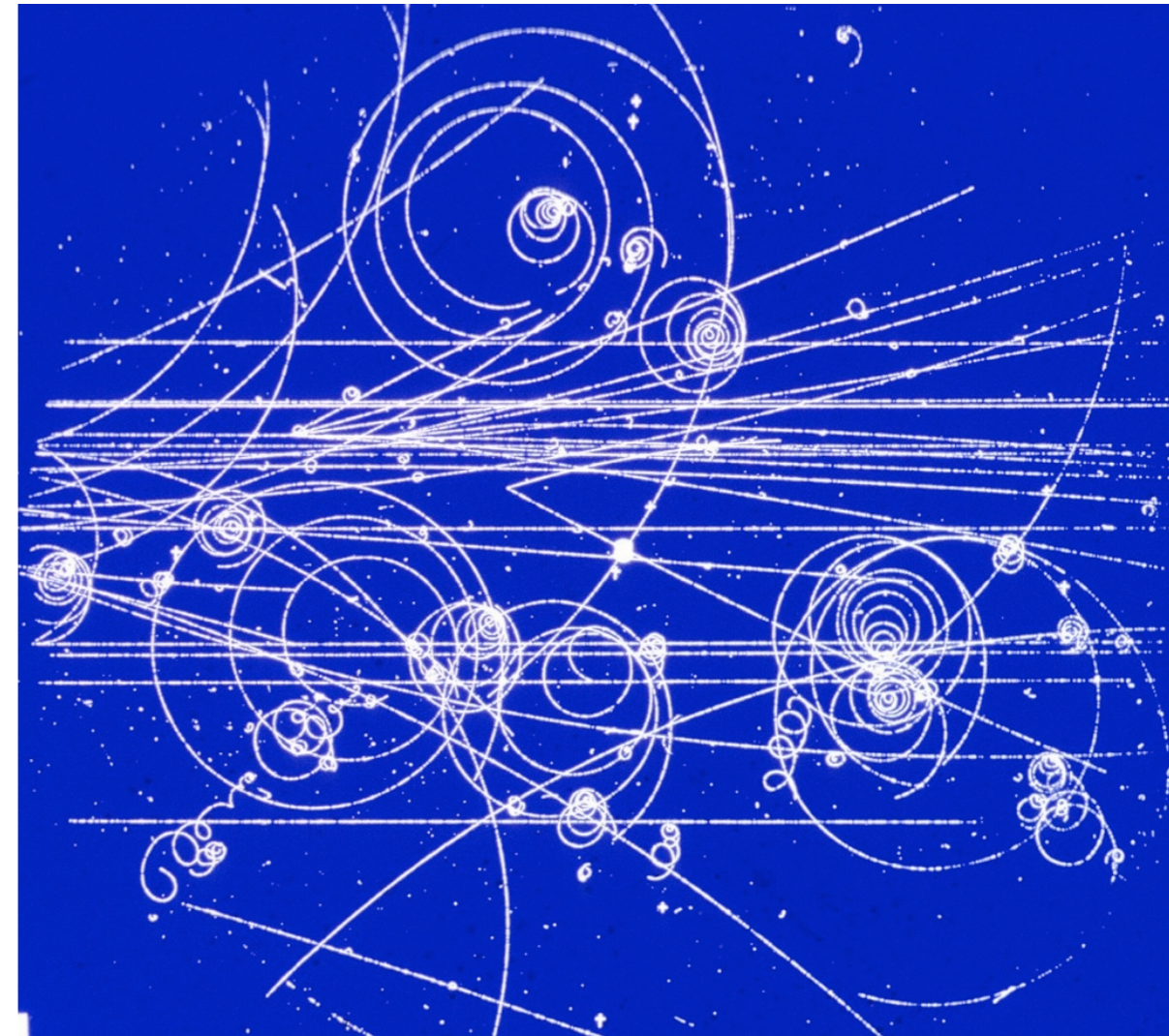
Multi-wire proportional chamber



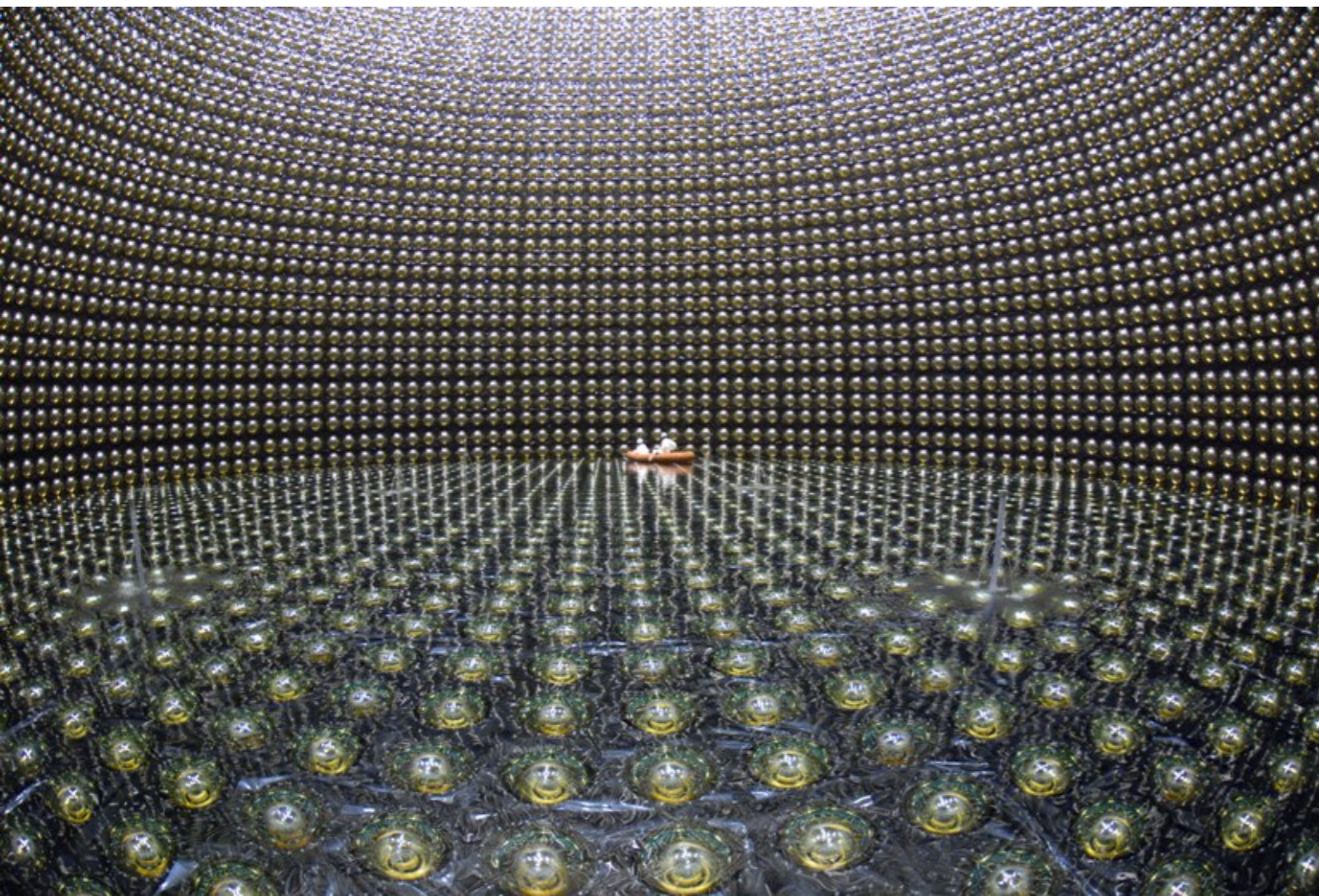
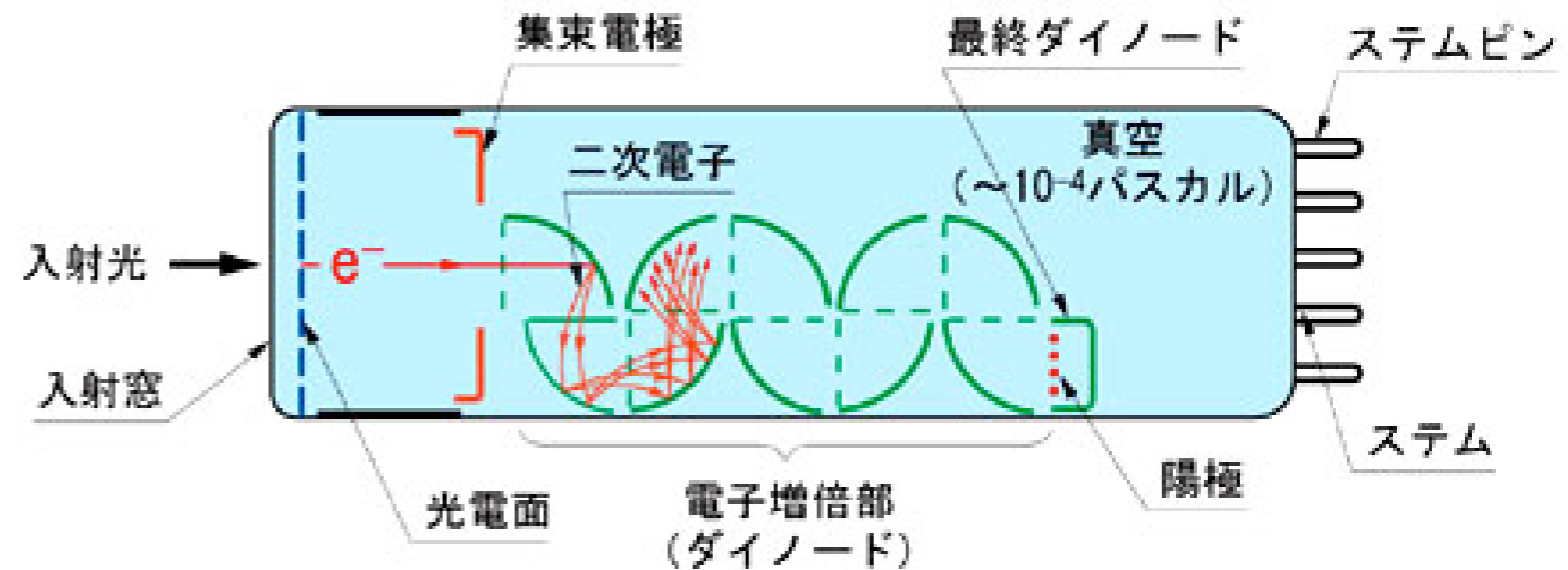


泡箱

Bubble chamber



光電子増倍管 (PMT: Photomultiplier tube)



光 ⇒ 光電効果 ⇒ 電子増幅
⇒ 電流

シンチレータとの組み合わせ
Scintillator

放射線 ⇒ 分子の励起 ⇒ 蛍光
光 ⇒ 光電子増倍管

シンチレータ (Scintillators)

シンチレータ
およびライトガイド

無機 : NaI (Tl), CsI, ZnS, BaF₂,
BGO, GSO など (γ線、X線)
Bi₄Ge₃O₁₂ Gd₂SiO₅

有機 : プラスチックシンチレータ (電子線)
例 : PPO, POPOP / ポリスチレン (荷電粒子)

: 液体シンチレータ

例 : p-テルフェニル / トルエン



ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

半導体検出器 (Semiconductor detectors)



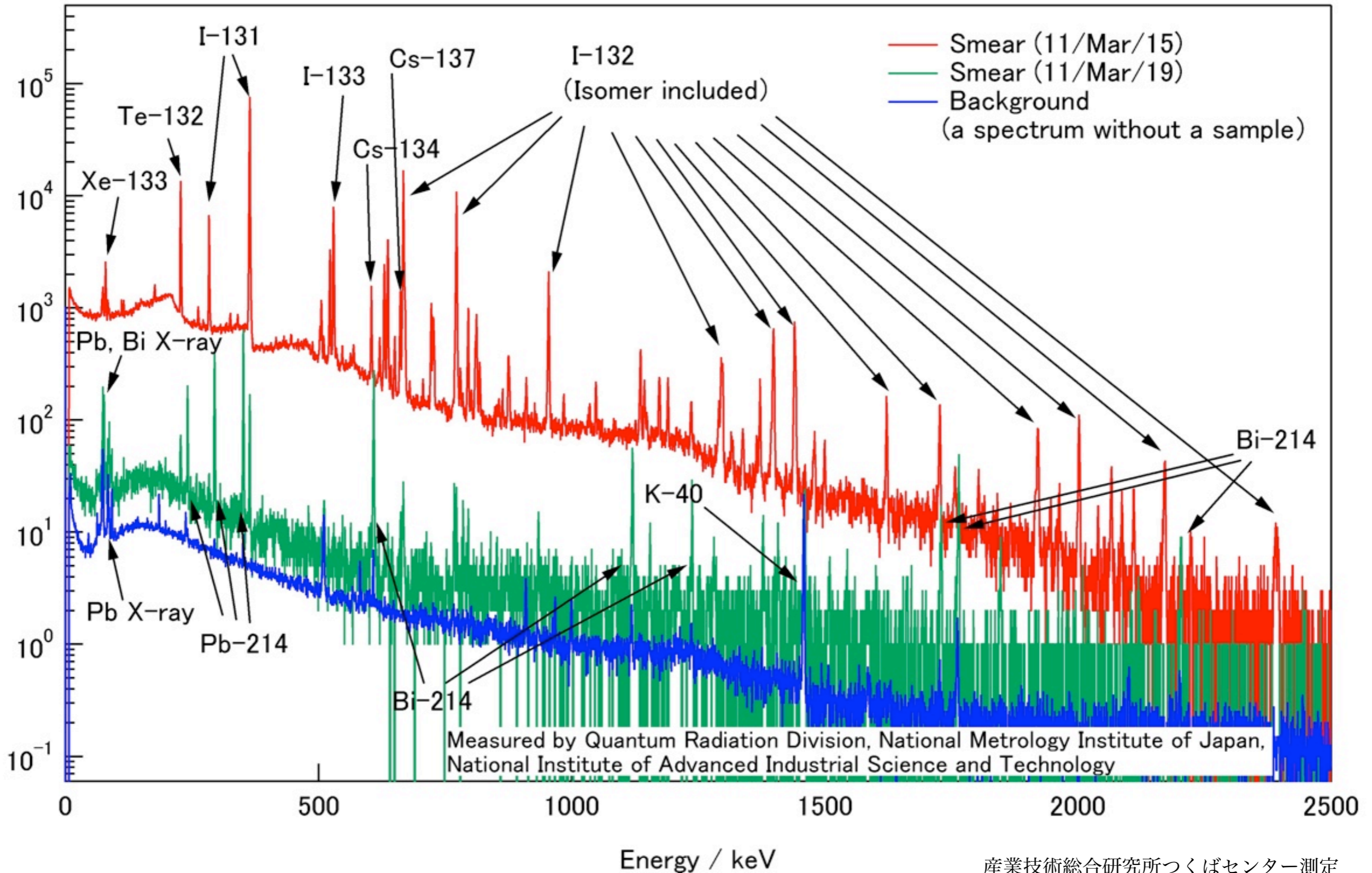
例 : Si(Li) 検出器、Ge 検出器 (高エネルギー分解能) (γ線)

放射線 ⇒ 電離 ⇒ 電子正孔対 ⇒ 電荷測定

電気パルス : タイミング : 粒子透過時刻

: パルス高 : エネルギー

γ線スペクトル (Ge 検出器)





表面汚染検査計 (例: GM サーベイメータ)



空間線量計 (例: NaI(Tl) サーベイメータ)



α線用シンチレーション式サーベイメータ



GM管式サーベイメータ(空間線量計)



GM管式サーベイメータ(汚染検査計)



電離箱式サーベイメータ(空間線量計)



中性子線サーベイメータ

サーベイメータ

線量計 (個人線量計、環境放射線測定)

フリック線量計 Fricke dosimeter



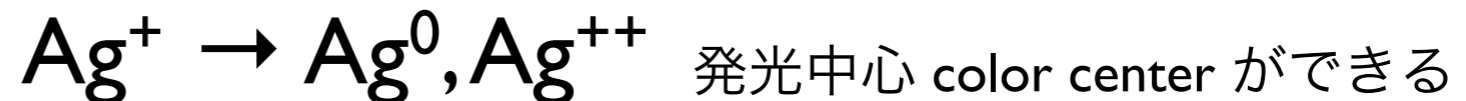
熱ルミネッセンス線量計 TLD: thermoluminescence dosimeter

蛍石などの固体結晶 + 放射線 → (加熱) → 蛍光

電子・正孔が格子欠陥に捕えられる

蛍光ガラス線量計 glass badge (RPL: radio-photoluminescence)

銀活性リン酸塩ガラス + 放射線 → (紫外線) → 蛍光



ガラス線量計: コバルトガラス → 発光中心 (着色)

光刺激ルミネッセンス線量計 OSL: optically stimulated luminescence

ポケット線量計: 電離箱、半導体検出器

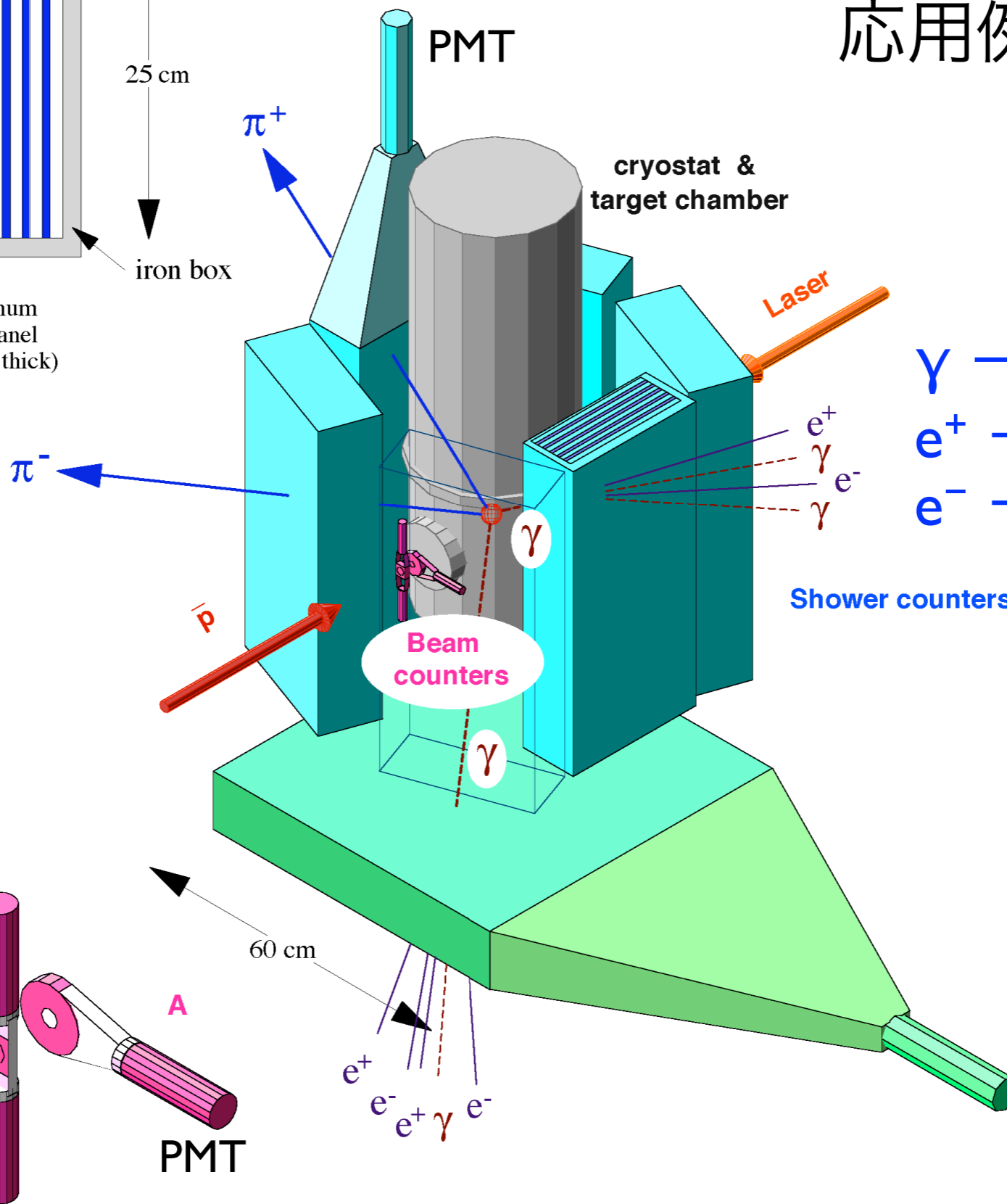
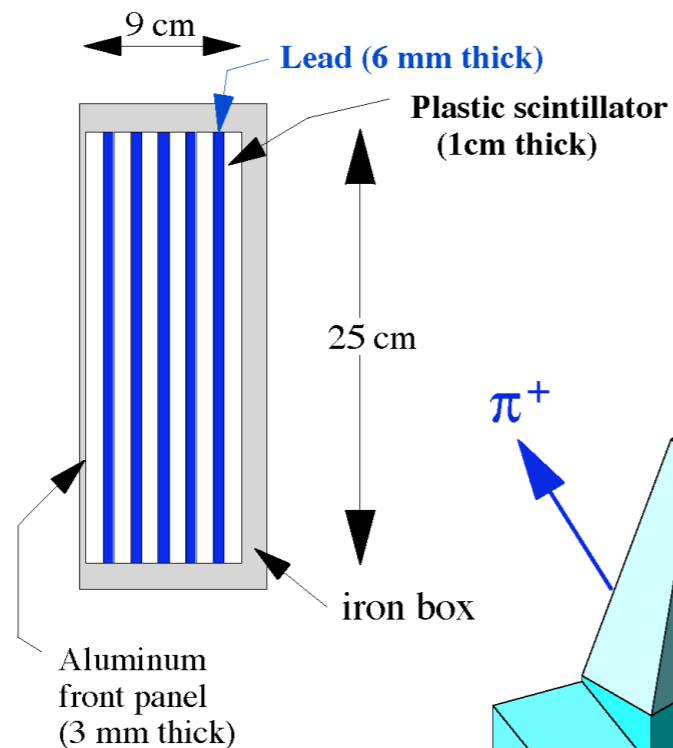
フィルムバッジ: 銀塩写真フィルム AgBr



シンチレーションカウンター

応用例

鉛：Z大
電子対生成
 $\gamma \rightarrow e^+ e^-$



$\gamma \rightarrow e^+ e^-$ (電子対生成)
 $e^+ \rightarrow e^+ \gamma$ (制動放射)
 $e^- \rightarrow e^- \gamma$ (制動放射)

電磁シャワー

高エネルギー物理学

～ 原子核物理学から素粒子物理学へ ～

■エックス線を発見

ヴィルヘルム・レントゲン
(1845-1923)

1895年、ドイツの物理学者レントゲンは、真空放電の実験中に黒いボール紙で覆われた放電管の電極からボール紙を通り抜け、目に見えないが写真乾板を感光させ、蛍光物質を光らせる性質を持った線を発見しました。この正体の分からないものを「ナゾの」という意味でx(エックス)線と名づけました。



ヴィルヘルム・レントゲン
(1845-1923)

■エックス線を発見

ヴィルヘルム・レントゲン
(1845-1923)

1896年、フランスの物理学者ベクレルは、写真乾板の上に薄い銅の十字架を置き、その上にウラン化合物の結晶を乗せて机の引き出しにしまってしまいました。後で乾板を現像すると、十字架の形がはっきりと写っていました。ウラン原子そのものに光を出す性質があると気づいた彼は、この線をベクレル線(後にアルファ(α)線とベータ(β)線であることが判明)と名づけ、発表しました。



アンリ・ベクレル
(1852-1908)

■放射性元素を発見

マリー・キュリー
(1867-1934)

ベクレルの研究に刺激を受けたキュリー夫人は、夫のピエールとともにウランの性質を調べました。1898年にはウラン化合物の400倍もの感光作用を持つ新元素・ポロニウムを発見。この名前は、夫人の祖国であるポーランドにちなんでつけられた。彼女は、「放射線」「放射能」の名づけ親でもあります。



マリー・キュリー
(1867-1934)

■放射性元素を発見

マリー・キュリー
(1867-1934)

イギリスの物理学者ラザフォードは、1903年に放射性物質のラジウムを使った実験で、原子の種類が変わるときに3種類の放射線が出ることを知り、それぞれにアルファ(α)線、ベータ(β)線、ガンマ(γ)線と名づけました。原子は変わらないと信じられていた当時、この発見は大きな波紋を投げかけました。



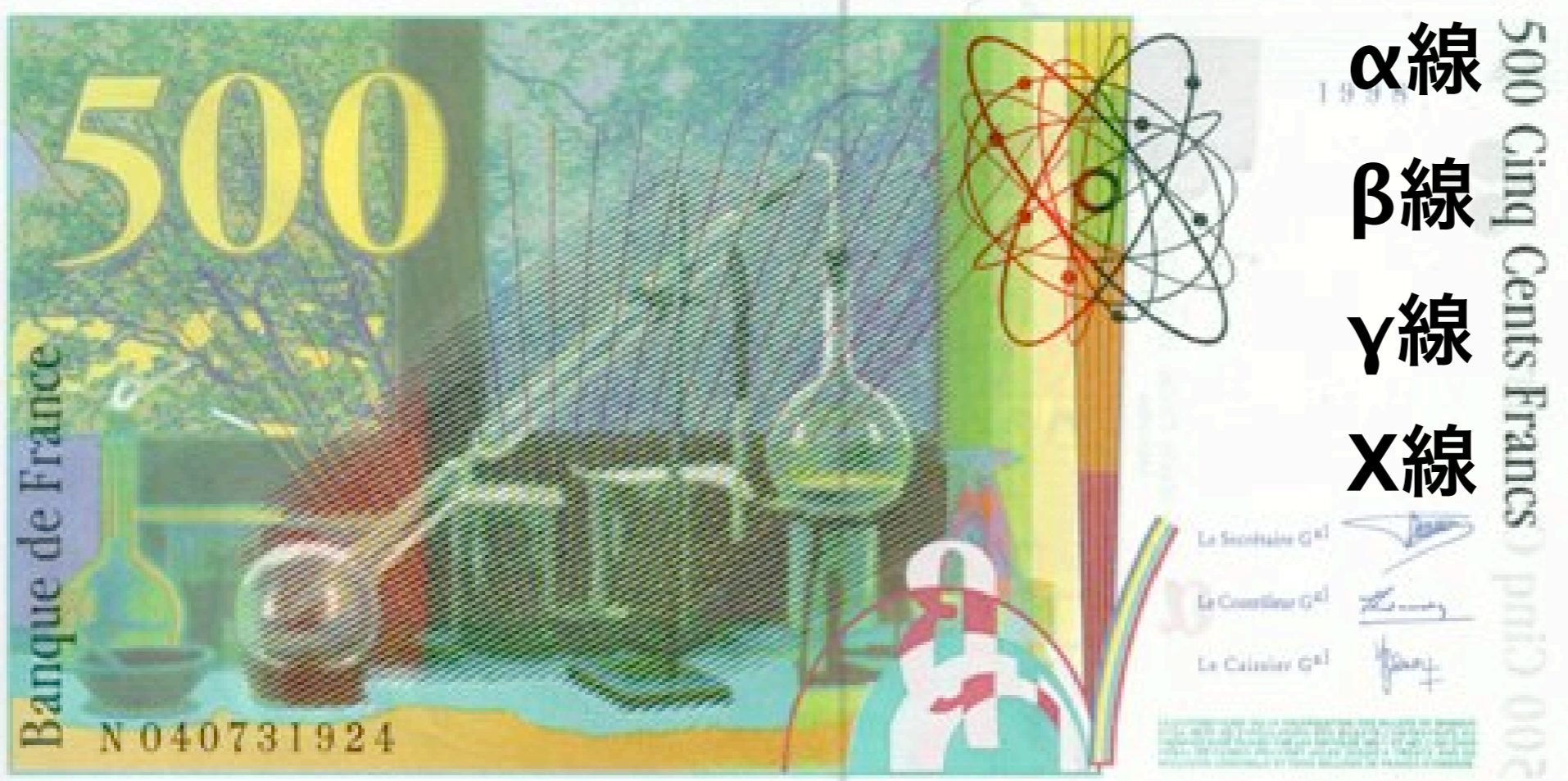
アーネスト・ラザフォード
(1871-1937)



M. Curie & P. Curie



Billet de 500 Francs Français
en circulation: 1993–1999



- α 線 ヘリウム原子核
- β 線 高速の電子
- γ 線 光子 (電磁波)
- X線 光子 (電磁波)



分子
molecule

nm (10^{-9} m)

ナノメートル

化学

eV

電子ボルト

Chemistry



原子
atom

原子物理学

Atomic Physics

Å (10^{-10} m)

オングストローム

eV – keV

数電子ボルト～

キロ電子ボルト

錬金術はなぜ失敗したか



原子核
nucleus

原子核物理学

Nuclear Physics

fm (10^{-15} m)

フェムトメートル

MeV

メガ電子ボルト



陽子
proton

素粒子物理学

Particle Physics

am (10^{-18} m)

アトメートル

GeV

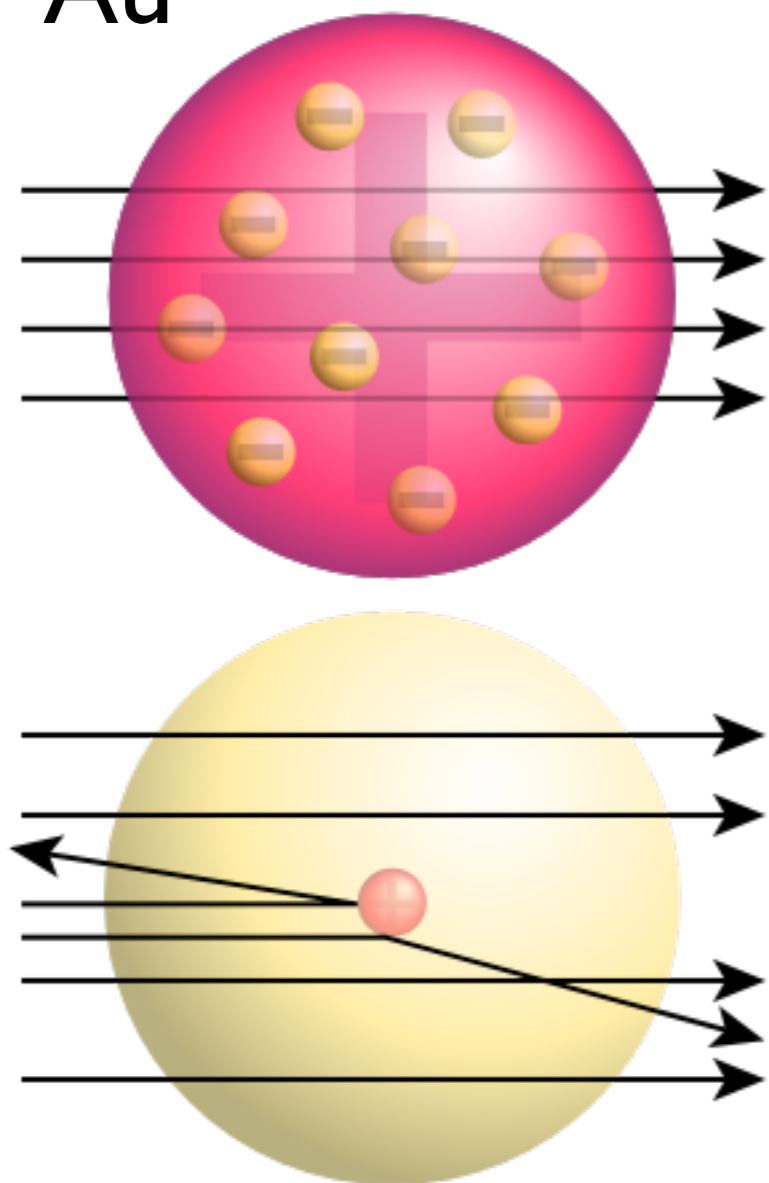
ギガ電子ボルト



クォーク
quark

ラザフォード散乱

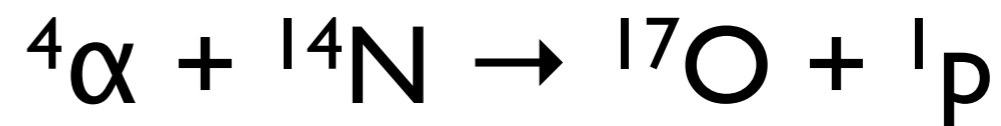
$\alpha + \text{Au}$



ラザフォードの原子模型

初の核変換実験

窒素ガス中において、Po からの α 線の到達距離の実験をしていた。



何らかの粒子が 40 cm 先の蛍光版を光らせた。
(α 線の到達距離は 1 気圧空気中で数cm程度)



E. Rutherford

Nuclear Science

Nuclear Science is the study of the structure, properties, and interactions of the atomic nuclei. Nuclear scientists calculate and measure the masses, shapes, sizes, and decays of nuclei at rest and in collisions. They ask questions, such as "Why do nucleons stay in the nucleus?" "What combinations of protons and neutrons are possible?" "What happens when nuclei are compressed or rapidly rotated?" "What is the origin of the nuclei found on Earth?"

Legend

- electron (e^-)
- positron (e^+)
- neutrino (ν)
- antineutrino ($\bar{\nu}$)
- quark
- gluon field
- gluon
- photon (γ)
- Nucleon: $A = Z + N$

Expansion of the Universe

After the Big Bang, the universe expanded and cooled. At about 10^{-36} second, the universe consisted of a soup of quarks, gluons, electrons, and neutrinos. When the temperature of the Universe, T_{univ} , cooled to about 10^9 K, this soup condensed into protons, neutrons, and electrons. As time progressed, most of the protons and neutrons formed deuterium, helium, and lithium nuclei. Still later, electrons combined with protons and these low-mass nuclei to form neutral atoms. Due to gravity, clouds of atoms condensed into stars, where hydrogen and helium fused into more massive chemical elements. Expanding and impermeable from the most massive elements and dispersed them into space. Our earth was formed from supernova debris.



Phases of Nuclear Matter



Unstable Nuclei

Stable nuclei form a narrow white band on the Chart of the Nuclides. Scientists produce unstable nuclei far from this band and study their decays, thereby learning about the extremes of nuclear conditions. In its present form, this chart contains about 2500 different nuclides. Nuclear theory predicts that there are at least 4000 more to be discovered with $Z \leq 112$.



Radioactivity

Alpha Decay: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ (alpha particle)

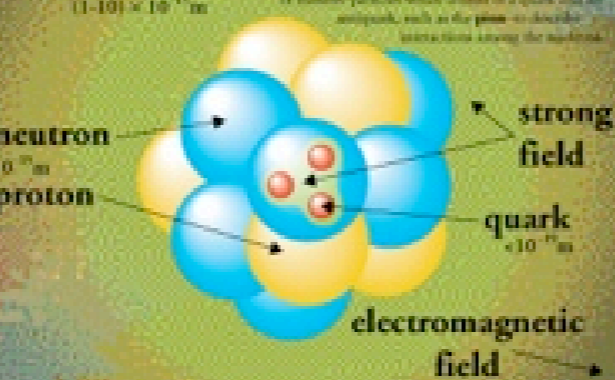
Beta Minus Decay: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$ (beta particle)

Beta Plus Decay: ${}^{11}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu_e$ (beta particle)

Gamma Decay: ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$ (gamma ray)

Radioactive decay transforms a nucleus by emitting different particles. In alpha decay, the nucleus releases a ${}^4_2\text{He}$ nucleus—an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a proton and neutrino or captures an atomic electron and emits a positron and neutrino. A positron is the same for the antiparticle of the electron. Antineutrino is composed of anti-particle. Both alpha and beta decays change the original nucleus into a nucleus of a different chemical element. In gamma decay, the nucleus lowers its internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

The Nucleus



In an alpha emission, energy around the nucleus at distances comparable to 10^{-10} m, drives the nucleus to emit. If the distance is about 10^{-12} m, the alpha particle is emitted.

Nuclear Energy

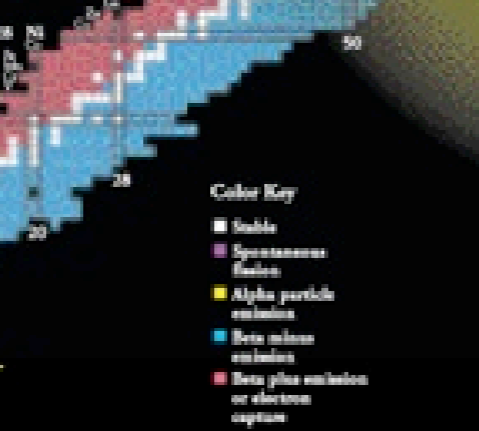
Fission: ${}^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Xe} + {}^{90}_{38}\text{Sr} + 2n$

Fusion: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$

In the early stages of nuclear reactions of our sun and other stars, hydrogen fuses to form helium, releasing energy in the form of photons (light) and neutrinos. During the later stages of stellar evolution, more massive nuclei up to and beyond uranium are synthesized by fusion. By measuring the number of reactions that come from the Sun, scientists recently have demonstrated that reactions must have a rate greater than zero.

Chart of the Nuclides

The Chart of the Nuclides presents in graphic form all known nuclei with atomic number, Z , and neutron number, N . Each nuclide is represented by a box colored according to its predominant decay mode. Magic numbers (2 or $Z = 2, 8, 20, 28, 50, 82$ and 126) are indicated by a rectangle on the chart. They correspond to major closed shells and show regions of greater nuclear binding energy.



Applications

Radioactive Dating: Recently, scientists have used radiocarbon dating with ${}^{14}\text{C}$ to find out how old things are. For example, a study of pollen found at the site, scientists determined that the landscape was built nearly 4,000 years ago.

Smoke Detectors: Many smoke detectors use a small amount of the alpha emitter ${}^{241}\text{Am}$ to ionize the air. Smoke entering the detector reduces the current and sets off the alarm.

Nuclear Medicine: Radiative tracers such as ${}^{99m}\text{Tc}$, ${}^{131}\text{I}$, and ${}^{18}\text{F}$ are commonly used in the diagnosis and treatment of illness. Nuclear medicine with ${}^{131}\text{I}$ is used in thyroid function. Therapeutic (TBT) is gamma source of beta emitters.

Space Exploration: Exposure and alpha particles in specially designed detectors placed in Martian soils. The Earth, nuclear reactions are used to study some form of mineral composition or an environment.

Nuclear Reactors: Nuclear power on the basis of ${}^{235}\text{U}$ or ${}^{239}\text{Pu}$ nuclei to produce electric power. Reactors will have other nuclear applications generate radioactive waste disposal of the waste is subject of current research.

Magnetic Resonance Imaging: Magnetic Resonance Imaging (MRI) utilizes an array of nuclei reactions involving the magnetic field of a nucleus to study the local chemical environment. The technique accurately maps the density of hydrogen to produce three-dimensional images of the human body.

www.CPEPweb.org

Nuclear Science

Nuclear Science is the study of the structure, properties, and interactions of the atomic nuclei. Nuclear scientists calculate and measure the masses, shapes, sizes, and shapes of nuclei at rest and in collisions. They ask questions, such as "Why do nucleons stay in the nucleus?" "What combinations of protons and neutrons are possible?" "What happens when nuclei are compressed or rapidly rotated?" "What is the origin of the nuclei found on Earth?"

Legend

- electron (e^-)
- positron (e^+)
- neutrino (ν)
- antineutrino ($\bar{\nu}$)
- quark
- gluon field
- photon
- photon (γ)
- Nucleon: $A = Z + N$

Expansion of the Universe

After the Big Bang, the universe expanded and cooled. At about 10^{-35} second, the universe consisted of a soup of quarks, gluons, electrons, and neutrinos. When the temperature of the Universe, T_{univ} , cooled to about 10^{12} K, this soup condensed into protons, neutrons, and electrons. As time progressed, most of the protons and neutrons formed deuterium, helium, and lithium nuclei. Still later, electrons combined with protons and these low-mass nuclei to form neutral atoms. Due to gravity, clouds of atoms condensed into stars, where hydrogen and helium fused into more massive chemical elements. Expanding star temperatures from the most massive elements and disperse them into space. Our earth was formed from supernova debris.

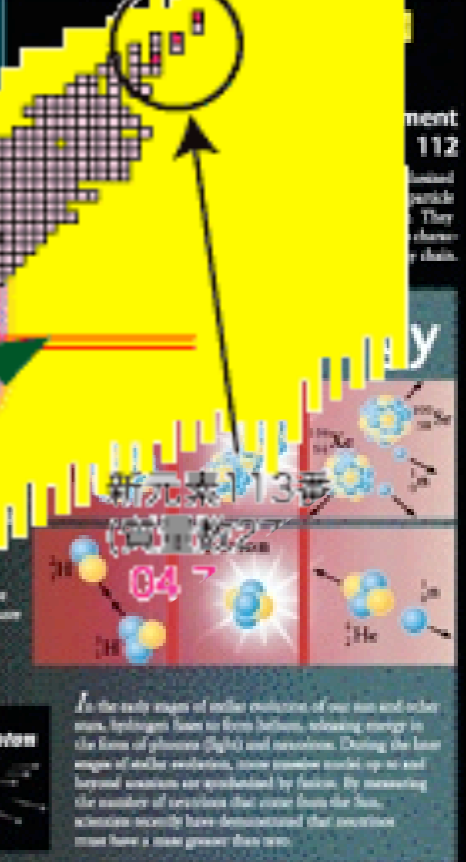


Phases of Nuclear Matter



Unstable Nuclei

Stable nuclei form a narrow white band on the Chart of the Nucleides. Scientists produce unstable nuclei far from this band and study their decays, thereby learning about the extremes of nuclear conditions. In its present form, this chart contains about 2500 different nuclei. Nuclear theory predicts that there are about 112 more.



Radioactivity

Alpha Decay: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

Beta Minus Decay: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$

Beta Plus Decay: ${}^{11}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu$

Gamma Decay: ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$

Radioactive decay transforms a nucleus by emitting different particles. In alpha decay, the nucleus releases a ${}^4_2\text{He}$ nucleus, an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a proton and neutron or captures an orbital electron and emits a neutrino. A gamma ray is the same for the antiparticle of the electron. Antineutrino is composed of anti-particle. Both alpha and beta decays change the original nucleus into a nucleus of a different chemical element. In gamma decay, the nucleus liberates internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

The Nucleus

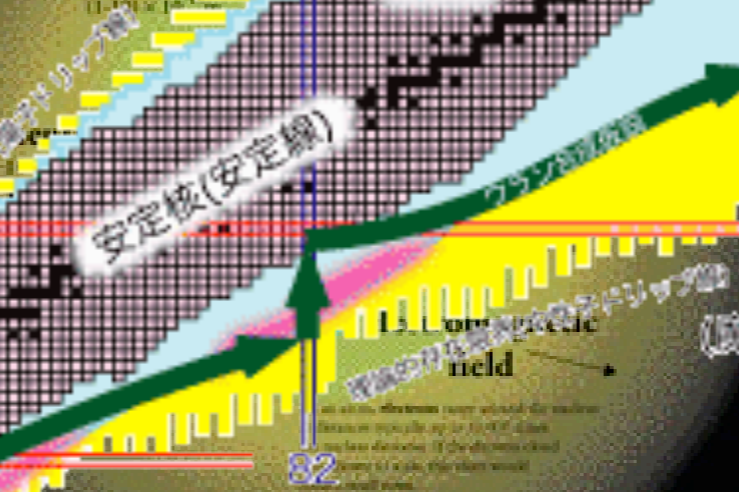
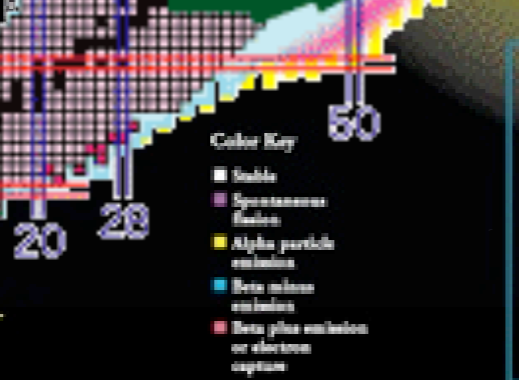


Chart of the Nucleides

The Chart of the Nucleides presents in graphic form all known nuclei with atomic number, Z, and neutron number, N. Each nucleus is represented by a square according to its predominant decay mode. Magic numbers (2 or Z, 2, 8, 20, 28, 50, 82 and 126) are indicated by a rectangle on the chart. They correspond to major closed shells and show regions of greater nuclear binding energy.



Applications

Radioactive Dating: Recently discovered radioactive isotopes such as ${}^{14}\text{C}$ are used to date objects that were once living, such as wood. The example here is a study of pollen found at the site, indicating that the tombing was built nearly 4,000 years ago.

Space Exploration: Exposure of alpha particles to specially designed detectors placed in Martian soil. The dark, nuclear reaction are used to study some form of potential contamination or an enhancement.

Nuclear Reactors: Major reactors on the basis of ${}^{235}\text{U}$ or ${}^{239}\text{Pu}$ nuclei to produce electric power. Reactors will have other nuclear applications generate radioactive waste, depend of the way to a subject of current research.

Smoke Detectors: Many smoke detectors use a small amount of the alpha emitter ${}^{241}\text{Am}$ to ionize the air. Smoke entering the detector reduces the current and sets off the alarm.

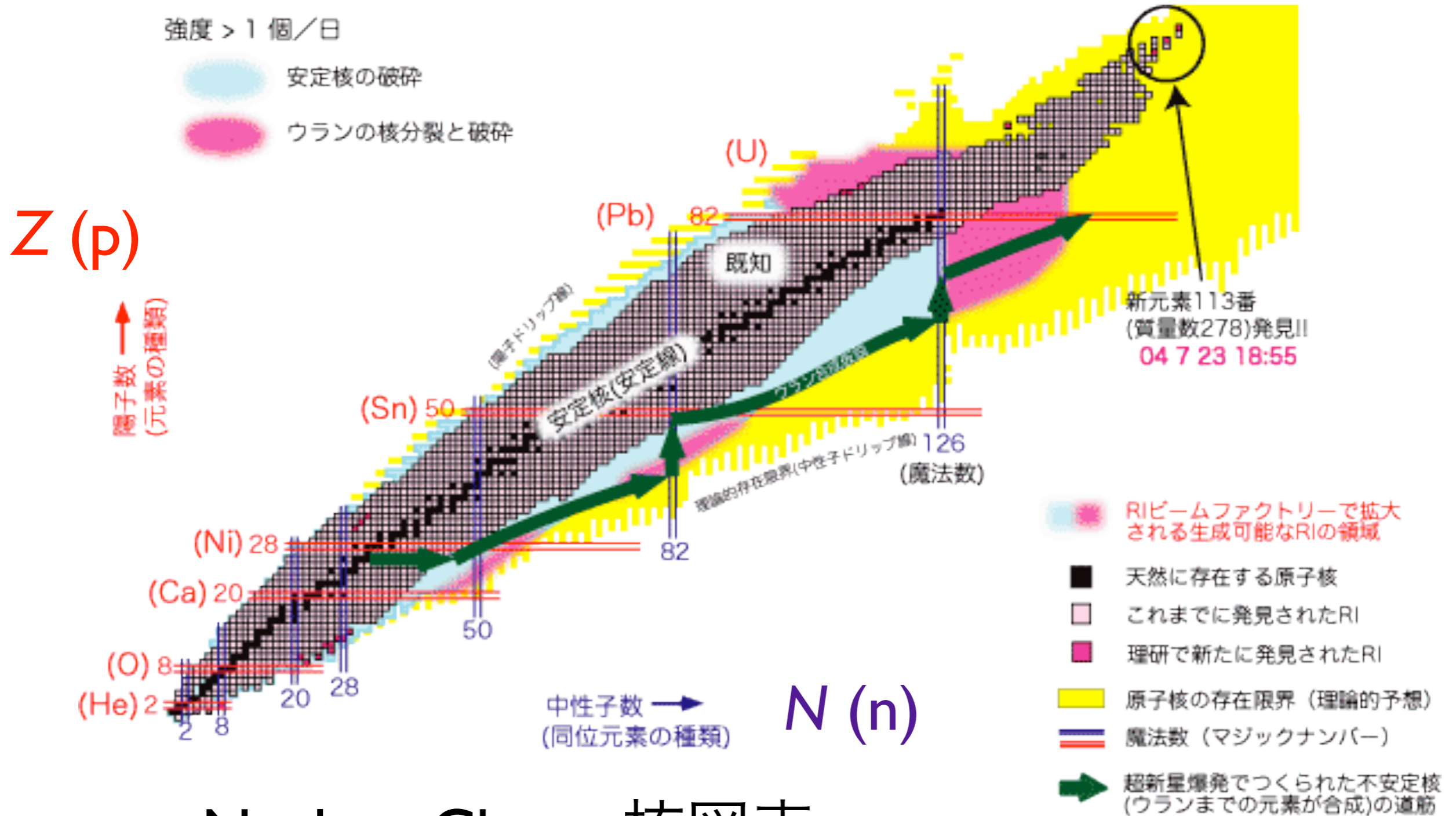
Nuclear Medicine: Radioactive isotopes such as ${}^{201}\text{Tl}$, ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ${}^{131}\text{I}$ are commonly used in the diagnosis and treatment of illness. Nuclear medicine such as ${}^{131}\text{I}$ is used in thyroid diagnosis. Therapeutic (TDT) is gamma source of beta emitting.

Magnetic Resonance Imaging: Magnetic Resonance Imaging (MRI) utilizes an external magnetic field to excite protons in the local chemical environment. The technique accurately maps the density of hydrogen to produce three-dimensional images of the human body.

www.CPEPweb.org



RIKEN



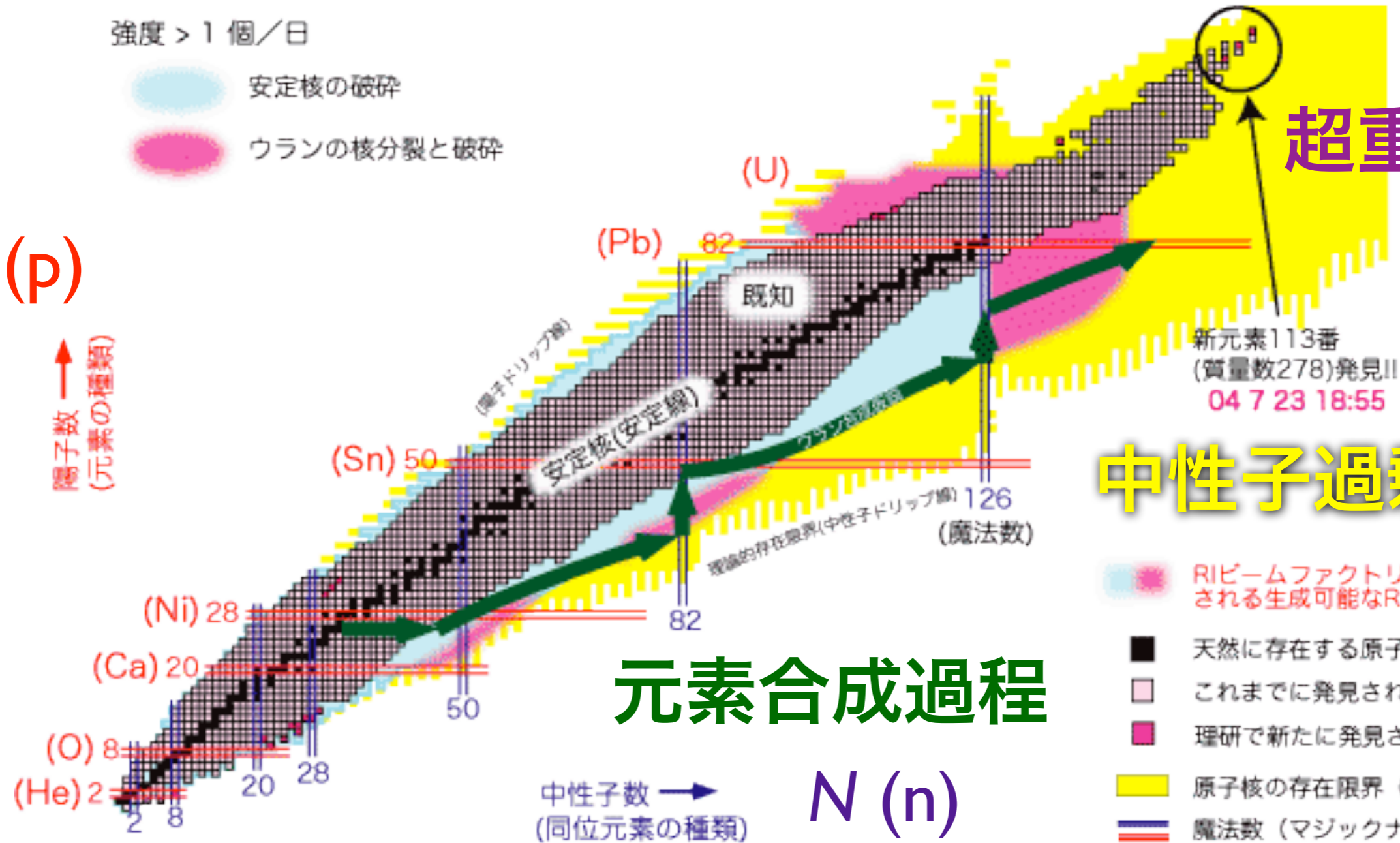
Nuclear Chart 核図表



RIKEN

強度 > 1 個/日
 安定核の破碎
 ウランの核分裂と破碎

Z (p)



- RIビームファクトリーで拡大される生成可能なRIの領域
- 天然に存在する原子核
- これまでに発見されたRI
- 理研で新たに発見されたRI
- 原子核の存在限界 (理論的予想)
- 魔法数 (マジックナンバー)
- 超新星爆発でつくられた不安定核 (ウランまでの元素が合成)の道筋

Nuclear Chart 核図表

超重元素 $_{113}\text{Uut}$ (ジャポニウム Jp ?) 生成

2004年、理研 森田浩介氏ら

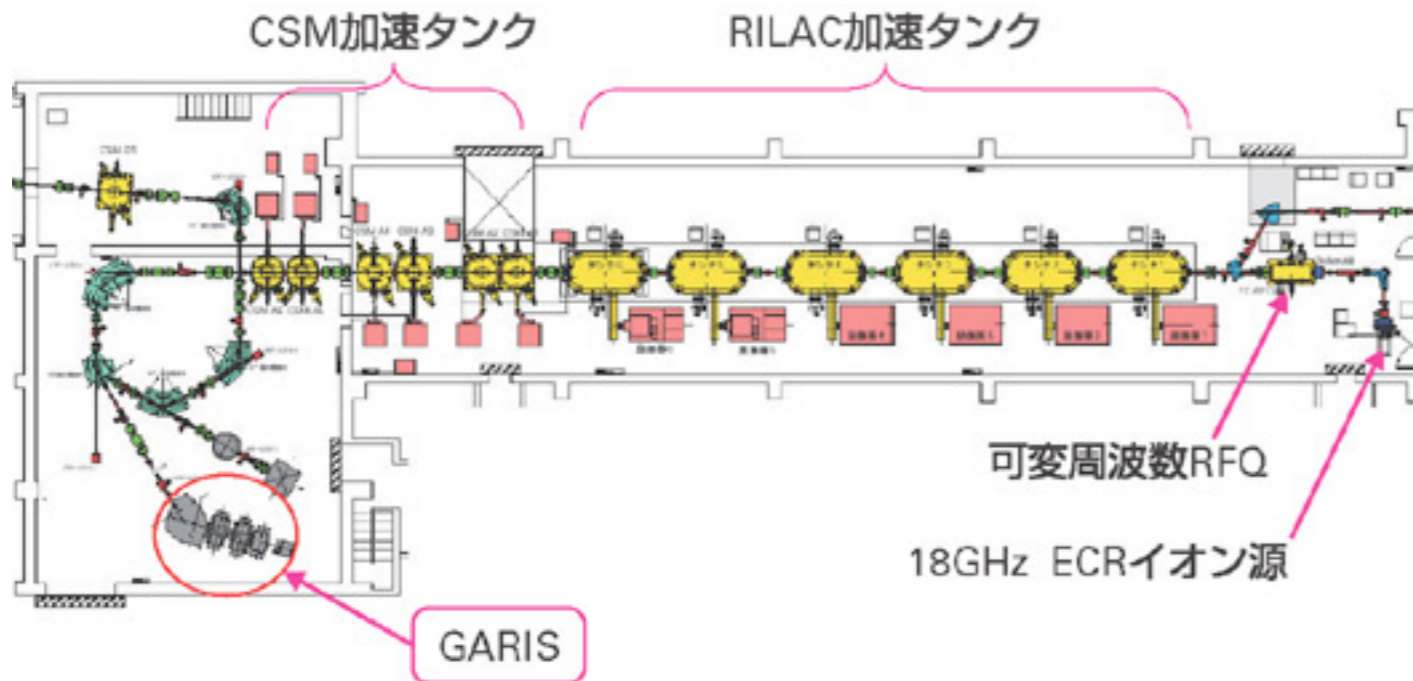


図2 線形加速器 RILAC と気体充填型反跳核分離装置 GARIS

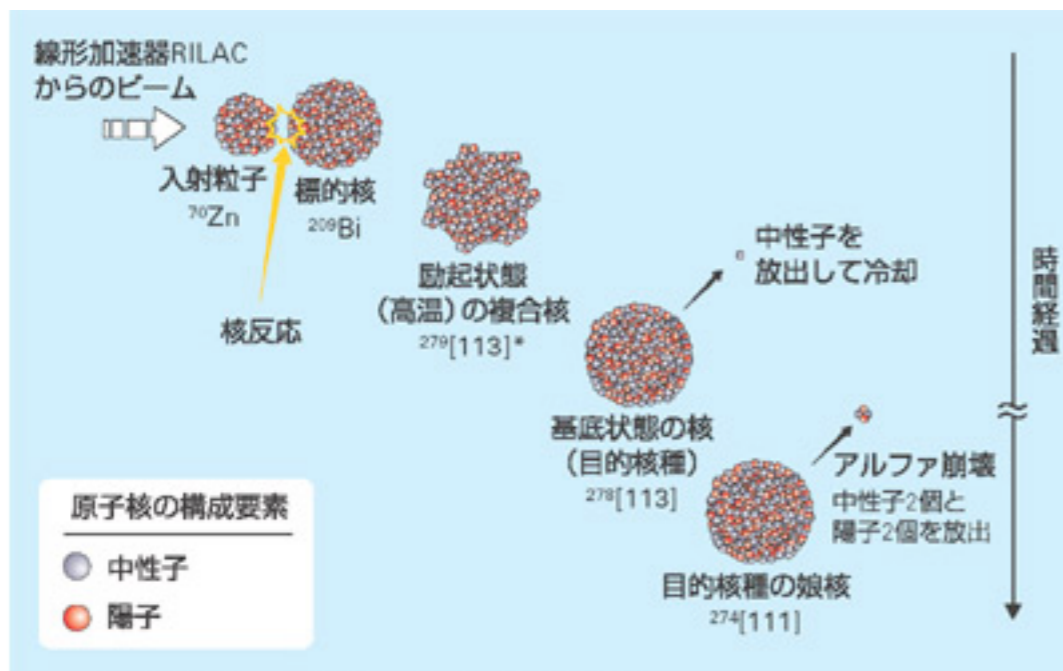
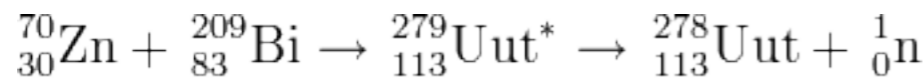


図1 原子番号 113 元素の合成と崩壊連鎖

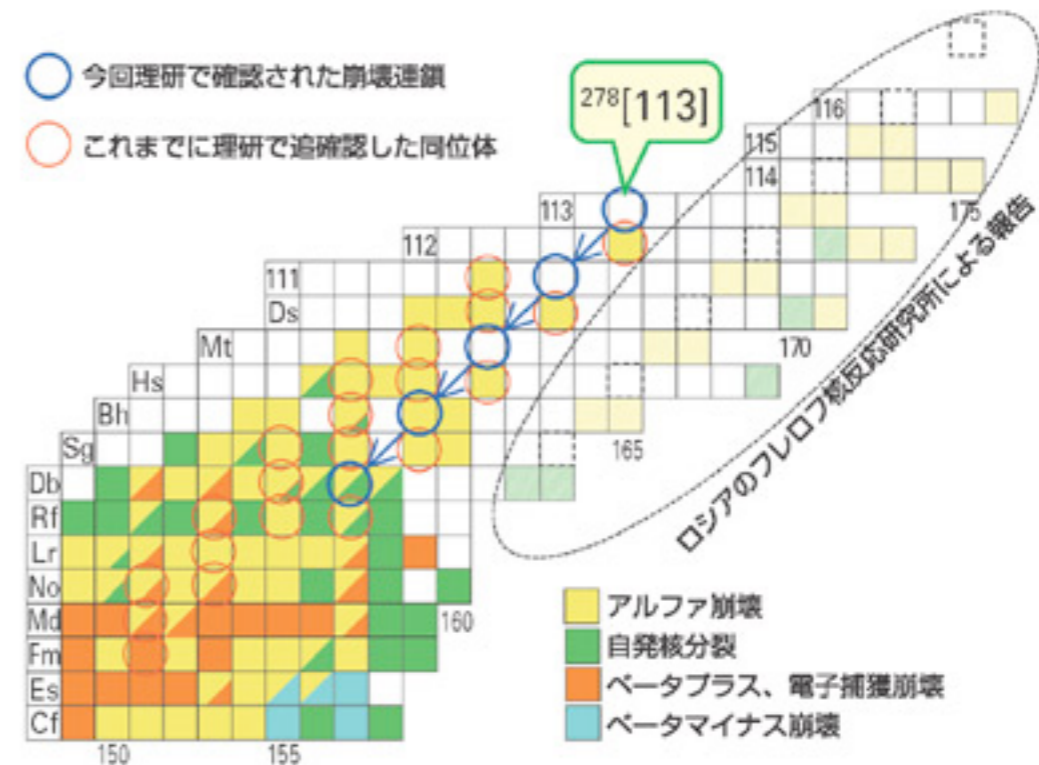
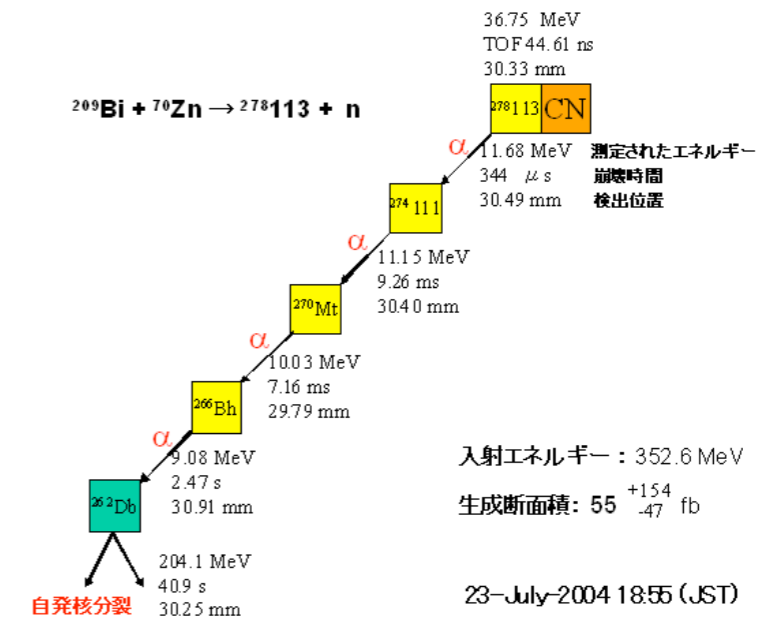


図3 核図表の終端部分
核図表とは、原子核の陽子数 (原子番号) を縦軸とし、中性子数を横軸にして表示したもの。

周期表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																
1	1 H 1.0079	Atomic Sym Mass																2 He 4.0026																																
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0121	<table border="1"> <tr> <td>C 固体</td> <td colspan="5">金属</td> <td colspan="2">非金属元素</td> </tr> <tr> <td>Hg 液体</td> <td>アルカリ金属</td> <td>アルカリ土類金属</td> <td>ランタノイド</td> <td>遷移元素</td> <td>卑金属</td> <td>非金属元素</td> <td>希ガス</td> </tr> <tr> <td>H 気体</td> <td></td> <td></td> <td>アクチノイド</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rf Unknown</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										C 固体	金属					非金属元素		Hg 液体	アルカリ金属	アルカリ土類金属	ランタノイド	遷移元素	卑金属	非金属元素	希ガス	H 気体			アクチノイド					Rf Unknown								5 B 10.811	6 C 12.010	7 N 14.006	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.179
C 固体	金属					非金属元素																																												
Hg 液体	アルカリ金属	アルカリ土類金属	ランタノイド	遷移元素	卑金属	非金属元素	希ガス																																											
H 気体			アクチノイド																																															
Rf Unknown																																																		
3	11 Na 22.989	12 Mg 24.305											13 Al 26.981	14 Si 28.085	15 P 30.973	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948																																
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955	22 Ti 47.867	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.921	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798																																
5	37 Rb 85.467	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.96	43 Tc (97.907)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90	46 Pd 106.42	47 Ag 107.86	48 Cd 112.41	49 In 114.81	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29																																
6	55 Cs 132.90	56 Ba 137.32	57-71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94	74 W 183.84	75 Re 186.20	76 Os 190.23	77 Ir 192.21	78 Pt 195.08	79 Au 196.96	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (208.98)	85 At (209.98)	86 Rn (222.01)																																
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Cn (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus	118 Uuo (294)																																

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

周期表 Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com/> Last updated: May 30, 2008

57 La 138.90	58 Ce 140.11	59 Pr 140.90	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.25	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.96
89 Ac (227)	90 Th 232.03	91 Pa 231.03	92 U 238.02	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

放射性元素の命名 (赤字は加速器・青字は水爆で生成したもの)

性質：⁴³Tc, ⁸⁵At, ⁸⁸Ra, ⁸⁹Ac, ⁹¹Pa

神話：⁹⁰Th, ⁹²U, ⁹³Np, ⁹⁴Pu

発見地や発見者の国名：

⁸⁴Po, ⁸⁷Fr, ⁹⁵Am, ⁹⁷Bk, ⁹⁸Cf, ¹⁰⁵Db, ¹⁰⁸Hs, ¹¹⁰Ds

偉大な科学者名 (発見者でない)：⁹⁶Cm, ⁹⁹Es, ¹⁰⁰Fm, ¹⁰¹Md, ¹⁰²No, ¹⁰³Lr, ¹⁰⁴Rf, ¹⁰⁶Sg, ¹⁰⁷Bh, ¹⁰⁹Mt, ¹¹¹Rg, ¹¹²Cn

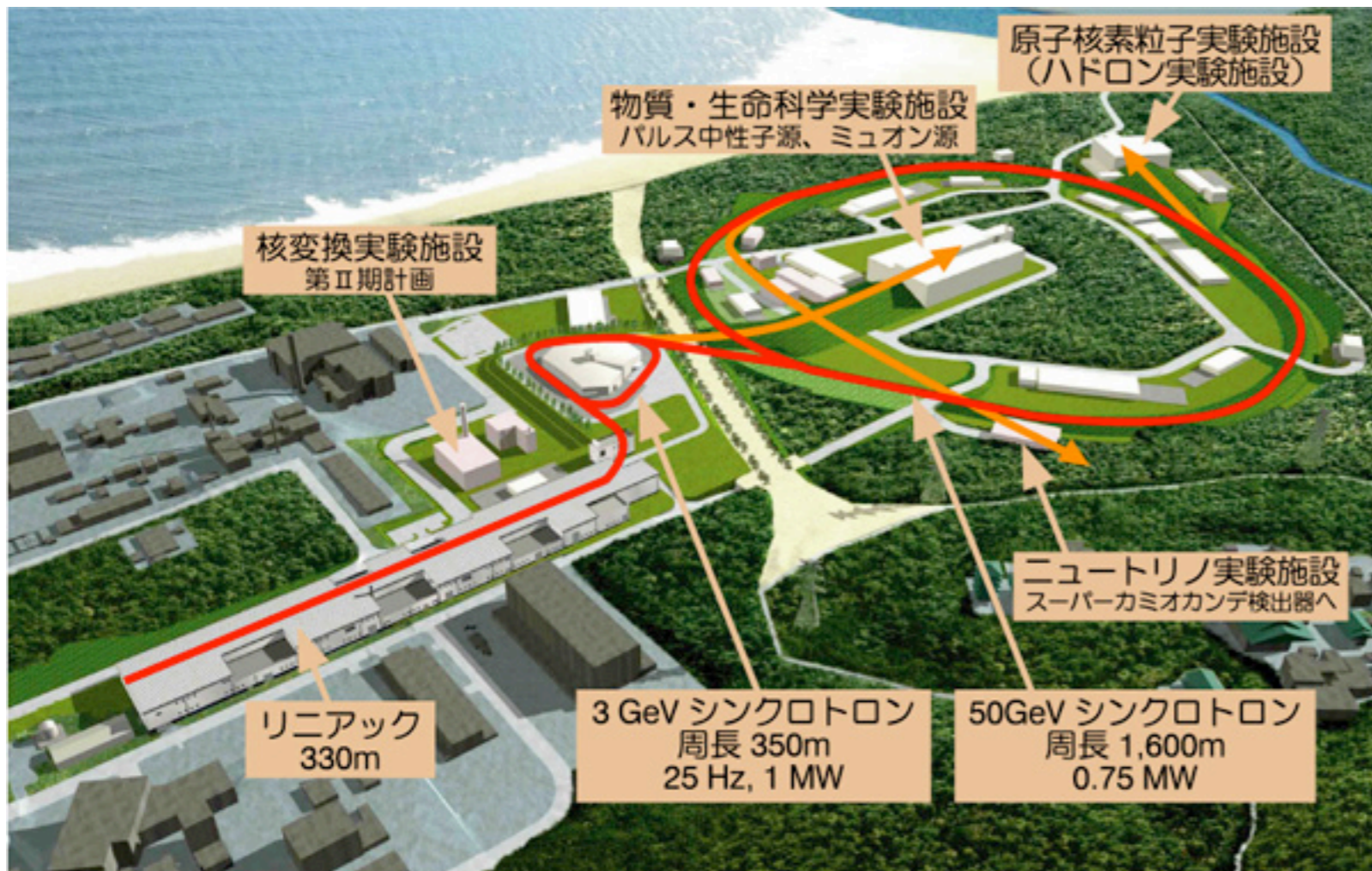
発見した加速器施設

米国 California大 Berkeley校ほか、シーボーグら：

⁹³Np, ⁹⁴Pu, ⁹⁵Am, ⁹⁶Cm, ⁹⁷Bk, ⁹⁸Cf, ⁹⁹Es, ¹⁰⁰Fm, ¹⁰¹Md, ¹⁰², ¹⁰³Lr, ¹⁰⁴, ¹⁰⁵, ¹⁰⁶

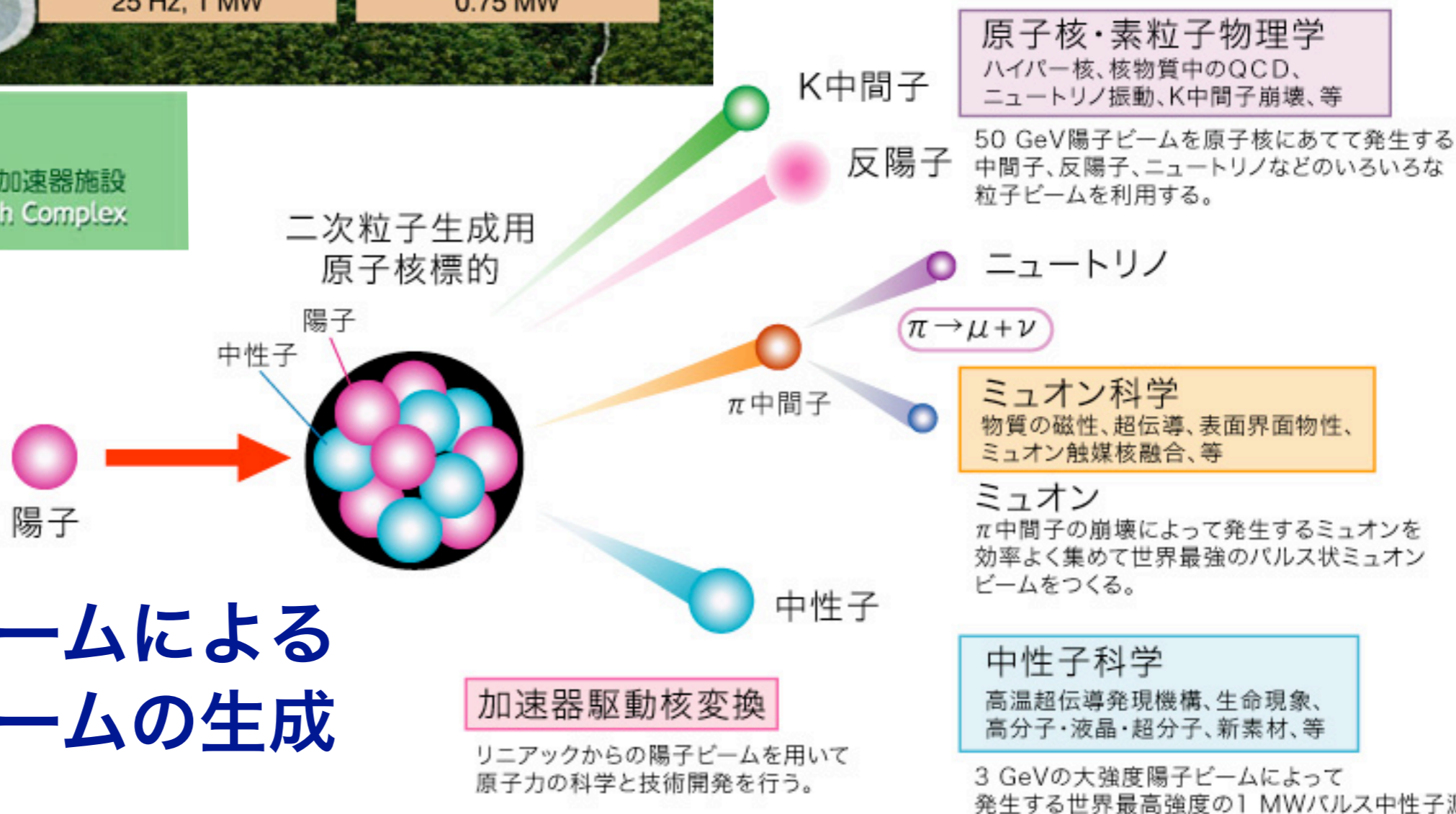
ロシア合同原子核研究所 (Дубна = Dubna): ¹⁰², ¹⁰⁴, ¹⁰⁵Db, ¹⁰⁶, ¹⁰⁷, ¹¹³–¹¹⁸

ドイツ重イオン研究所 GSI (Darmstadt)：¹⁰⁷, ¹⁰⁸Hs, ¹⁰⁹, ¹¹⁰Ds, ¹¹¹, ¹¹²



独立行政法人 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

J-PARC 大強度陽子加速器施設
Japan Proton Accelerator Research Complex



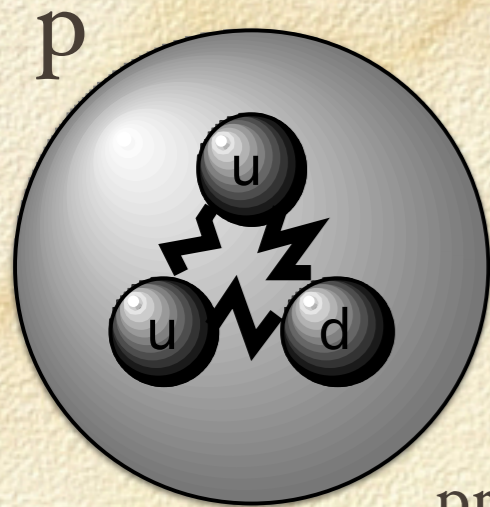
大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成

Hadron

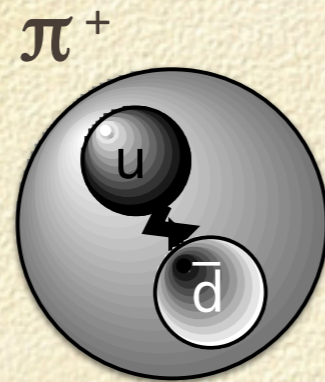
Lepton

Baryon

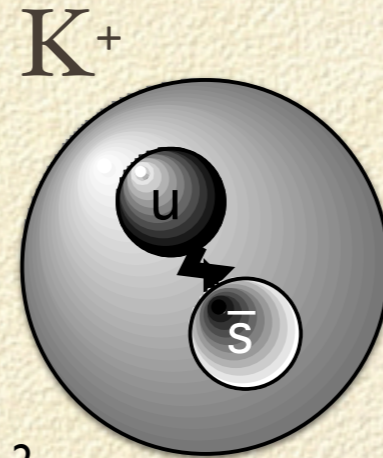
Meson



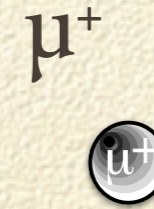
n
陽子
proton



135
MeV/c²
パイ中間子
pion



K 中間子
kaon



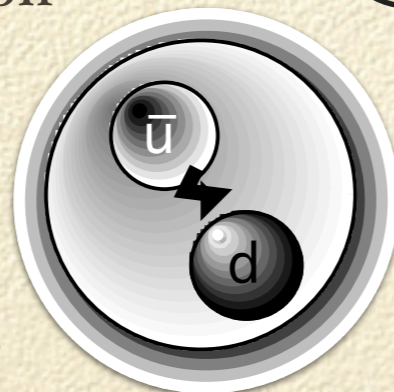
ミュー粒子
muon



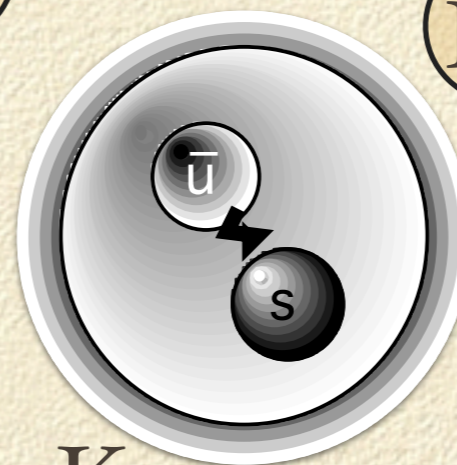
陽電子 positron



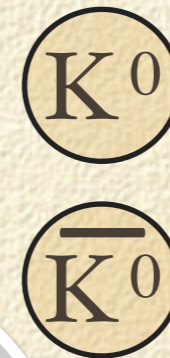
反陽子
antiproton
 \bar{n}
940
MeV/c²



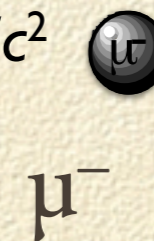
140 MeV/c²



494 MeV/c²



498
MeV/c²



106 MeV/c²

電子 electron



511 keV/c²

$\tau = \infty$

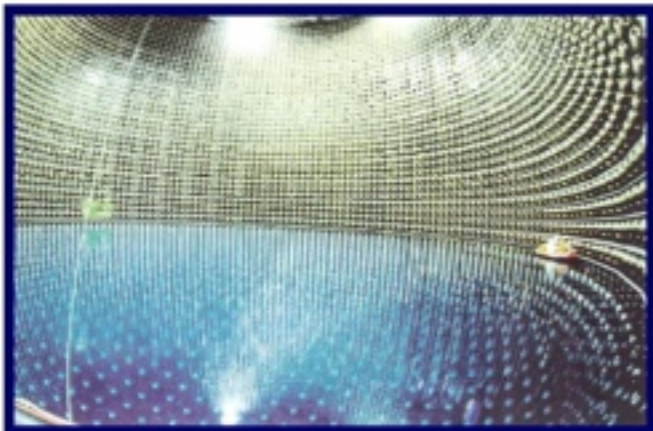
$\tau = 26 \text{ ns}$

$\tau = 12 \text{ ns}$

$\tau = 2.2 \mu\text{s}$

$\tau = \infty$

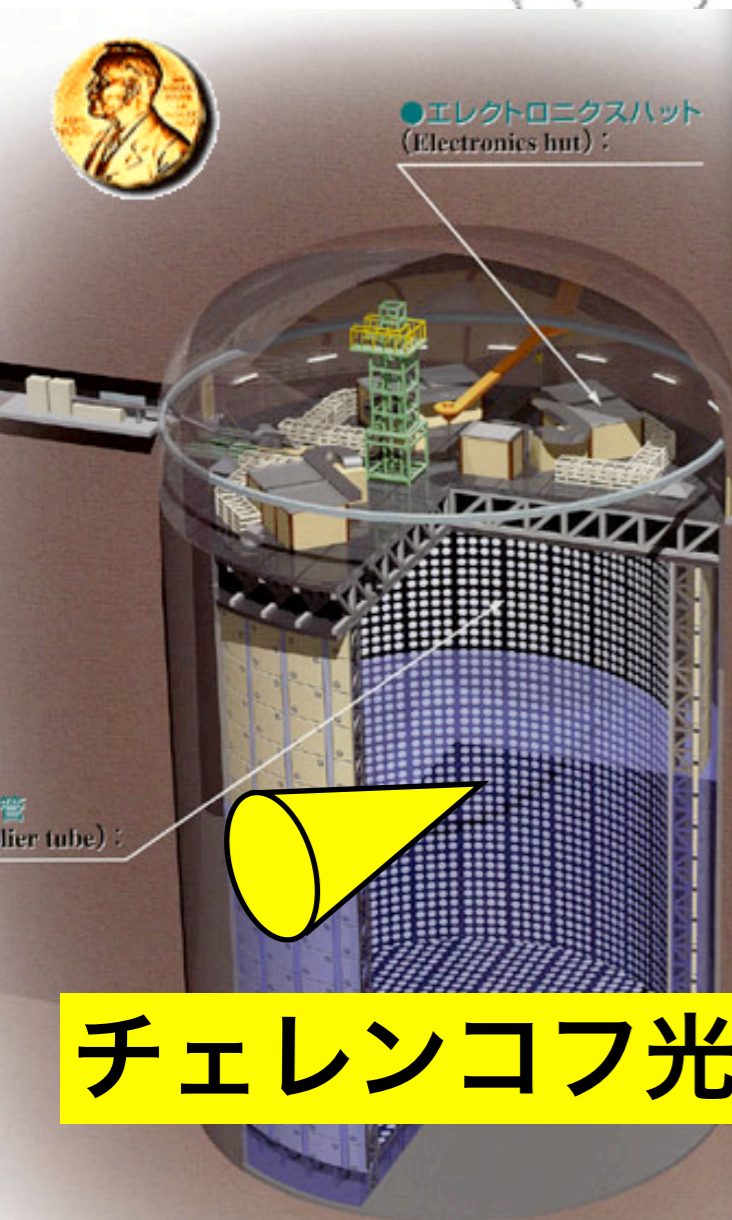
Super-Kamiokande



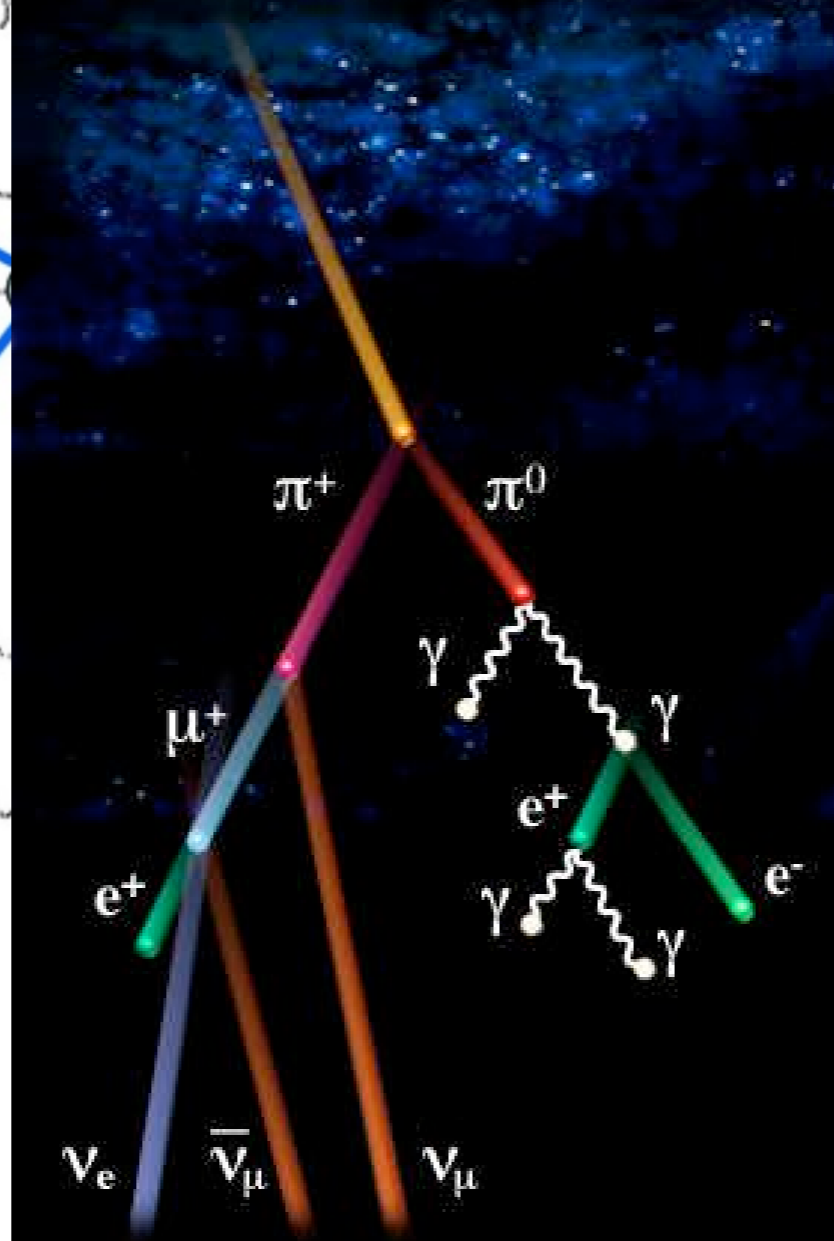
スーパー
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット
(Electronics hut):



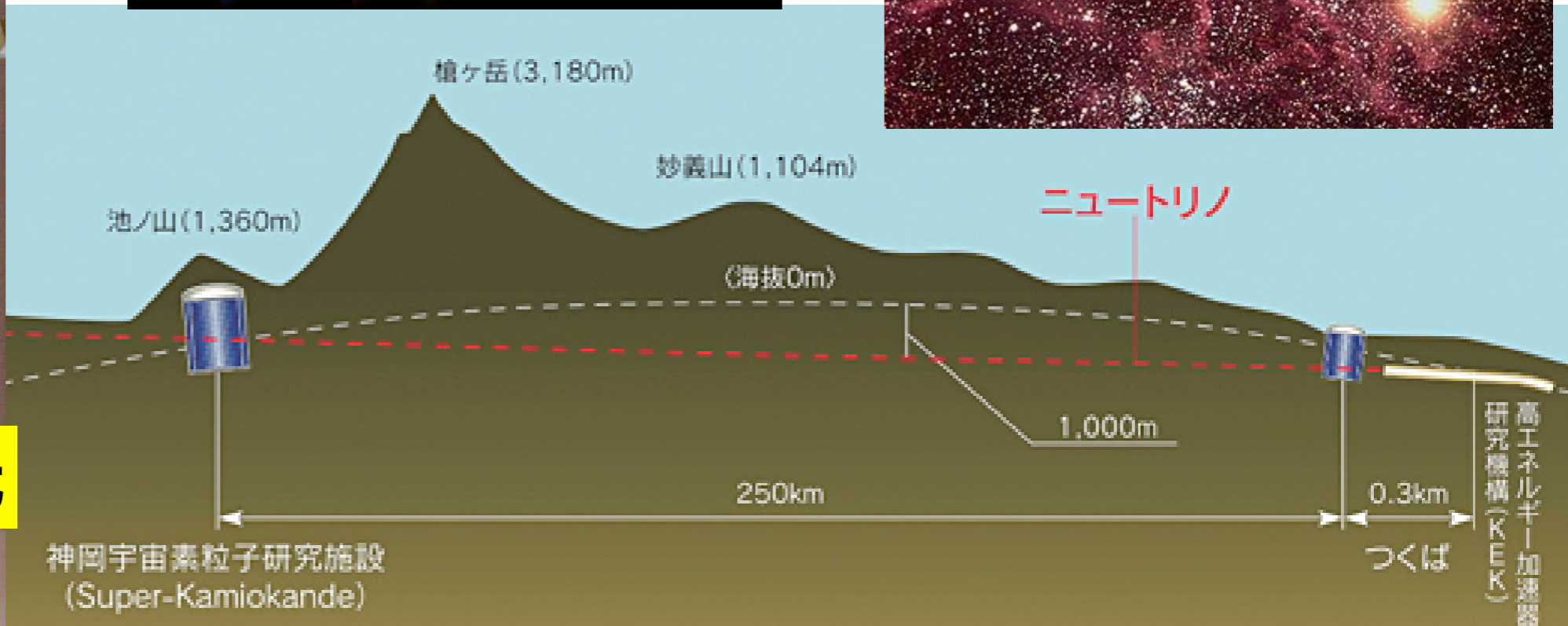
チェレンコフ光



Neutrino beam



大強度陽子加速器
ニュートリノビーム



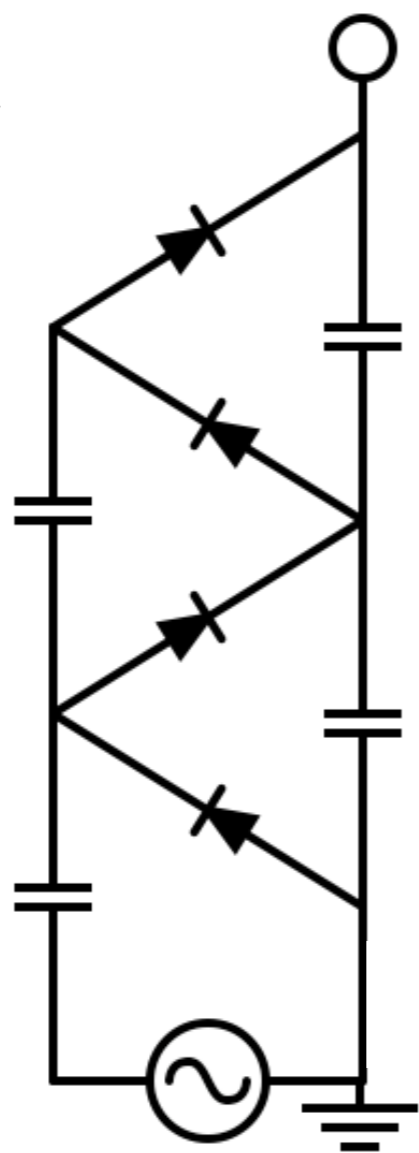
神岡宇宙素粒子研究施設
(Super-Kamiokande)

加速器科学

高電圧発生装置

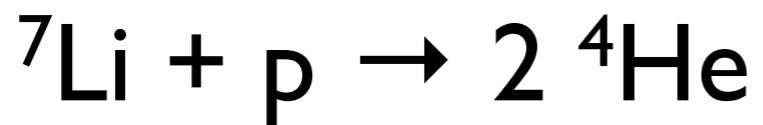
コッククロフト・ワルトン型
Cockcroft-Walton

upto 4 MV



静電加速器

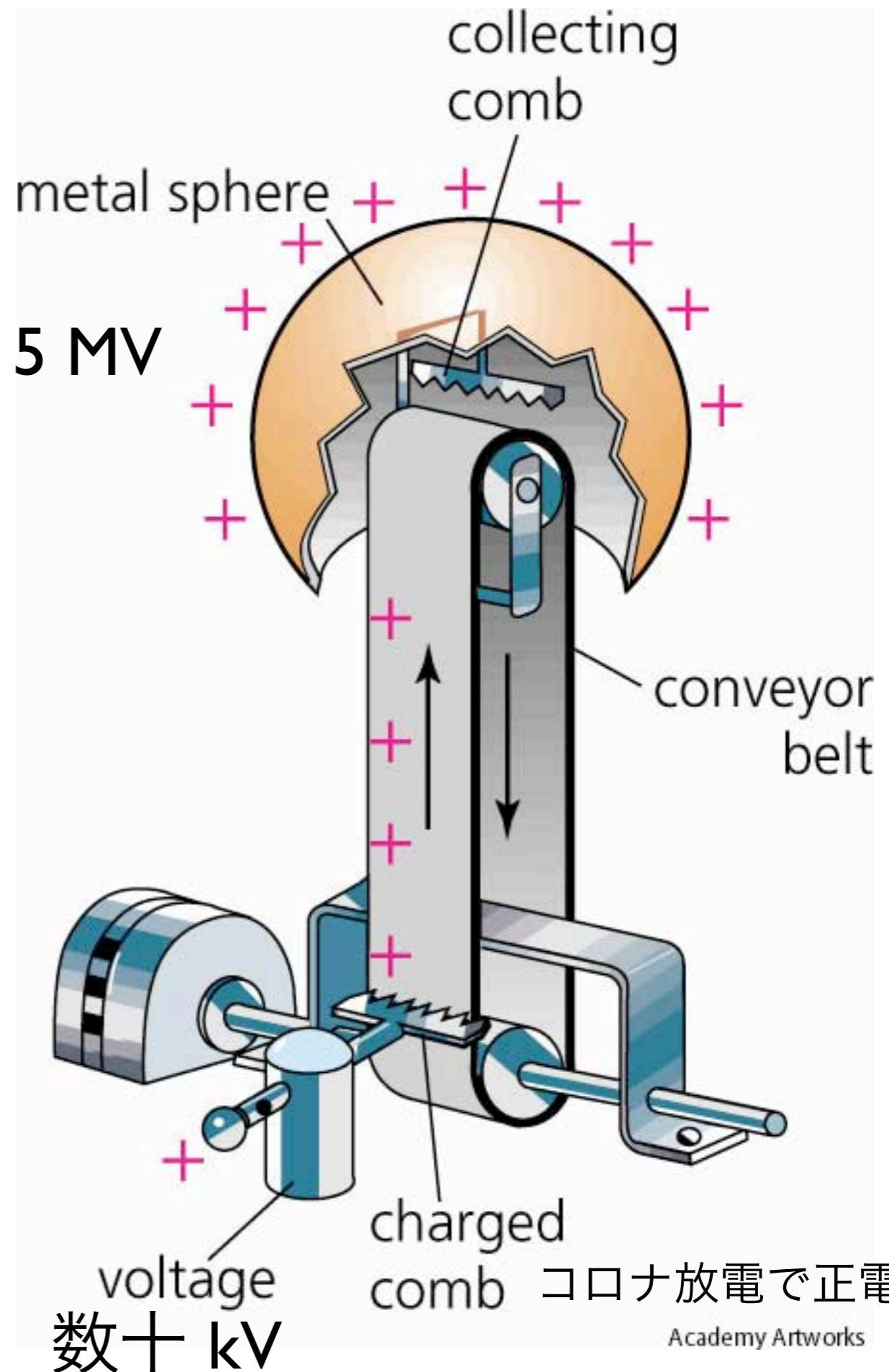
600 keV p



高電圧発生装置

ヴァンデグラフ型
Van de Graaf

upto 5 MV

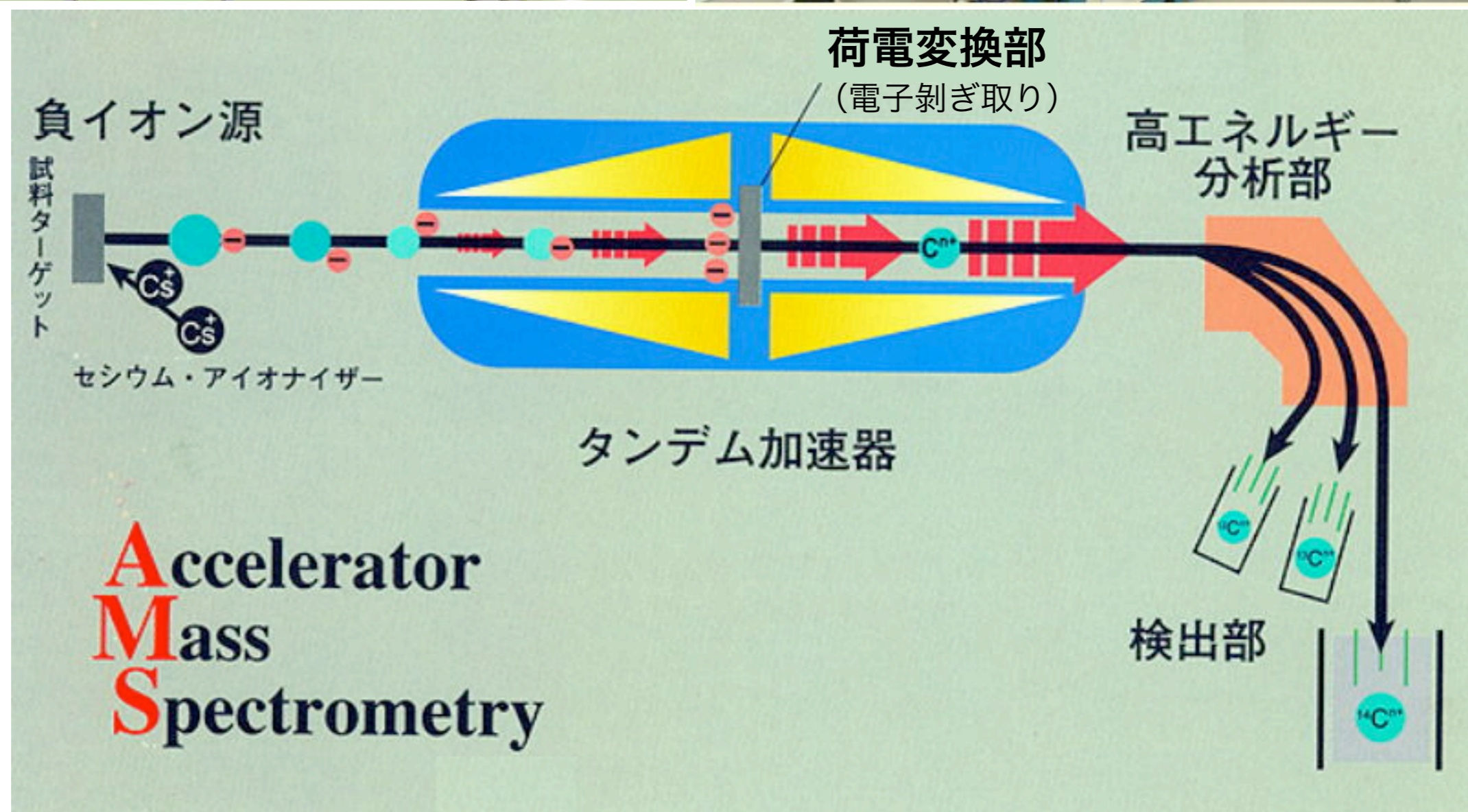


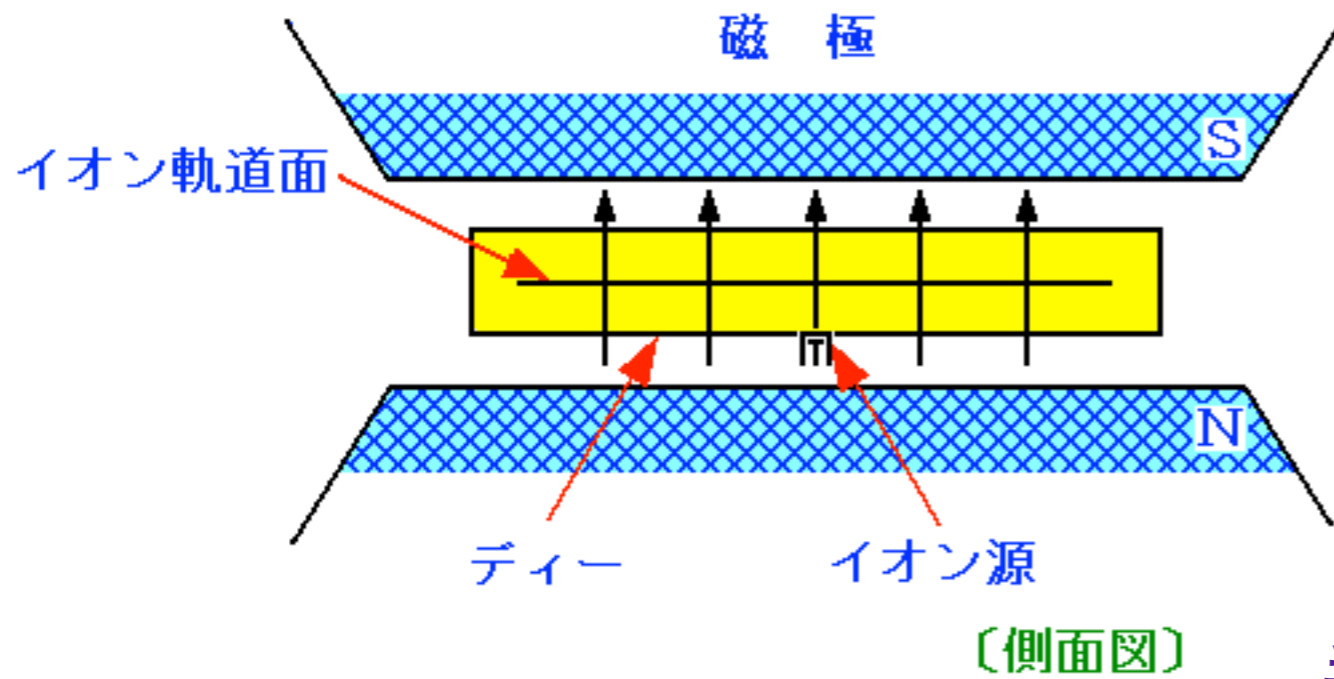
静電加速器 $F = qE$

⇒ タンデム加速器
Tandem accelerator

加速器質量分析

AMS (Accelerator Mass Spectrometry)





サイクロトロン

Cyclotron

Lawrence (1929)



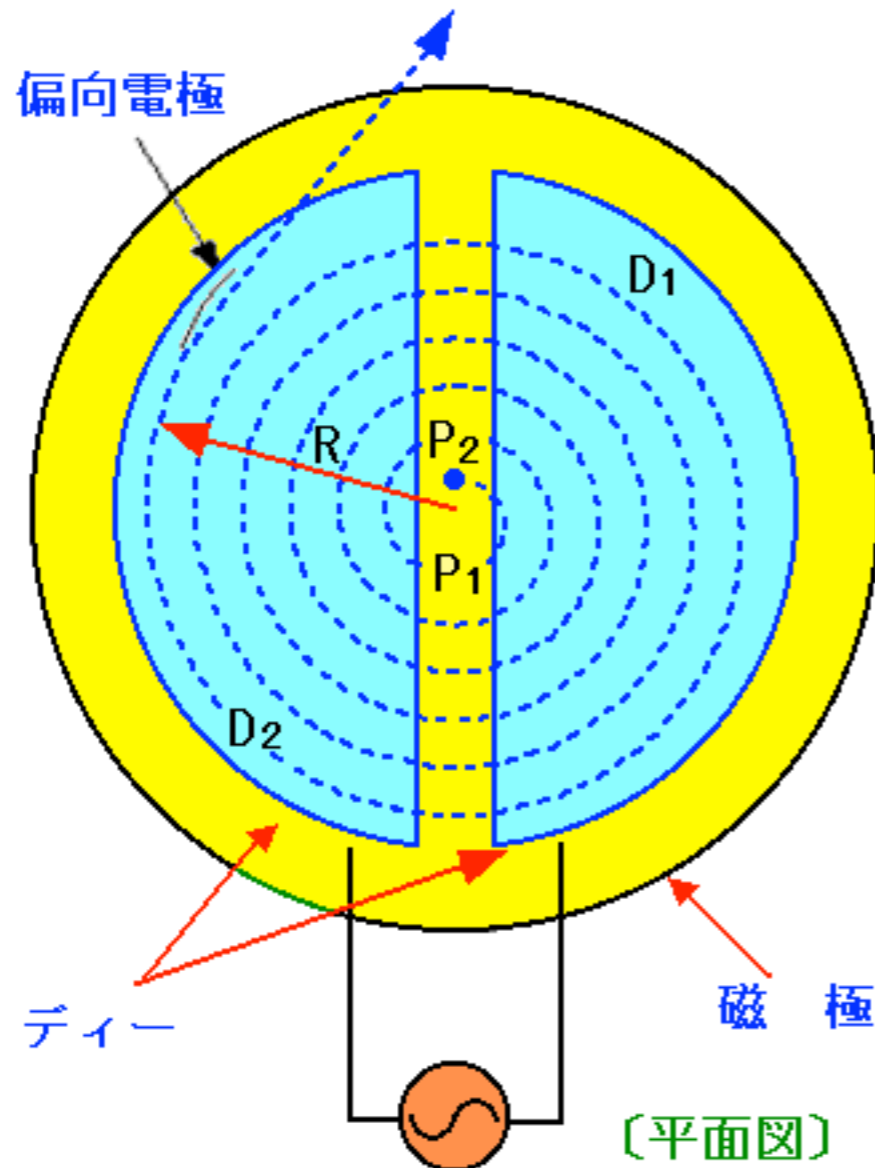
垂直磁場

$$t = \pi m / B q$$

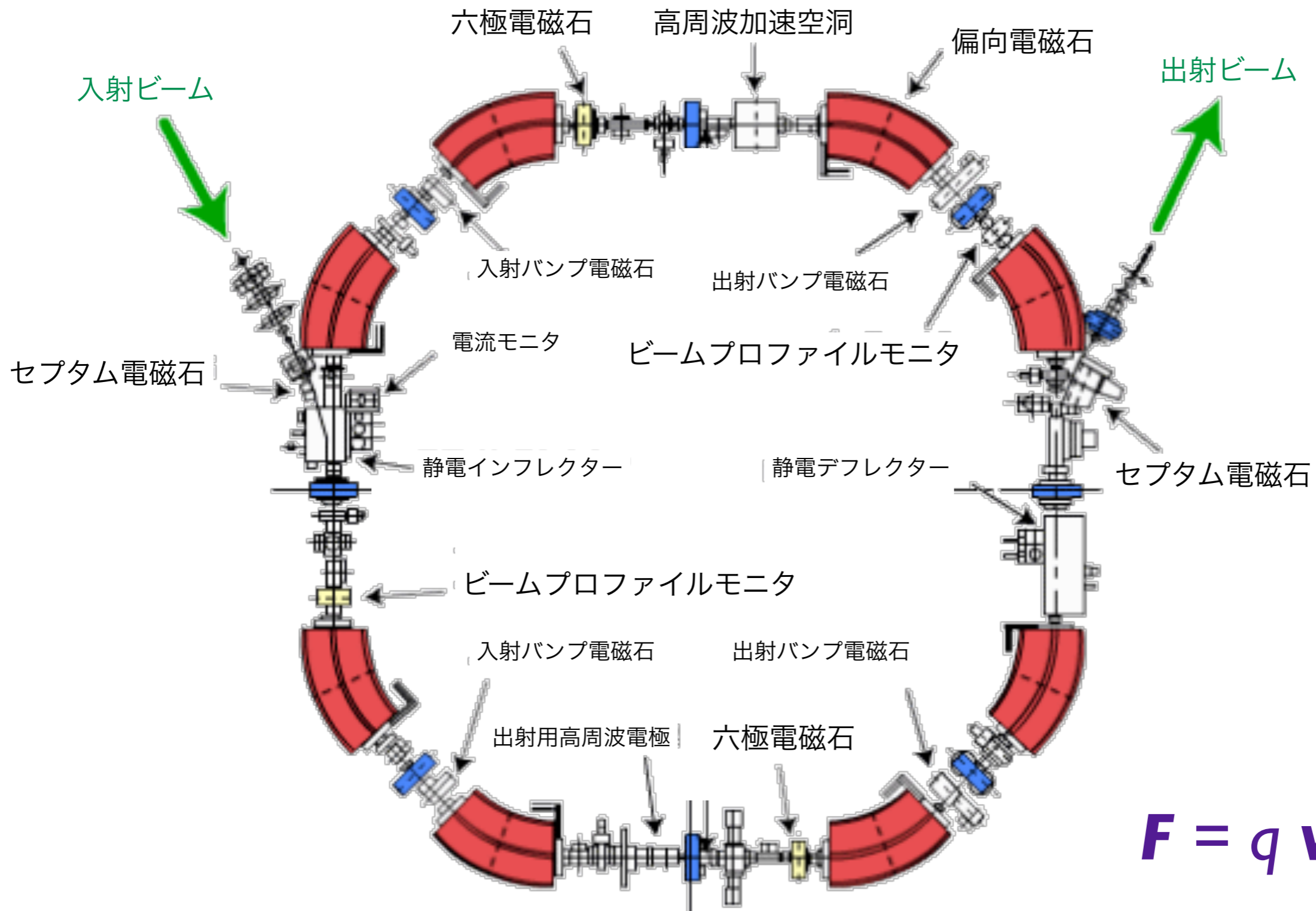
相対論的領域では周期が遅れる

シンクロサイクロトロン
Synchrocyclotron

AVF サイクロトロン
Azimuthally-varying-field
Cyclotron



シンクロトロン Synchrotron



$$F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

磁場による偏向・収束 (高エネルギー)

リニアック (線形加速器)

Linac (Linear accelerator)

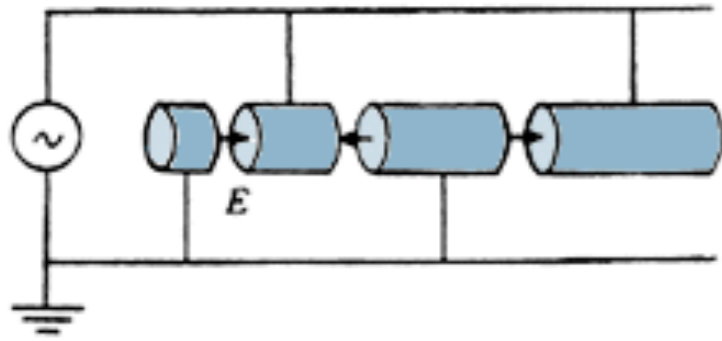


図1 ヴィデレー型リニアック

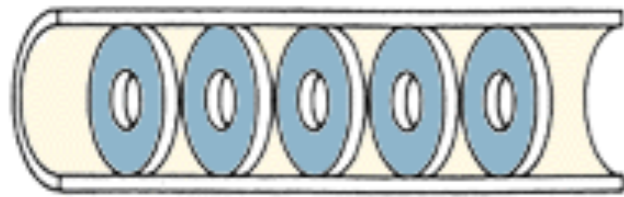


図2 円盤装荷導波管

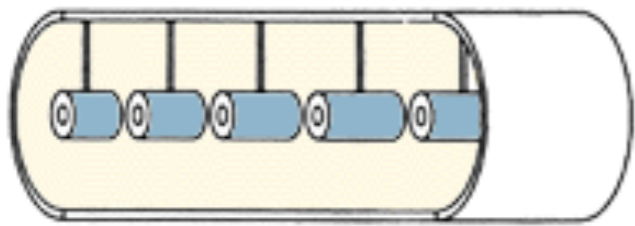
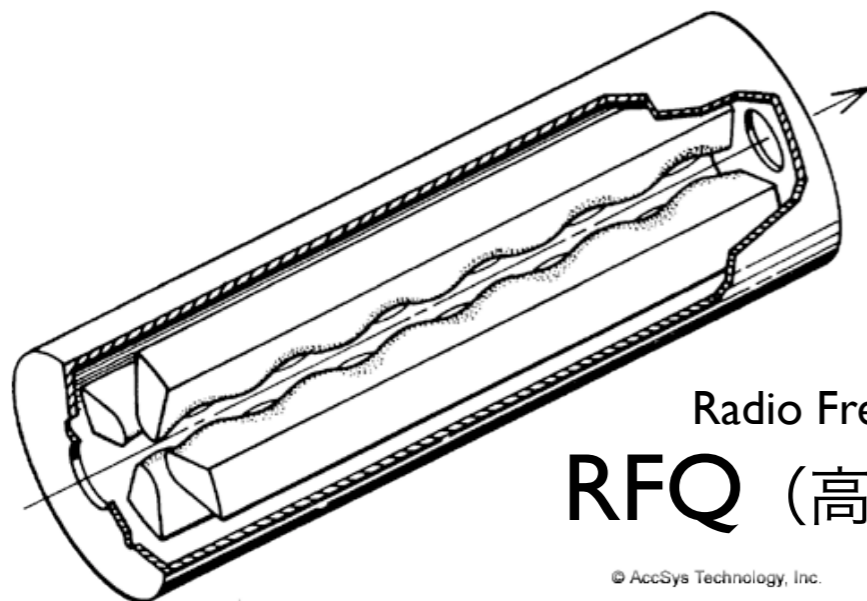
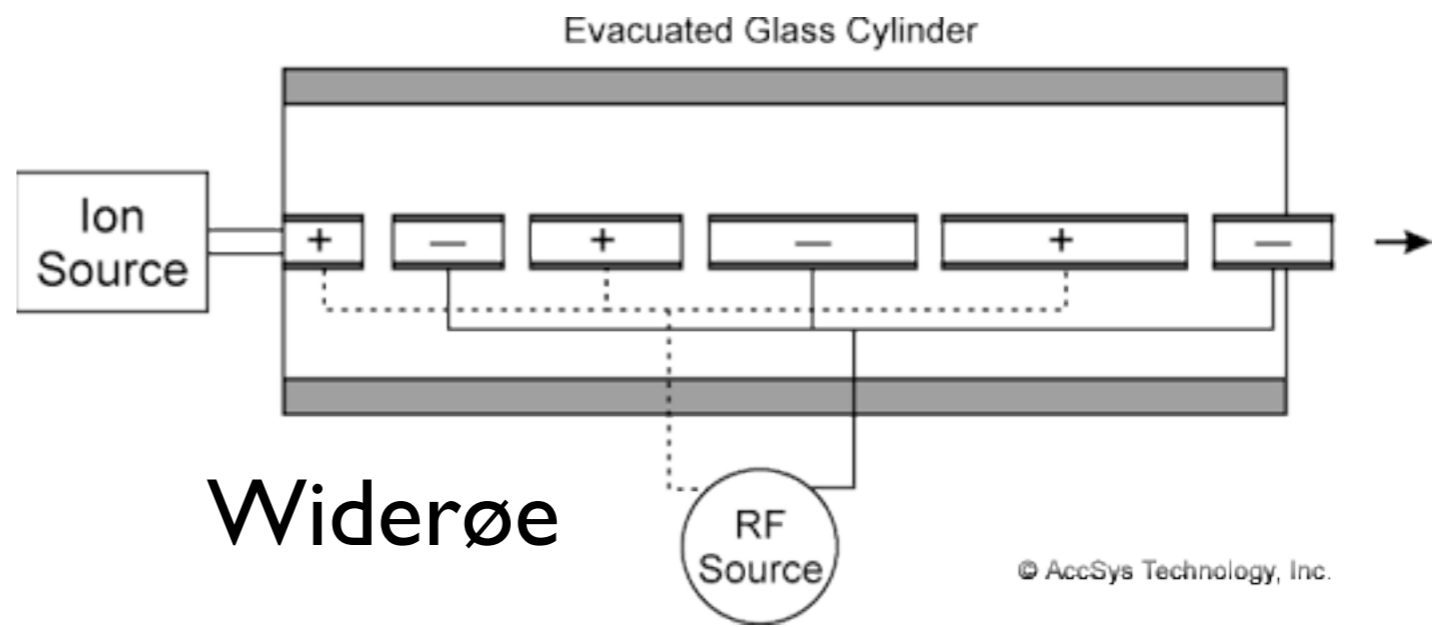


図3 アルバレ型リニアック



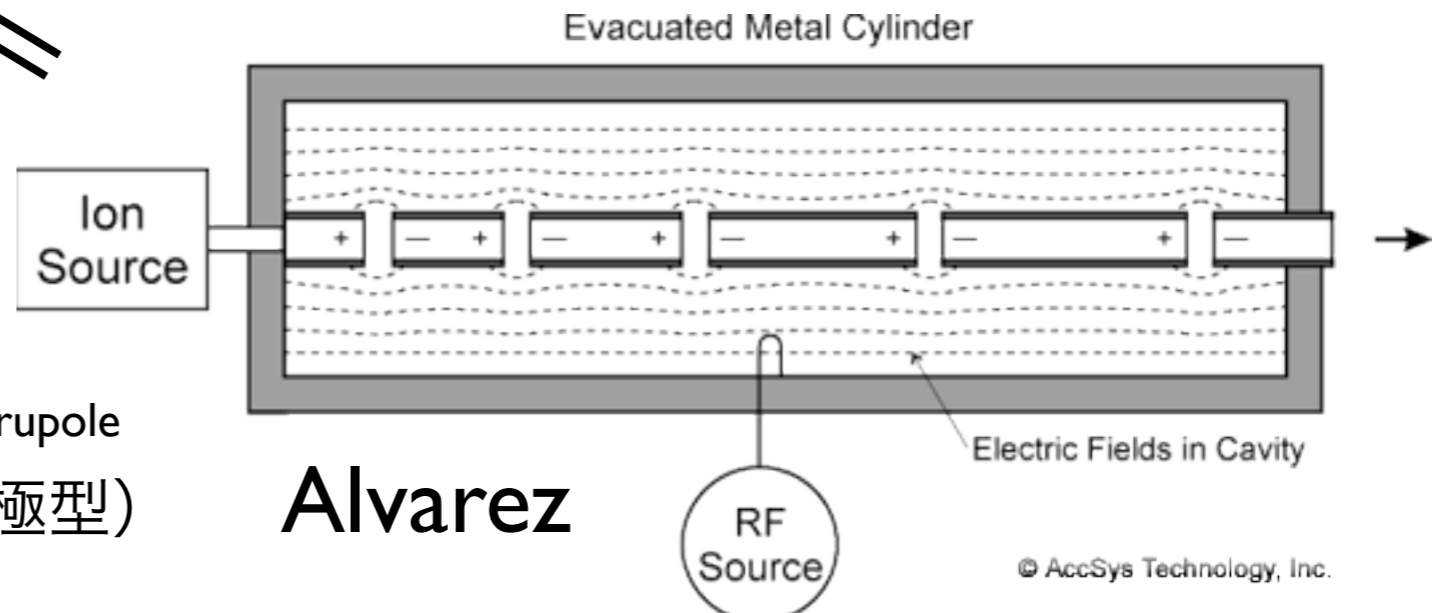
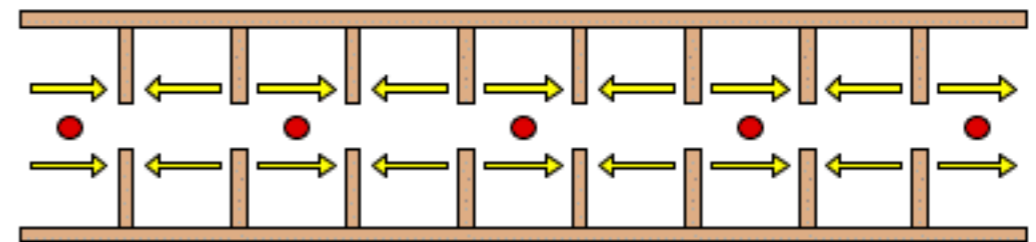
Radio Frequency Quadrupole
RFQ (高周波四重極型)

© AccSys Technology, Inc.



Widerøe

© AccSys Technology, Inc.

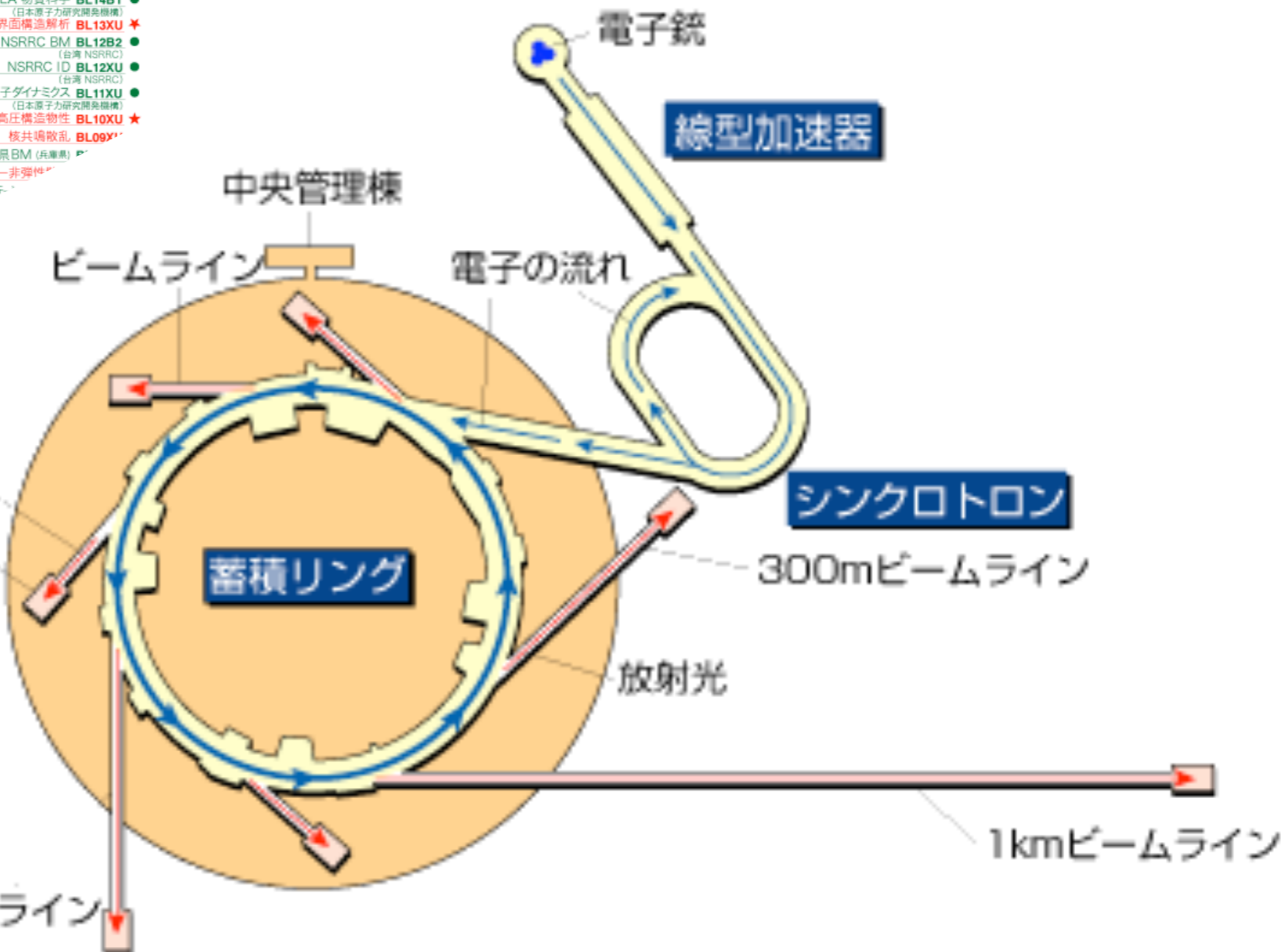
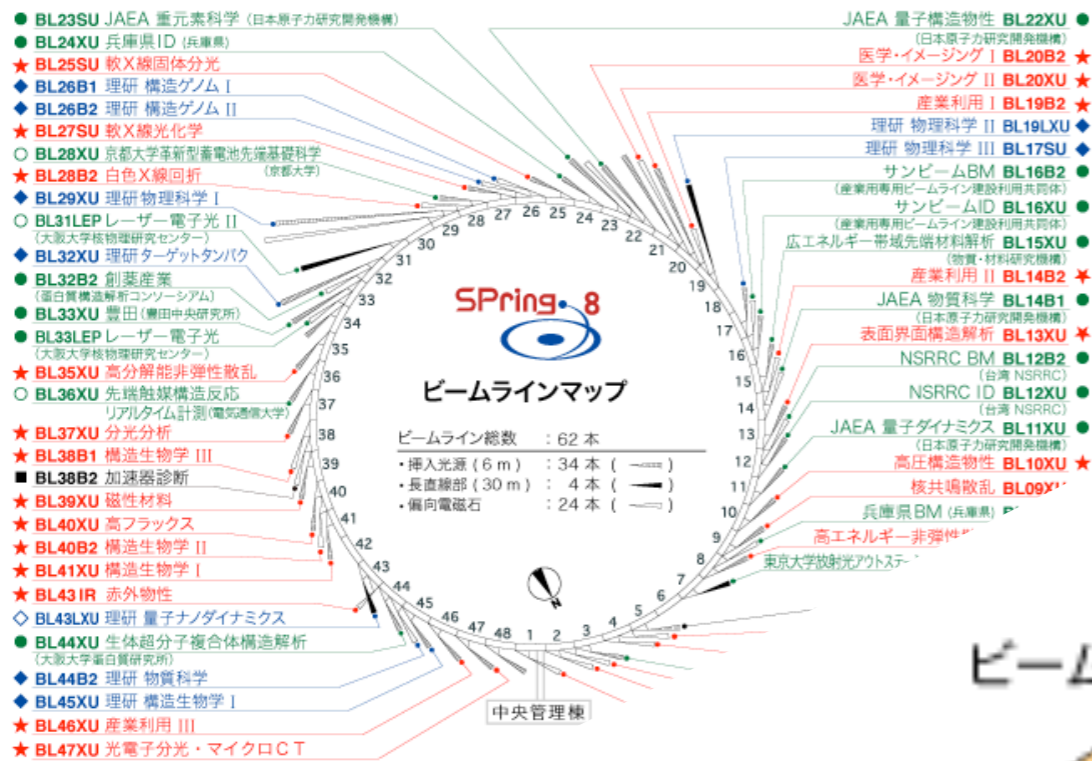


Alvarez

© AccSys Technology, Inc.

SPring-8 (大型放射光施設: 播磨)

8 GeV 電子ビーム ⇒ 放射光 (X線, γ線)



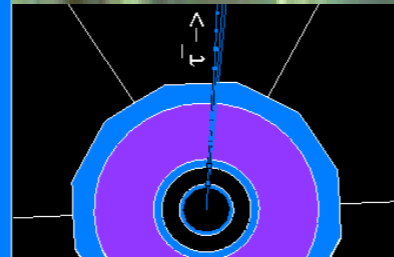
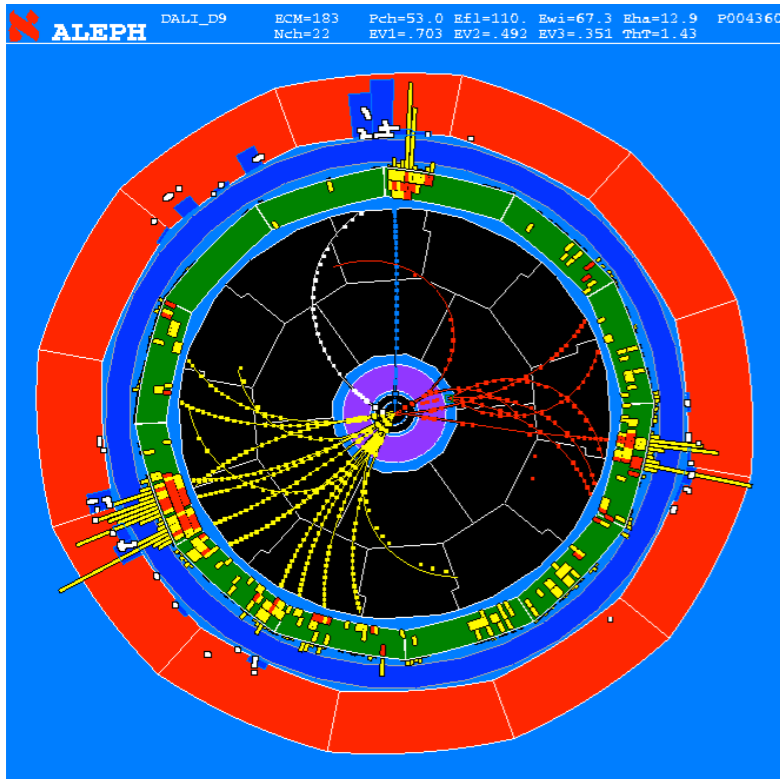
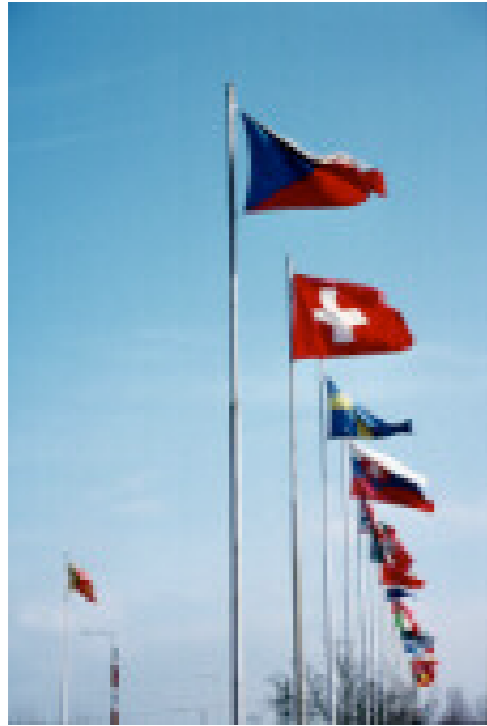


CERN

セルン：欧州合同原子核研究機関
European Organization for Nuclear Research
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

Questions:

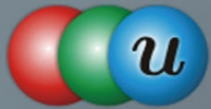



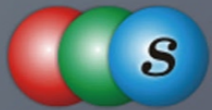







*Why accelerators?
Why so large?
Why circular rings?*



素粒子物理学

物質粒子

top quark 発見
at Fermilab in 1995

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 電子ニュートリノ	 ミューニュートリノ	 タウニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ

強い力

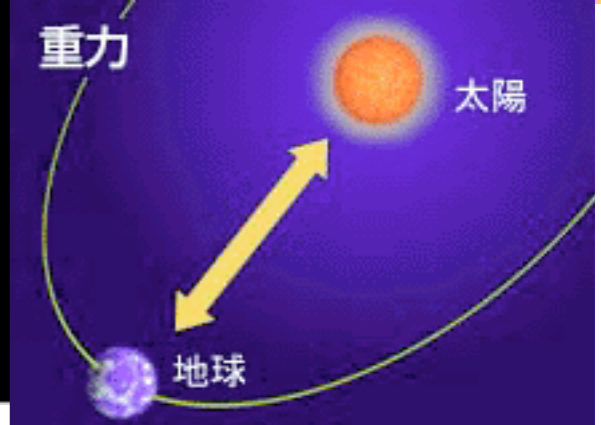
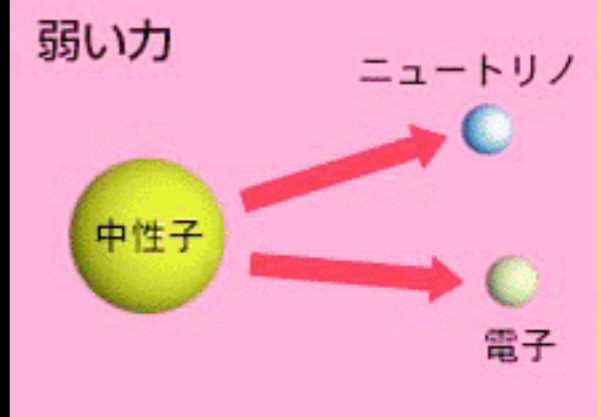
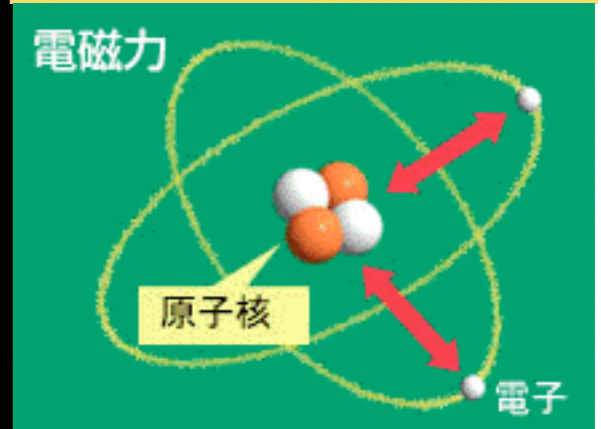
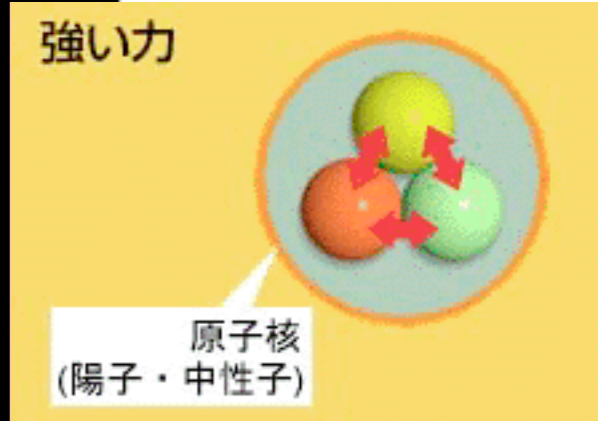
 グルーオン

電磁力

 光子

弱い力

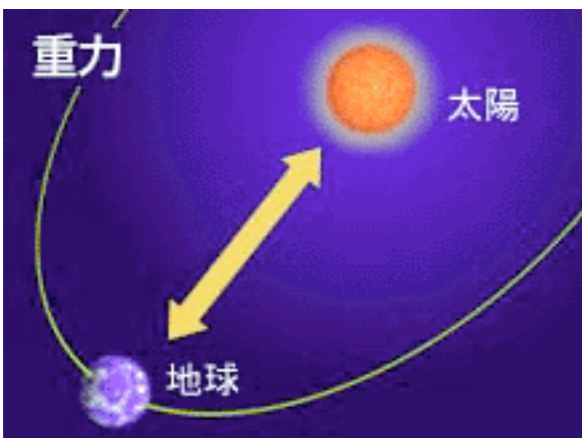
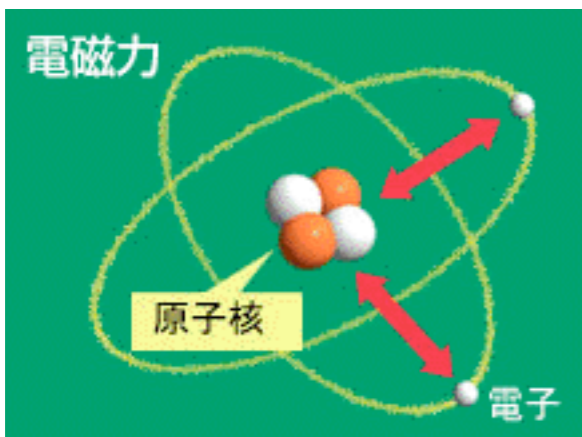
 W ボゾン Z ボゾン



ヒッグス場に伴う粒子
(未発見)


ヒッグス粒子

力の大きさを比較

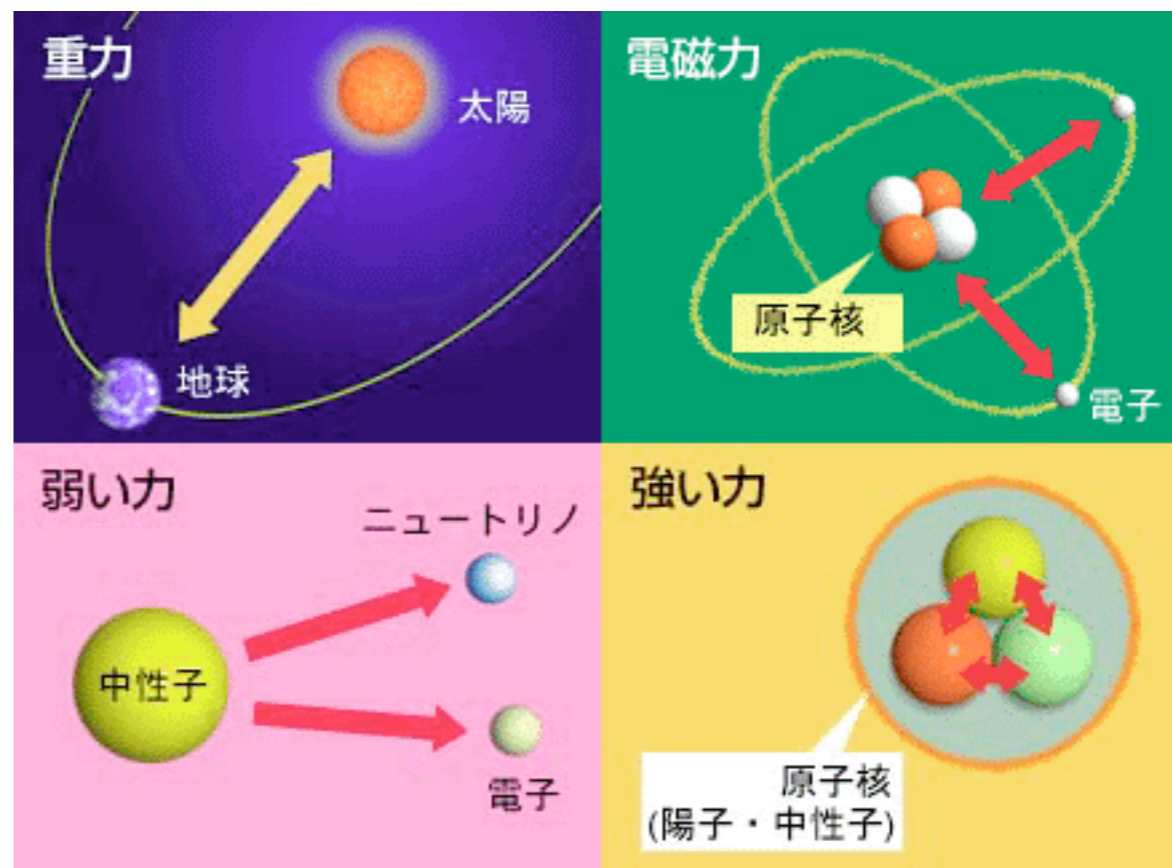


クーロン力

原子核のサイズで陽子同士に働く力

原子のサイズで電子と陽子の間に働く力

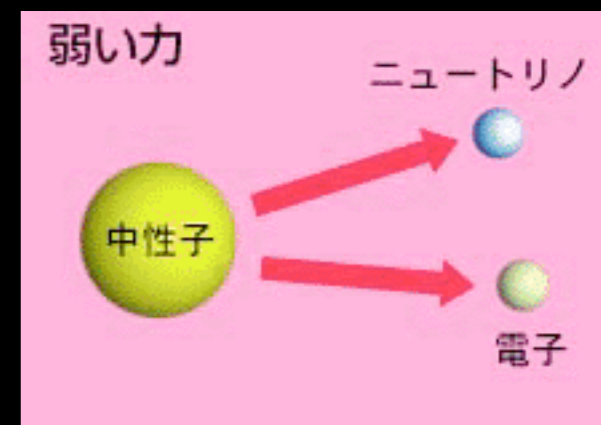
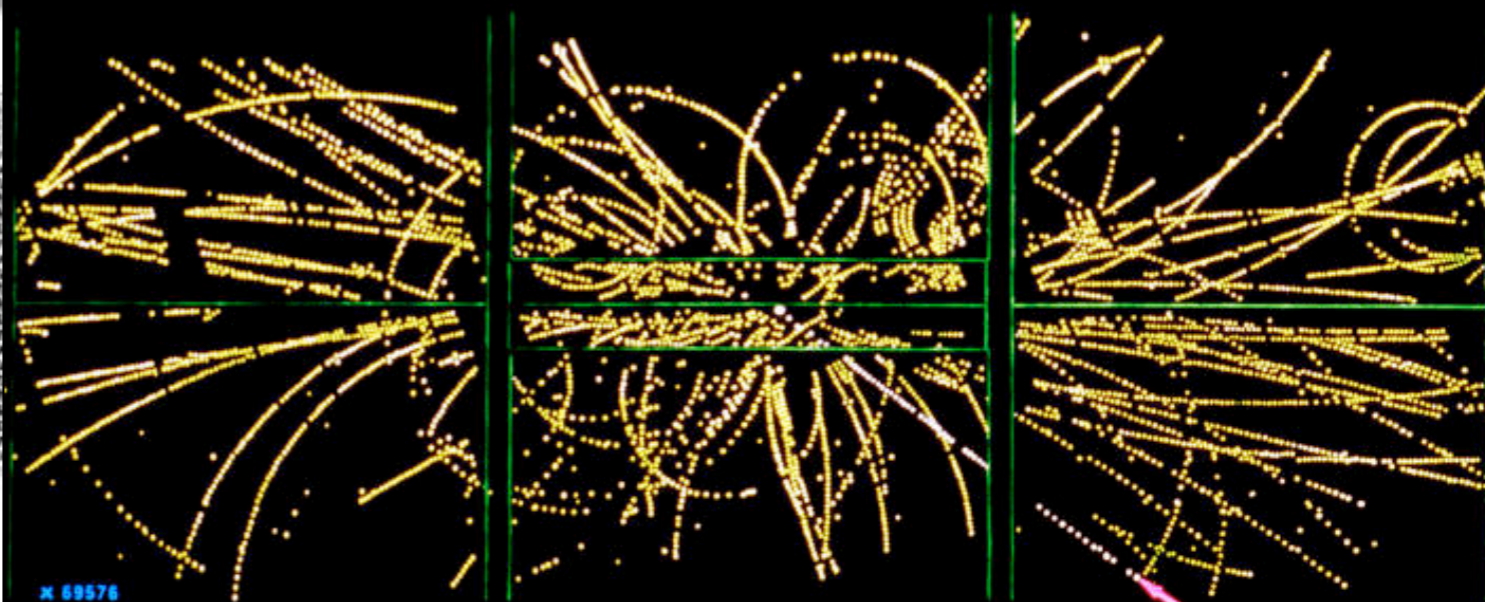
重力



W, Z ボソン (弱い力) の発見 (1984, Carlo Rubbia et al.)



ゲージ粒子

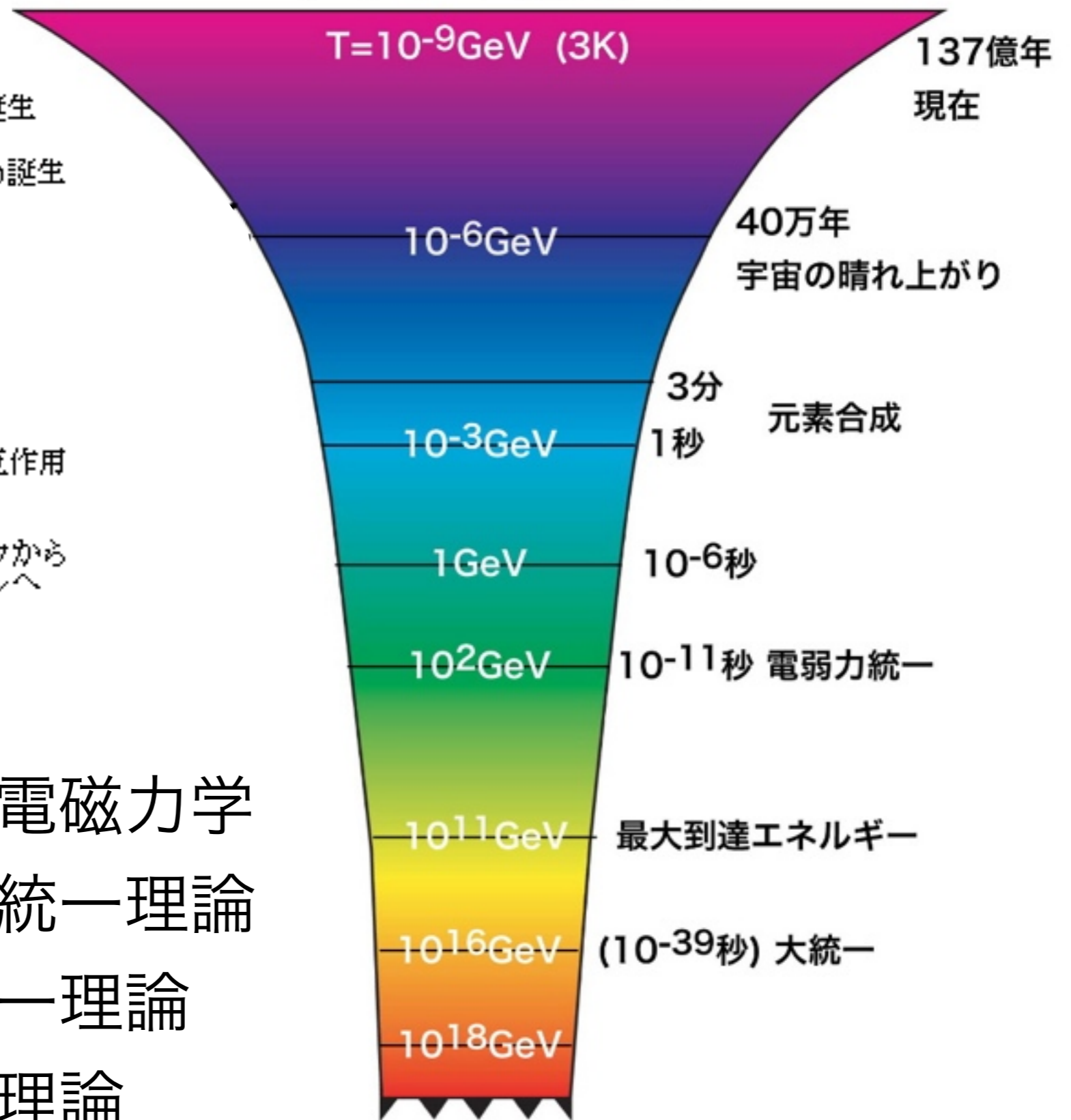
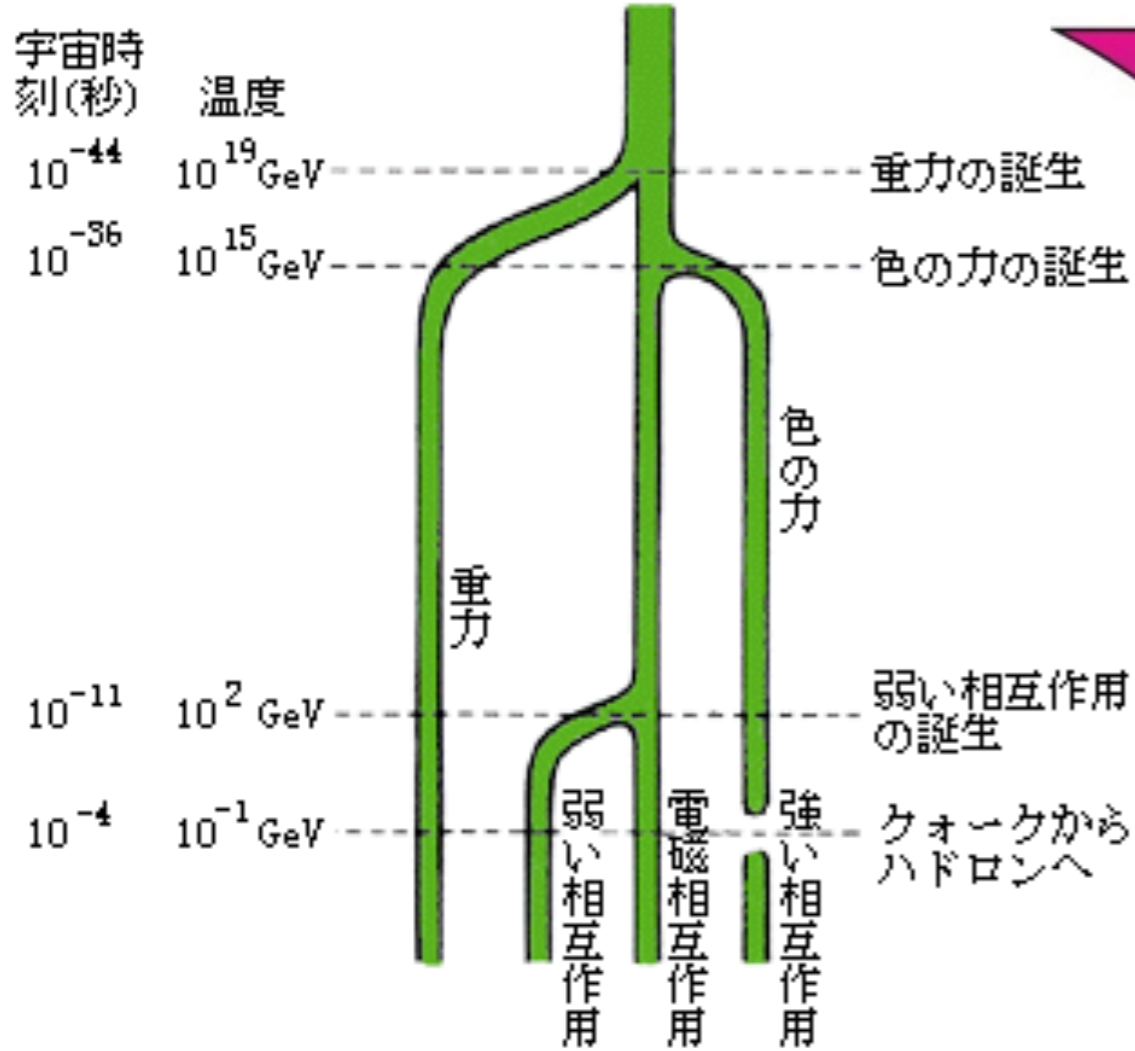


ヒッグス場に伴う粒子
(未発見)



宇宙と素粒子

相互作用の進化図



標準理論

質量の起源
Higgs 粒子

量子電磁力学
電弱統一理論
大統一理論
超弦理論



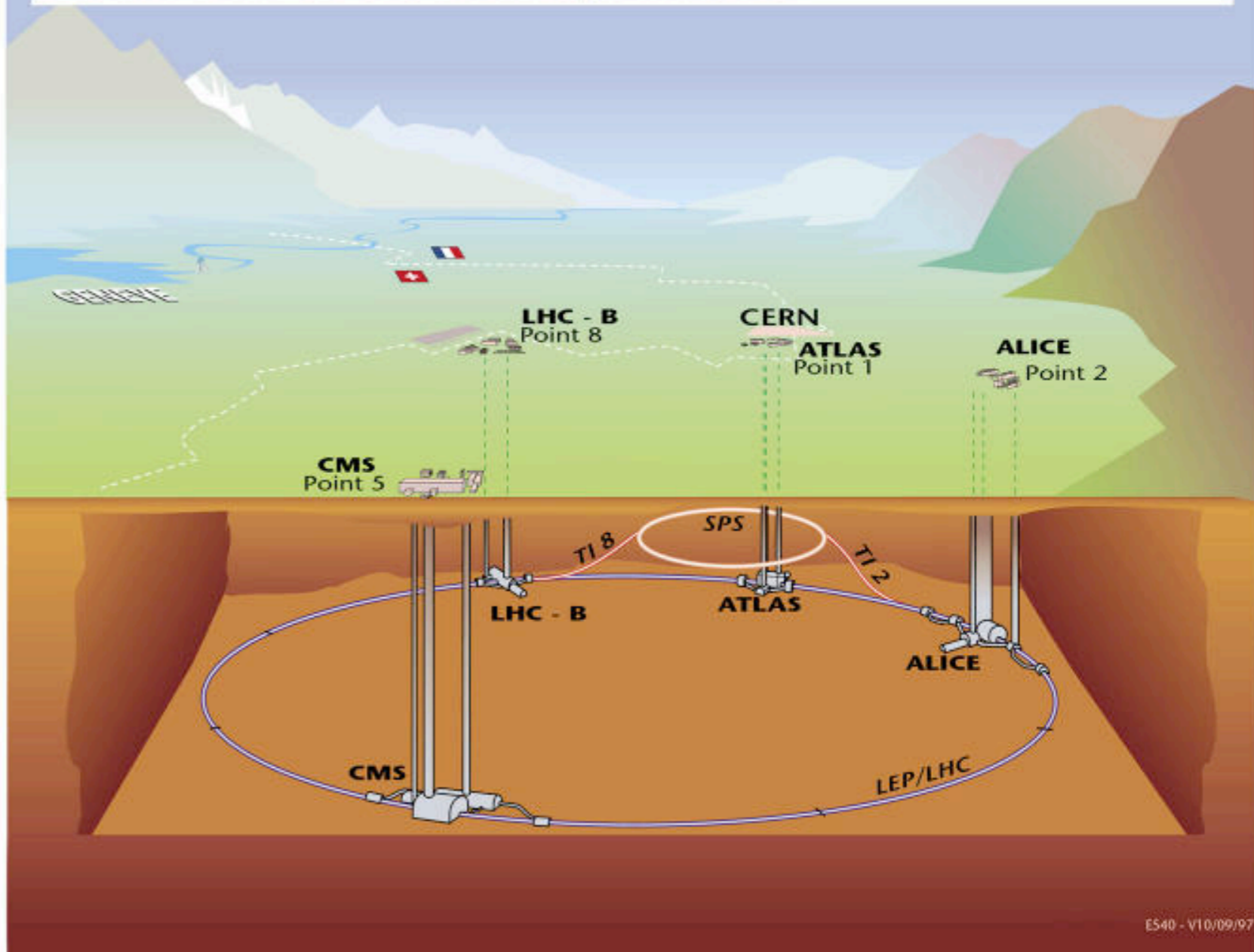
LHC

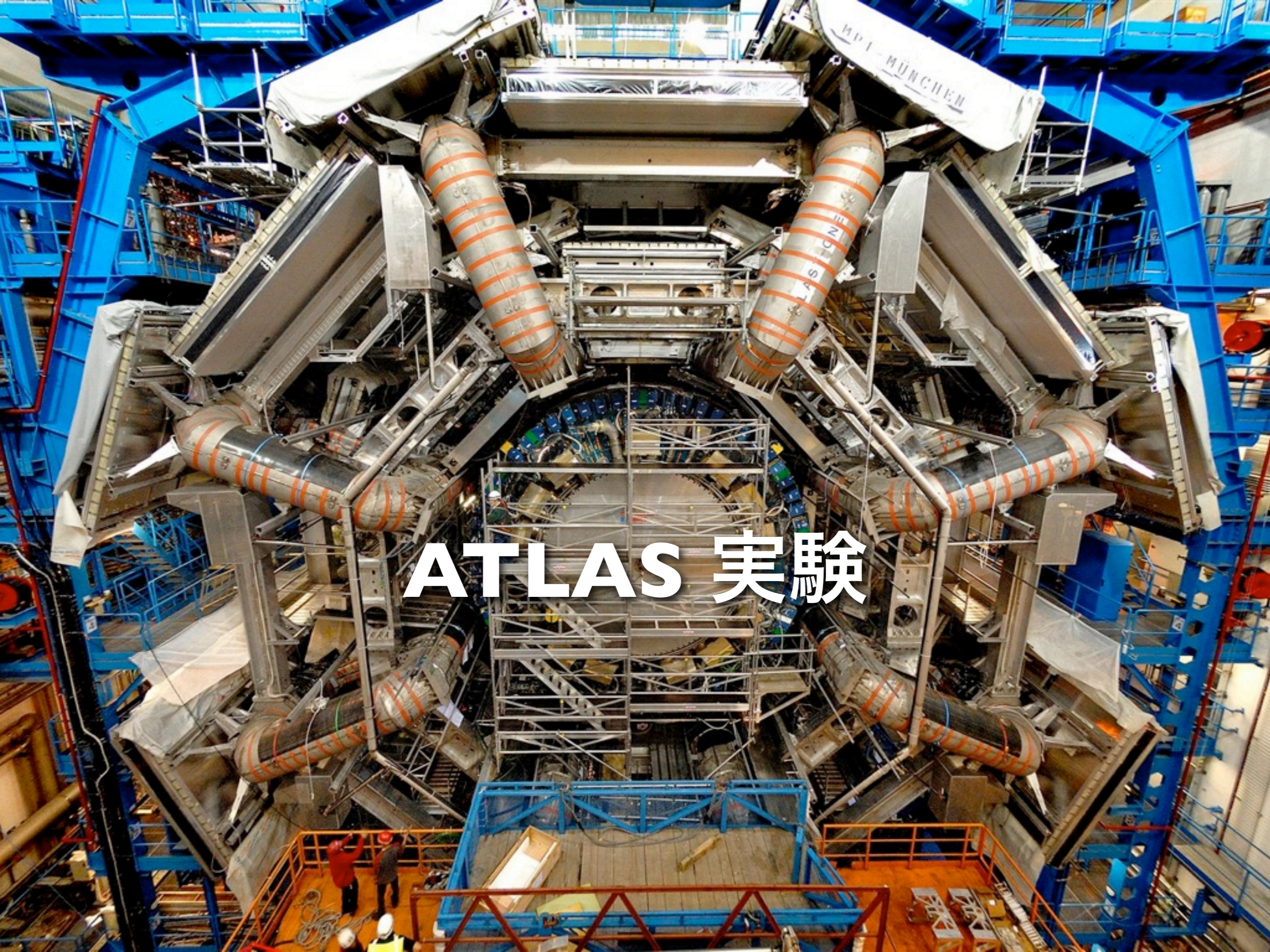
Large Hadron Collider

質量の起源 Higgs 粒子

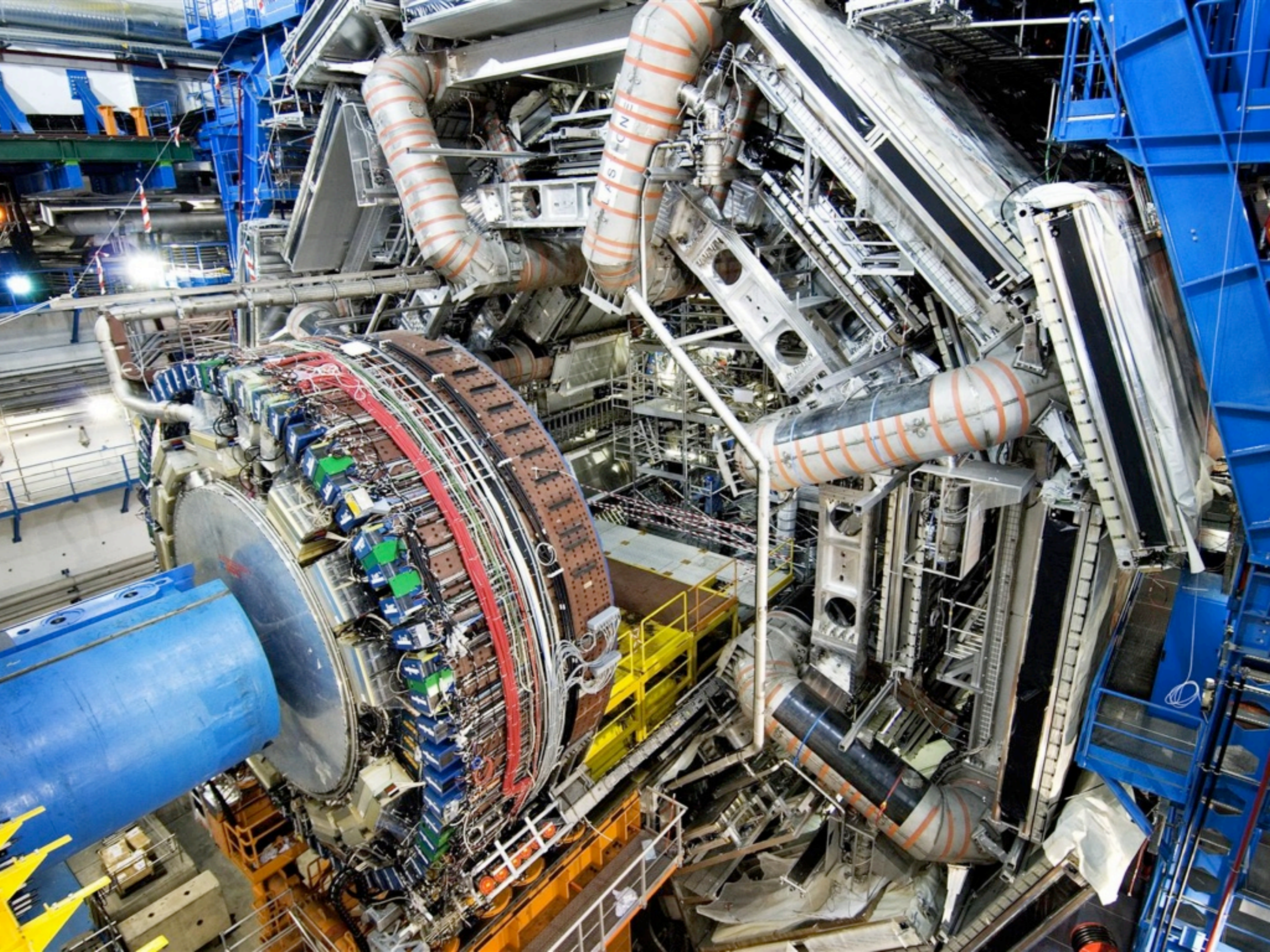


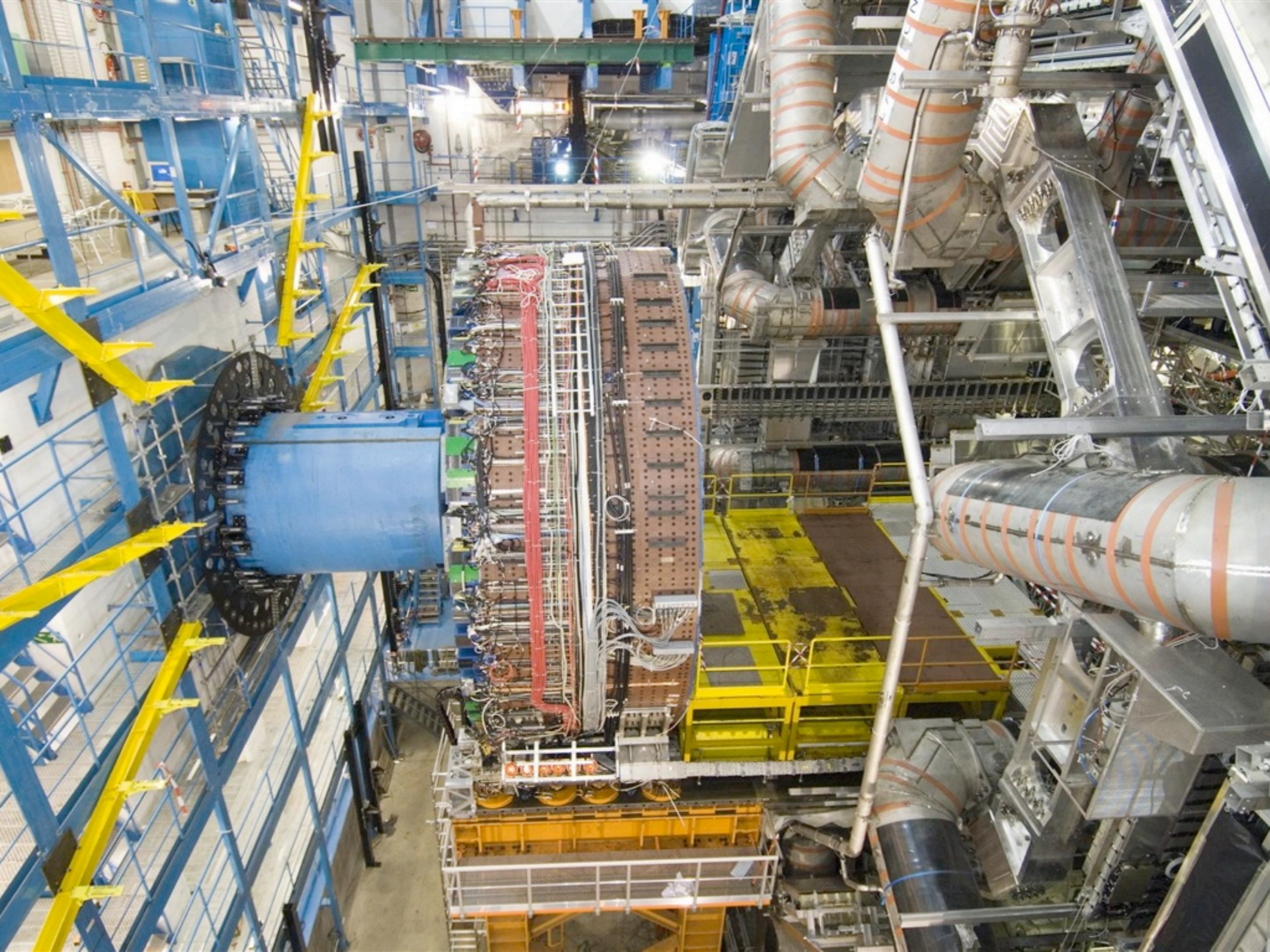
Overall view of the LHC experiments.





ATLAS 実験







Detector characteristics

Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997

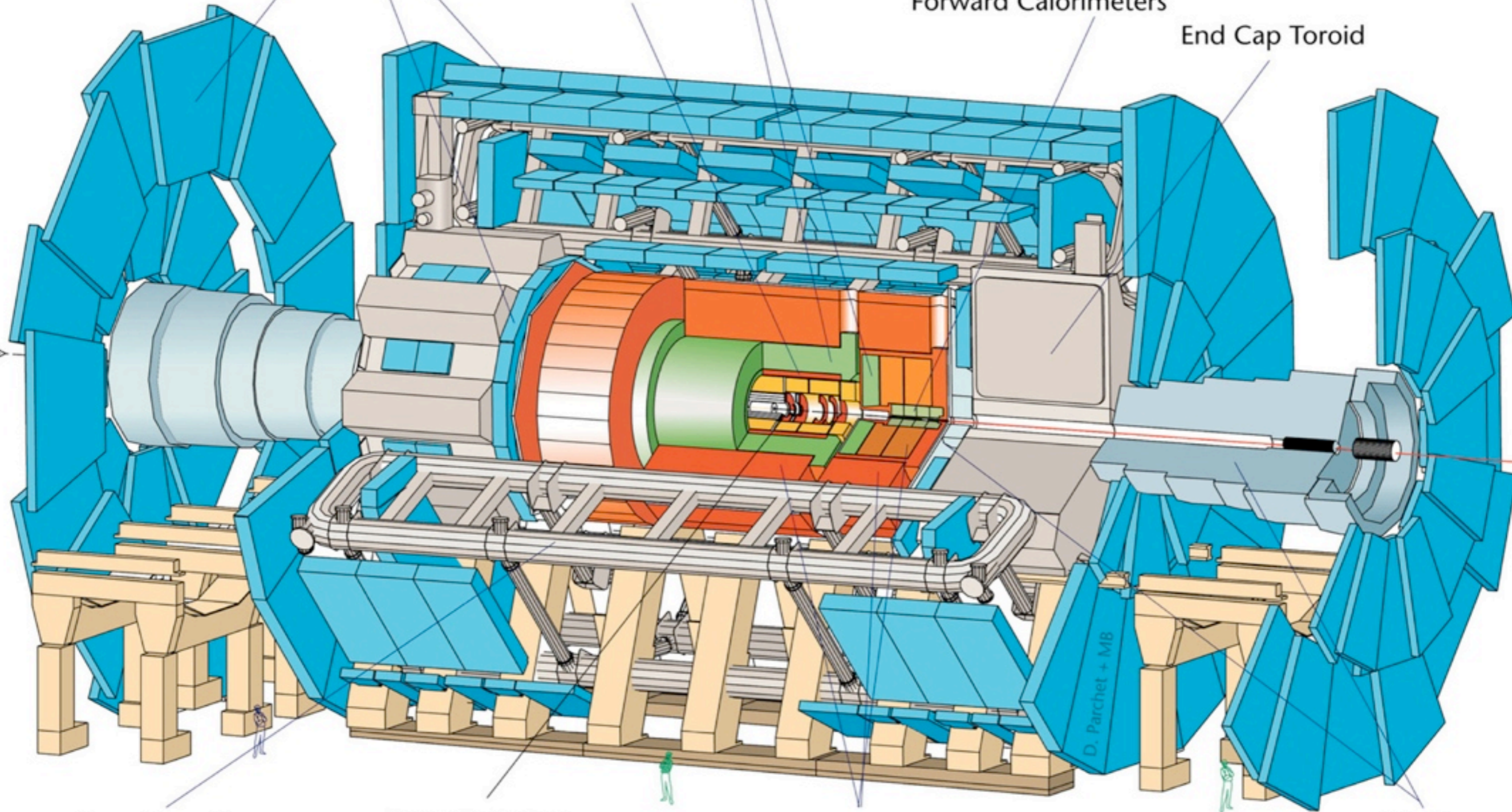
Muon Detectors

Electromagnetic Calorimeters

Solenoid

Forward Calorimeters

End Cap Toroid



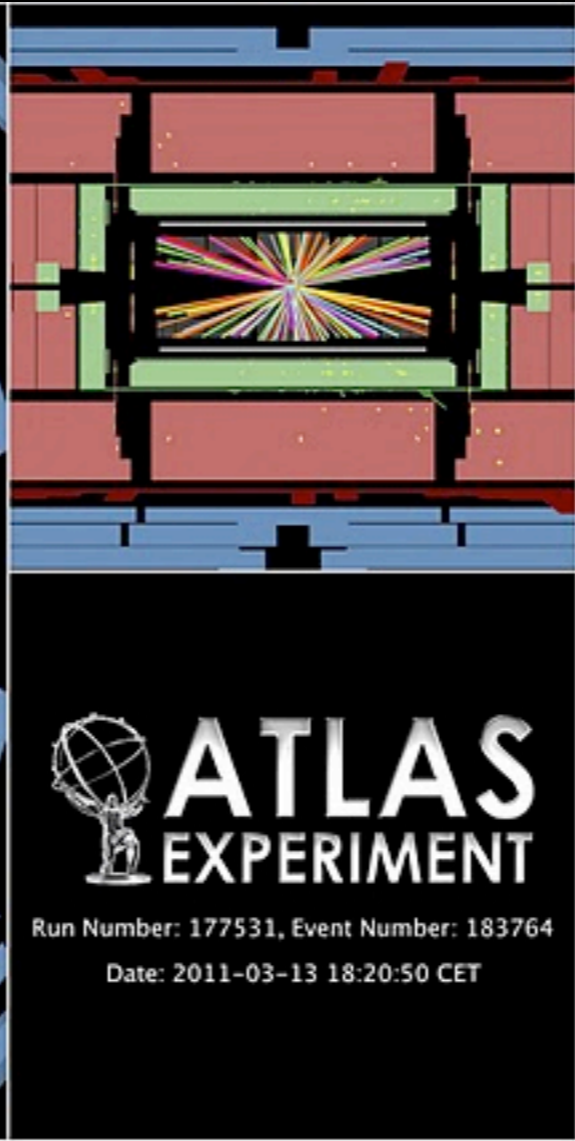
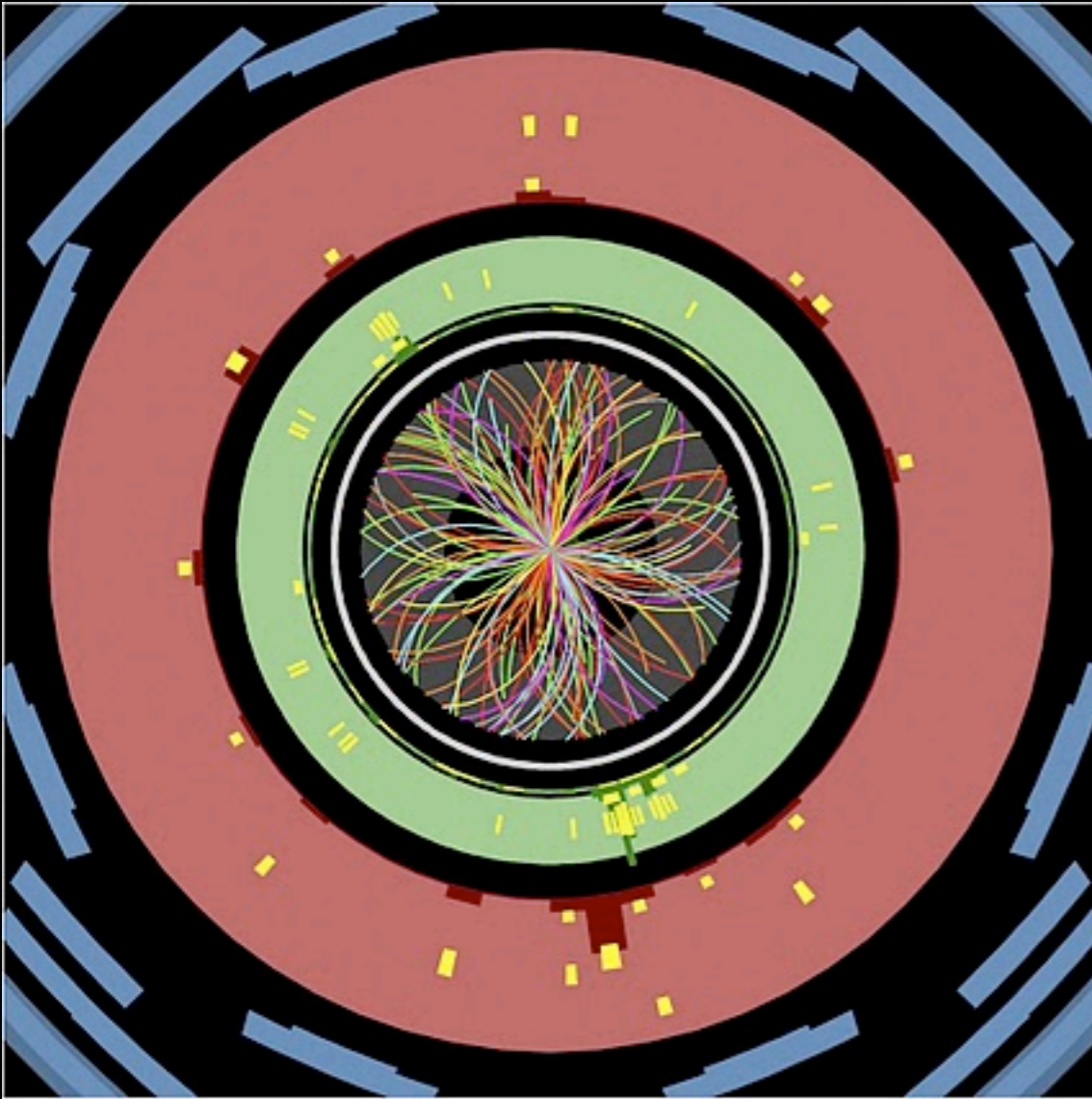
Barrel Toroid

Inner Detector

Hadronic Calorimeters

Shielding

D. Parquet + MB

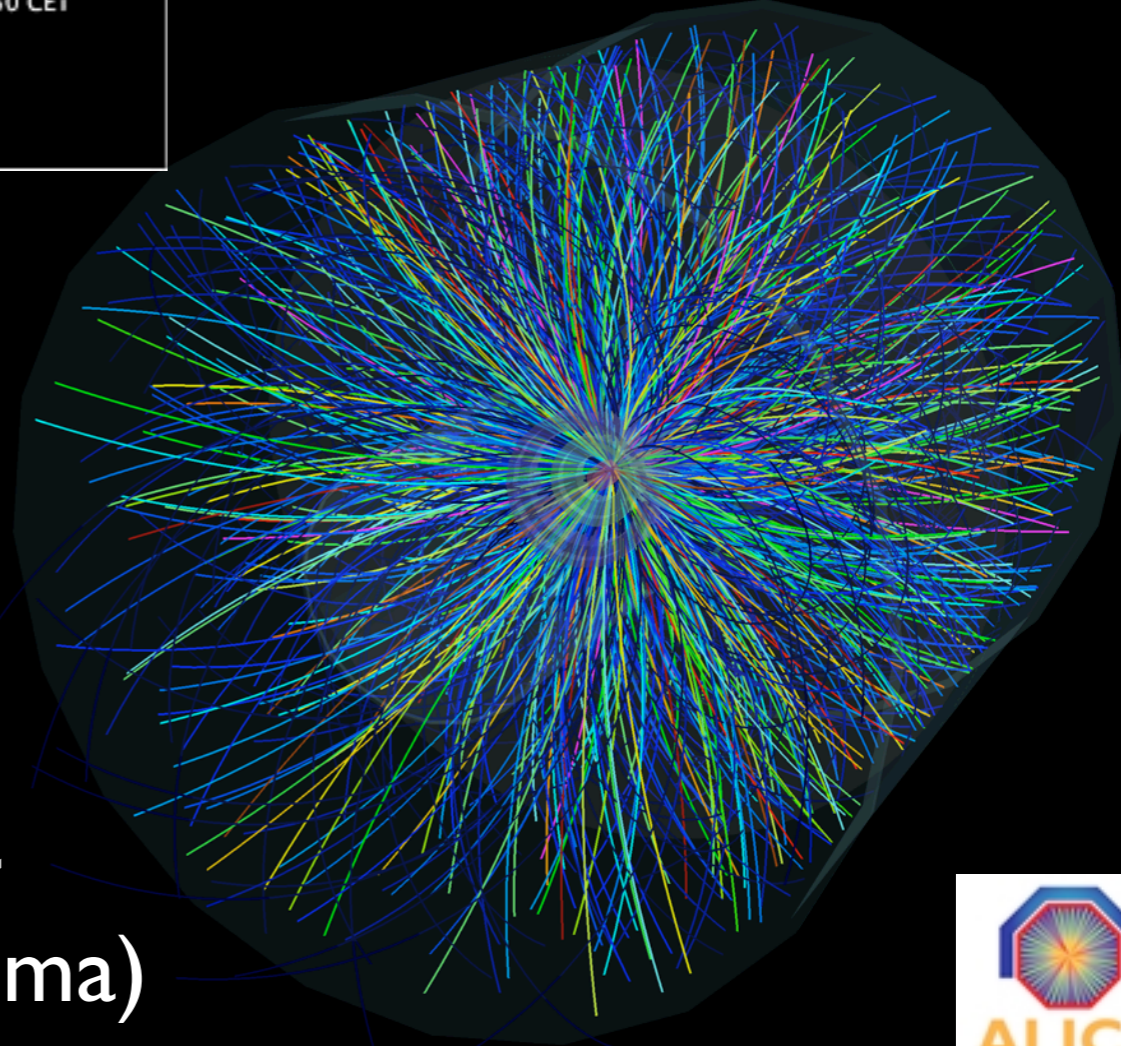


ATLAS
EXPERIMENT
Run Number: 177531, Event Number: 183764
Date: 2011-03-13 18:20:50 CET

$3.5 \text{ TeV} + 3.5 \text{ TeV}$
 $= 7 \text{ TeV}$

目標： $7 \text{ TeV} + 7 \text{ TeV} = 14 \text{ TeV}$

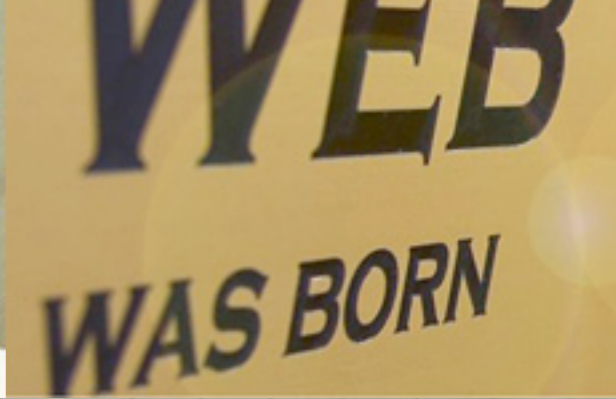
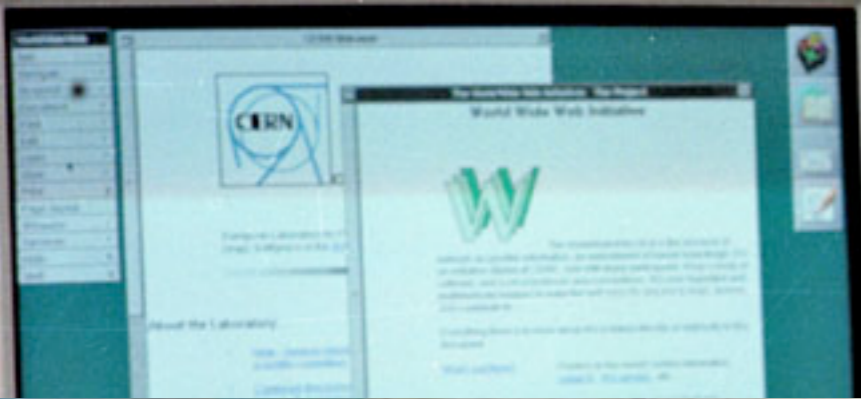
Higgs search



ALICE experiment
QGP (Quark-Gluon Plasma)







Tim Berners-Lee

WorldWideWeb

- Info
- Navigate
- Document
- Edit
- Find
- Links
- Style
- Print...
- Page layout...
- Windows
- Services
- Hide
- Quit

File View

Welcome to the Universe of HyperText

Home

Access to this information is provided as part of the [WorldWideWeb](#) project. The WWW project does not take responsibility for the accuracy of information provided by others.

How to proceed <http://info.cern.ch/>

References to other information are represented like [this](#). Double-click on it to jump to related information.

General CERN Information sources

Now choose an area in which you would like to start browsing. The system currently has access to three sources of information. With the indexes, you should use the keyword search option.

CERN Information

A general keyword index to the information available on the WWW. Includes CERN documents, CERN news, and the computer network (CERN). (This is the same data on CERN available on CERNVM with the [VM FIND](#) program.)

CERN Telephone Book

A keyword index to the CERN telephone book by function.

Internet News

You can access the internet news scheme (See [information for new users](#)). News articles are distributed typically CERN-wide or worldwide, and have a finite lifetime.

Other information of general interest at CERN include:

- [CERN News](#)
- [CERN Technology Interest Group\) news](#)

For more information on this machine, see also the following topics:

- [Information on this WorldWideWeb application](#)

Info

HyperMedia Browser version 1.0

An exercise in global information availability by Tim Berners-Lee

© 1990,91, CERN. Distribution restricted: ask for terms. BEST VERSION ONLY

Text: Text which is not constrained to be linear.

Media: Information which is not constrained linear... or to be text.

This is the first version of the NextStep WorldWideWeb application with the libWWW library. Bug reports to www-bug@info.cern.ch. Check the list of known bugs in the web too.

This was the original prototype for the World-Wide Web. Many browsers for other platforms now exist. Read the web for details.

You should configure the newsreader code in this application to know where your local news (NNTP) server is. Type in a terminal window

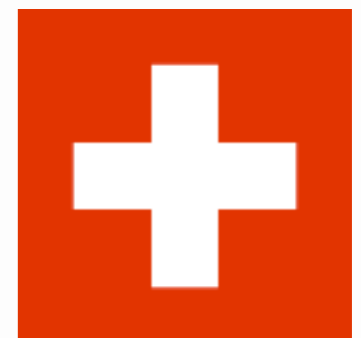
NEXT

PREF

Recycling symbol



スイス連邦



スイスの言語

フランス

ドイツ
GERMANY

Geographical distribution of the languages of Switzerland (2000)

- German
- French
- Italian
- Romansh
- bilingual areas and cities*

* Areas with changing majorities, traditionally strong minorities of other official languages (over 30%) and officially bilingual communities.

Officially bilingual are the cantons of

- Berne / Bern (German majority)
- Fribourg / Freiburg (French majority)
- Valais / Wallis (French majority)

Officially trilingual is the canton of

- Graubünden / Grigioni / Grischun (German majority)

De facto bilingual are the cantons of

- Jura (French majority)
- Ticino (Italian majority)



Guten Tag !

Grüß Gott !

オーストリア
AUSTRIA

Grüezi !

Bun di !

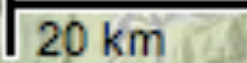
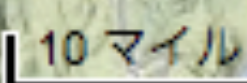
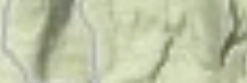
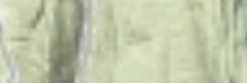
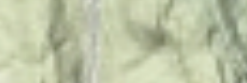
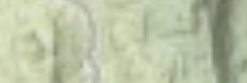
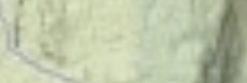
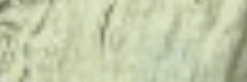
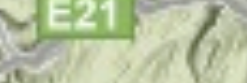
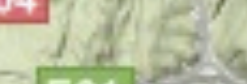
Bonjour !

フランス
FRANCE

Buongiorno.

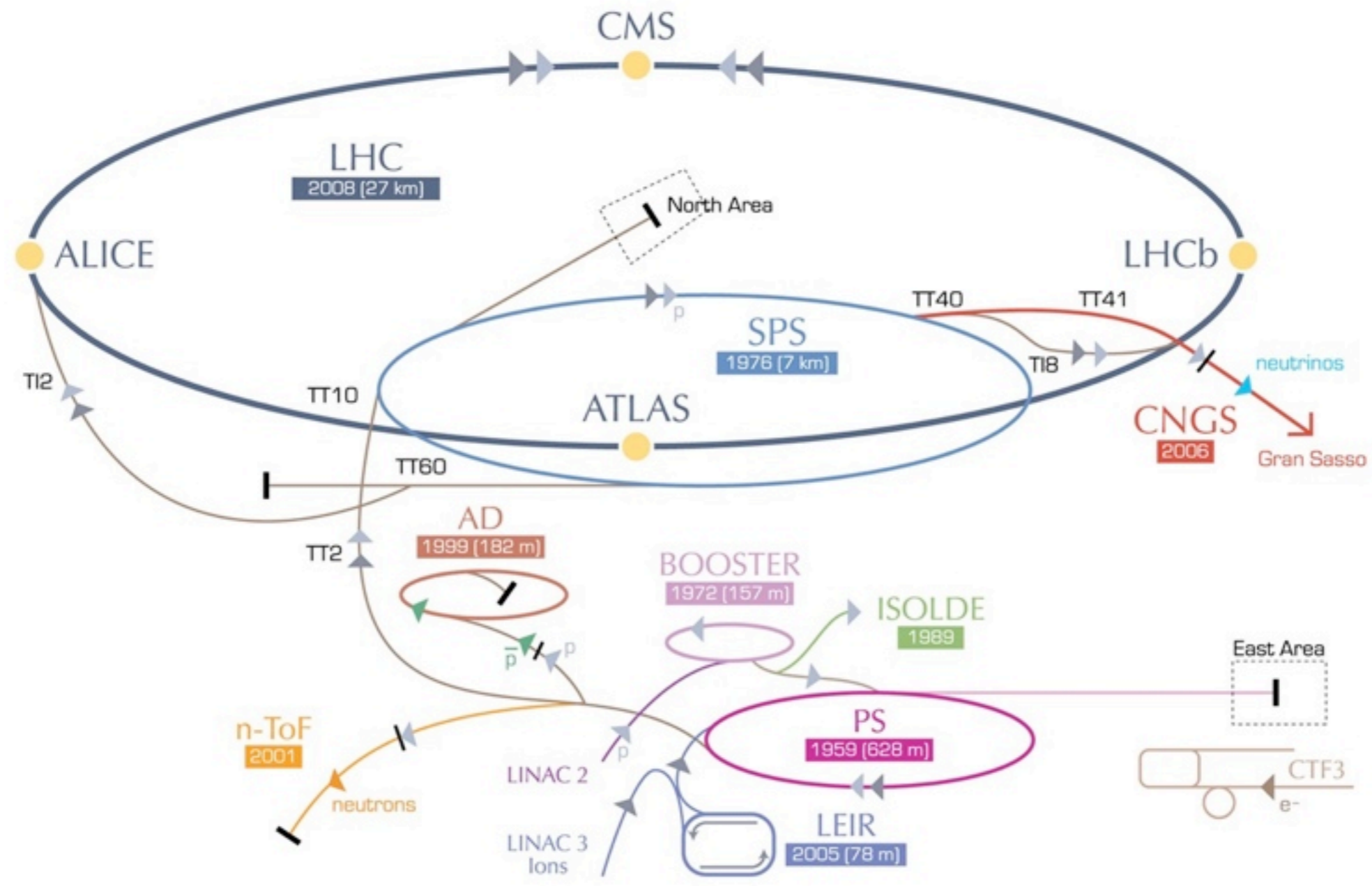
イタリア
ITALY





10 マイル
20 km

CERN's accelerator complex



▶ p [proton] ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} [antiproton] ↔ proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

- LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron
- AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
- LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

『ダヴィンチ・コード』から3年——新たな歴史の謎が暴かれる。

反物質科学

待望の映画化!
『ダヴィンチ・コード』
シリーズ第2弾!

CERN
Antimatter

トム・ハンクス
(ロバート・ラングドン教授)
天使と悪魔
ANGELS & DEMONS

大ヒット上映中!

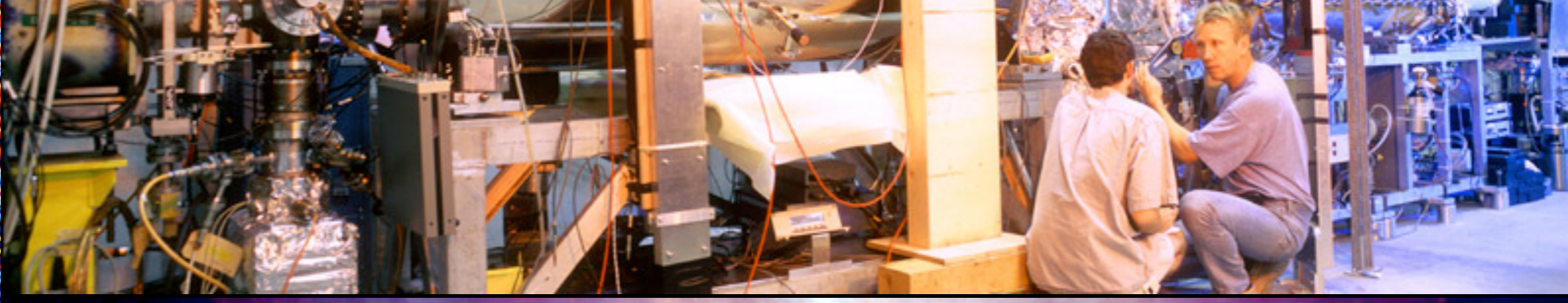
A RON HOWARD FILM
ANGELS & DEMONS
FROM THE AUTHOR OF THE DA VINCI CODE



ヴァチカンを元と闇がほみ込む

『ダヴィンチ・コード』の原作者による
大ベストセラーの完全映画化

2009.5.15

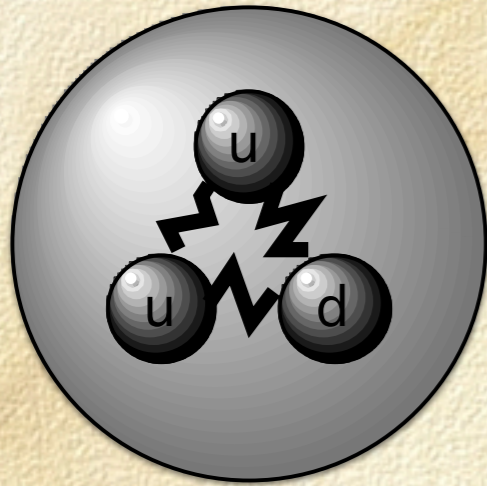


CERN

European Organization for Nuclear Research

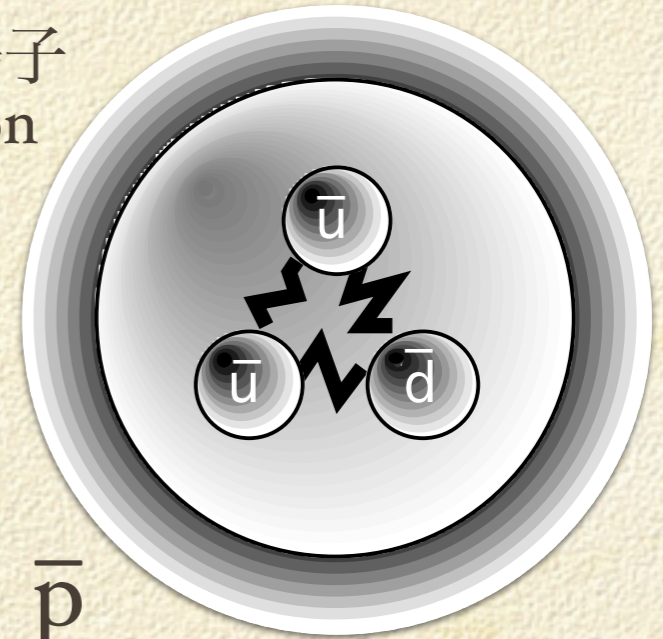
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

陽子
proton



p

反陽子
antiproton



p̄

粒子 / 反粒子

Why No Antimatter?

物質 反物質

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

e^-



電子 electron

e^+

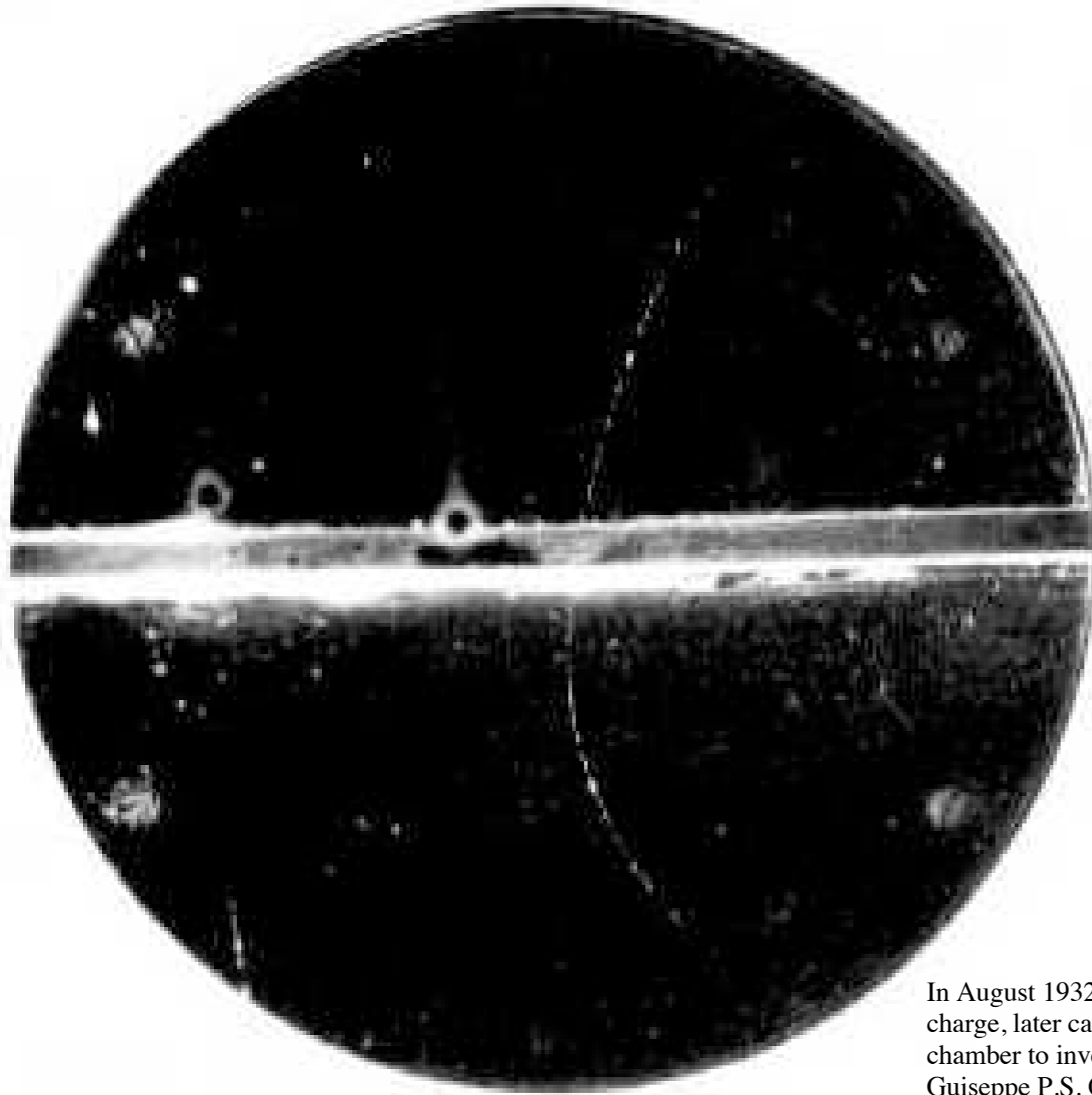


陽電子 positron

Paul Dirac
(相對論的量子力學)

陽電子の発見

Discovery of Positron (1932; Carl D. Anderson)



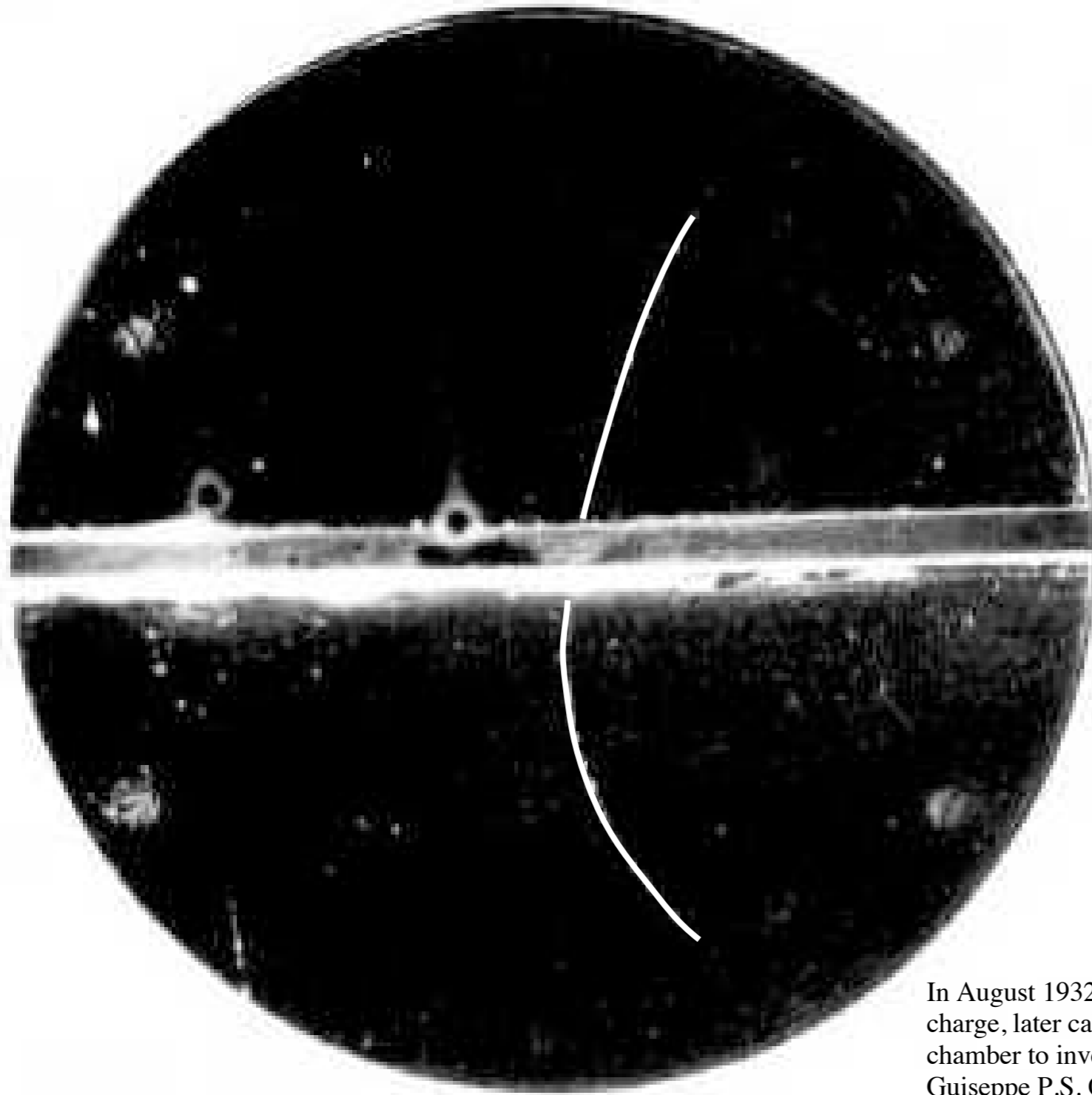
Anderson's first picture of a positron track (Source: C D Anderson)

The positron travelled downwards and lost energy as it passed through a lead plate in the middle of the chamber. Its track is curved because there was a magnetic field in the chamber.

In August 1932, Carl D. Anderson found evidence for an electron with a positive charge, later called the positron. Anderson discovered the positron while using a cloud chamber to investigate cosmic rays. This work was continued by Patrick Blackett and Giuseppe P.S. Occhialini who showed that a positron was produced together with an electron, in line with an earlier theory of Paul Dirac's. According to this theory, a positron was a hole in a sea of ordinary electrons. The positron was the antimatter equivalent to the electron.

陽電子の発見

Discovery of Positron (1932; Carl D. Anderson)



Anderson's first picture of a positron track (Source: C D Anderson)

The positron travelled downwards and lost energy as it passed through a lead plate in the middle of the chamber. Its track is curved because there was a magnetic field in the chamber.

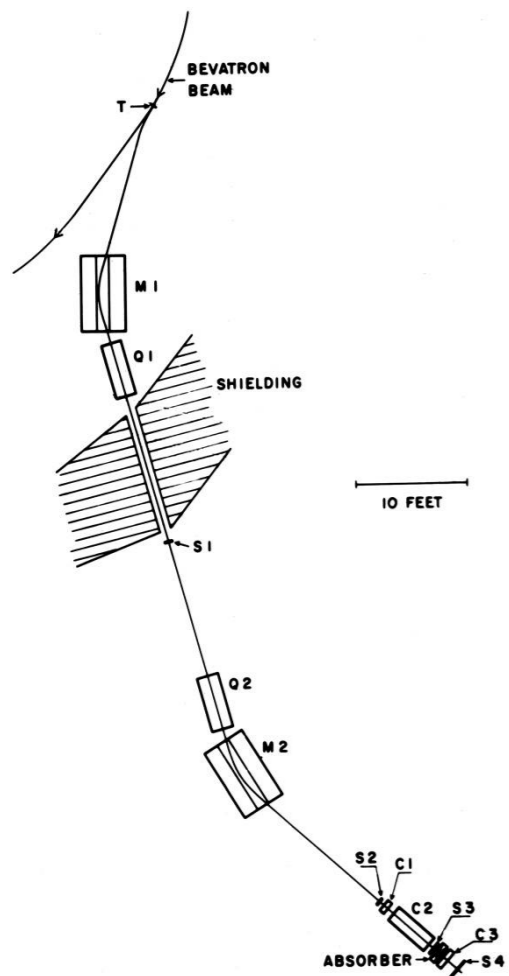
In August 1932, Carl D. Anderson found evidence for an electron with a positive charge, later called the positron. Anderson discovered the positron while using a cloud chamber to investigate cosmic rays. This work was continued by Patrick Blackett and Giuseppe P.S. Occhialini who showed that a positron was produced together with an electron, in line with an earlier theory of Paul Dirac's. According to this theory, a positron was a hole in a sea of ordinary electrons. The positron was the antimatter equivalent to the electron.

Discovery of Antiproton

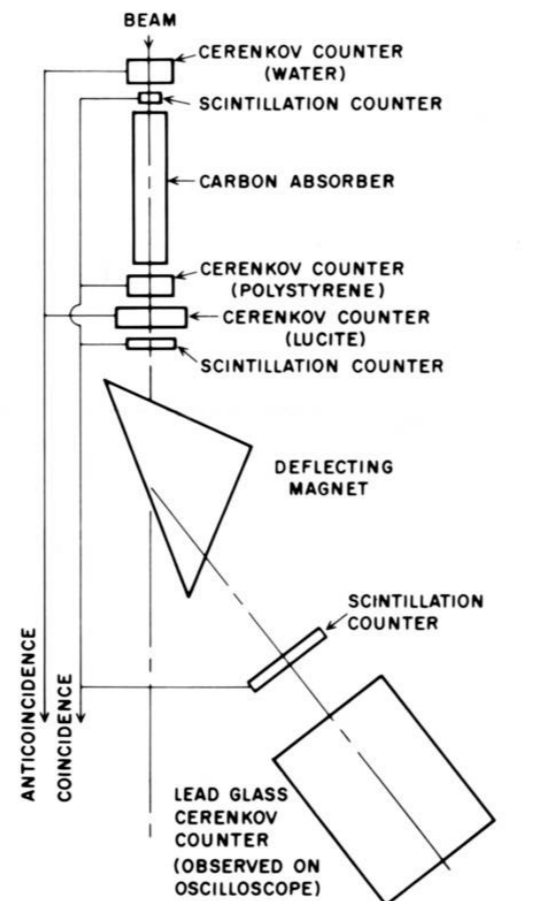
1955; E. Segré & O. Chamberlain

Lawrence-Berkeley Lab., Bevatron

反陽子の発見



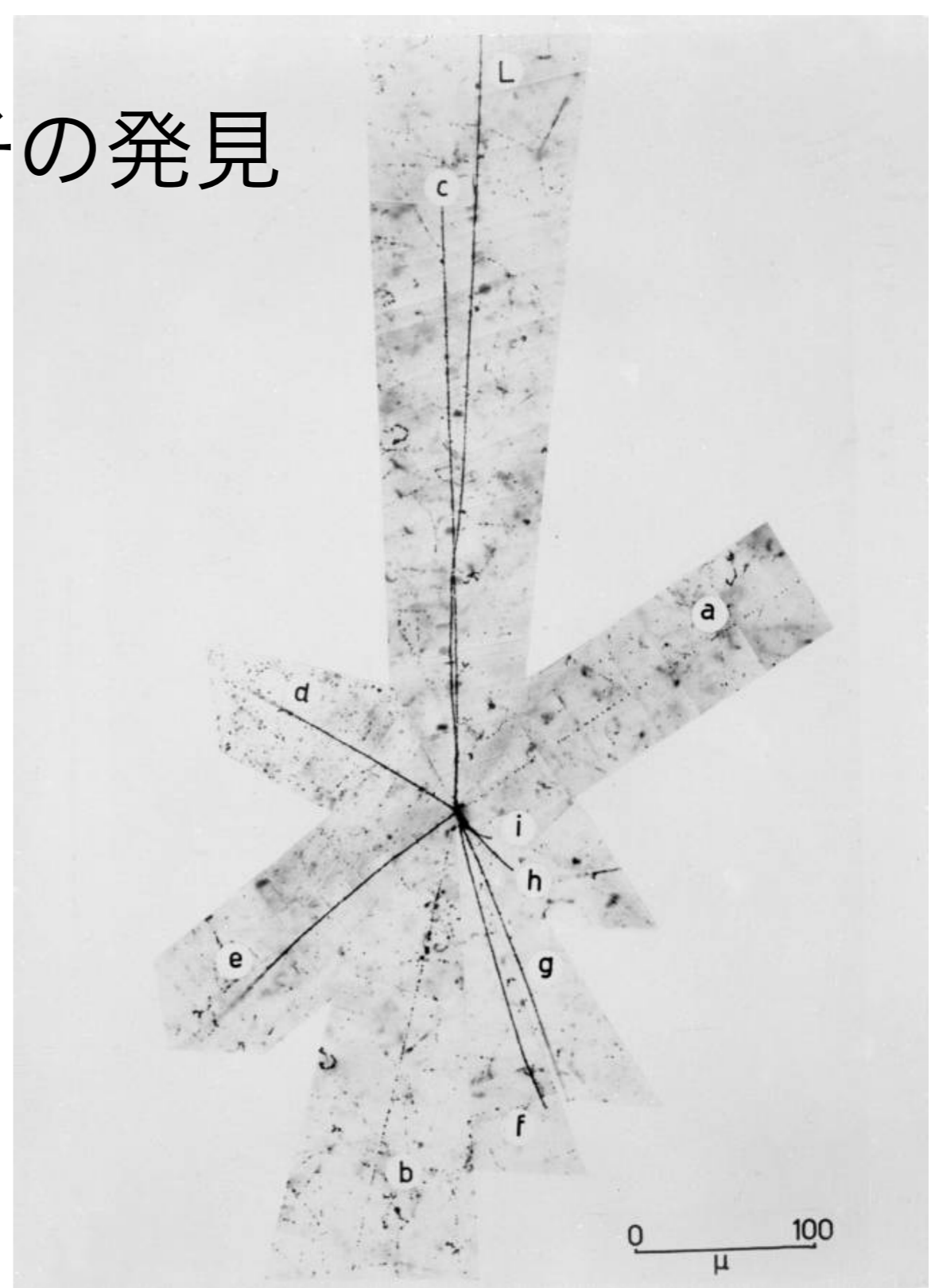
XBD 9606-02963



XBD 9606-02964

Anti-proton detector used successfully in 1955 by Segré's group. M indicates bending magnets, Q indicates focusing quadrupole magnets, S indicates scintillation counters and C indicates Cerenkov counters to eliminate false counts

Anti-proton detector, used by Lofgren's group, analyzed the beam from Segré's magnets. The small Cerenkov counters distinguished the anti-proton from a meson, the large one registered the annihilation of an anti-proton with a proton.



First annihilation star "Faustina" of an anti-proton found in film exposed by the Segré group, 1955. Segré's group pressed forward with the scanning of emulsion stacks in collaboration with a group under Edoardo Amaldi in Rome. The Rome team found the first annihilation star, whose visible energy (the combined energy of all ionizing fragments) amounted to above 826 MeV, an amount deemed appropriate for an explosion initiated by an antiproton. (The preceding information was excerpted from the text of the Fall 1981 issue of LBL Newsmagazine.)

反陽子の生成

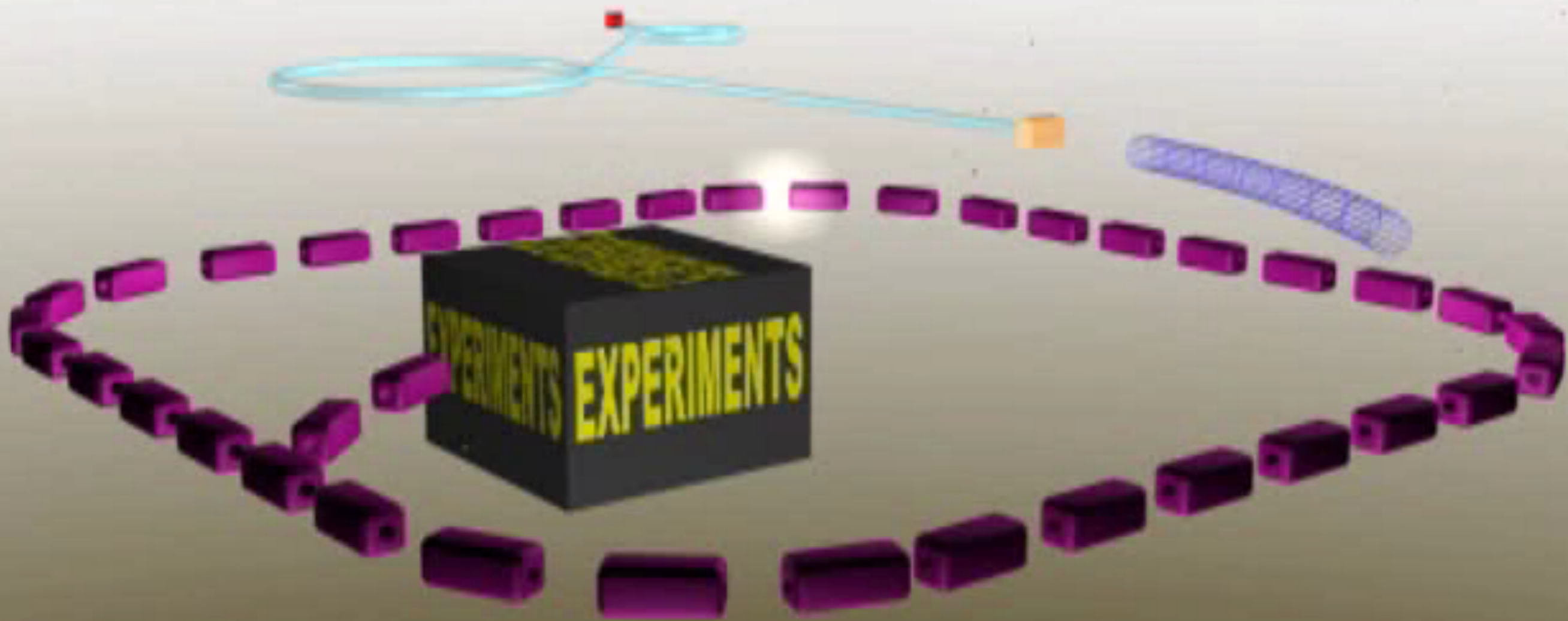
$$E = mc^2$$

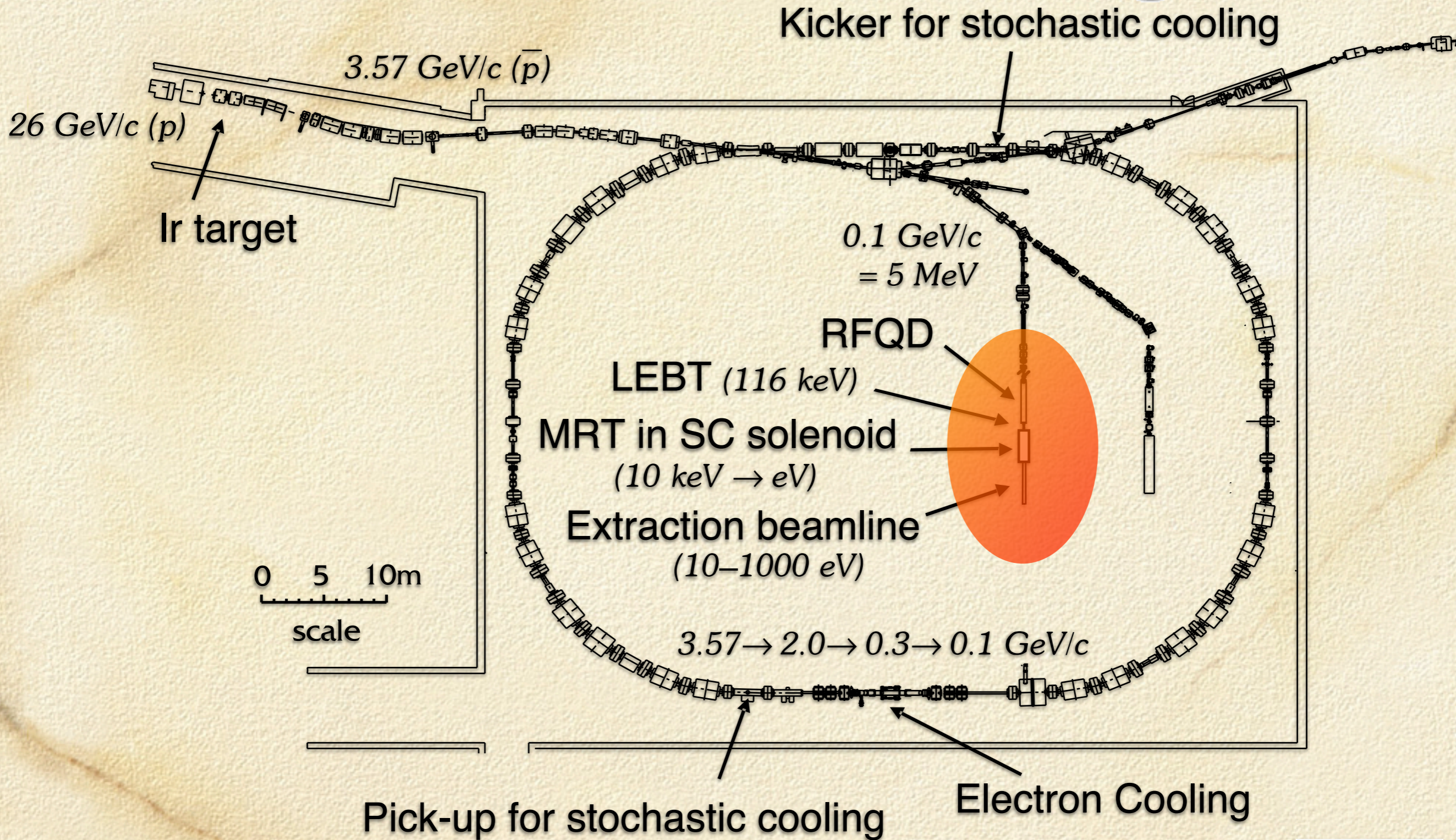
エネルギーと質量は等価



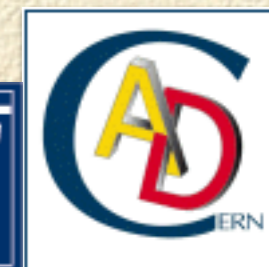
エネルギー・運動量保存

バリオン(重粒子)数保存





CERN AD ring
Antiproton Decelerator





ASACUSA collaboration

Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons

Cooling scheme

5.3 MeV antiproton from AD



RFQD (Radio-Frequency
Quadrupole Decelerator)

~ 100 keV antiproton



thin degrader foils

< 10 keV antiproton

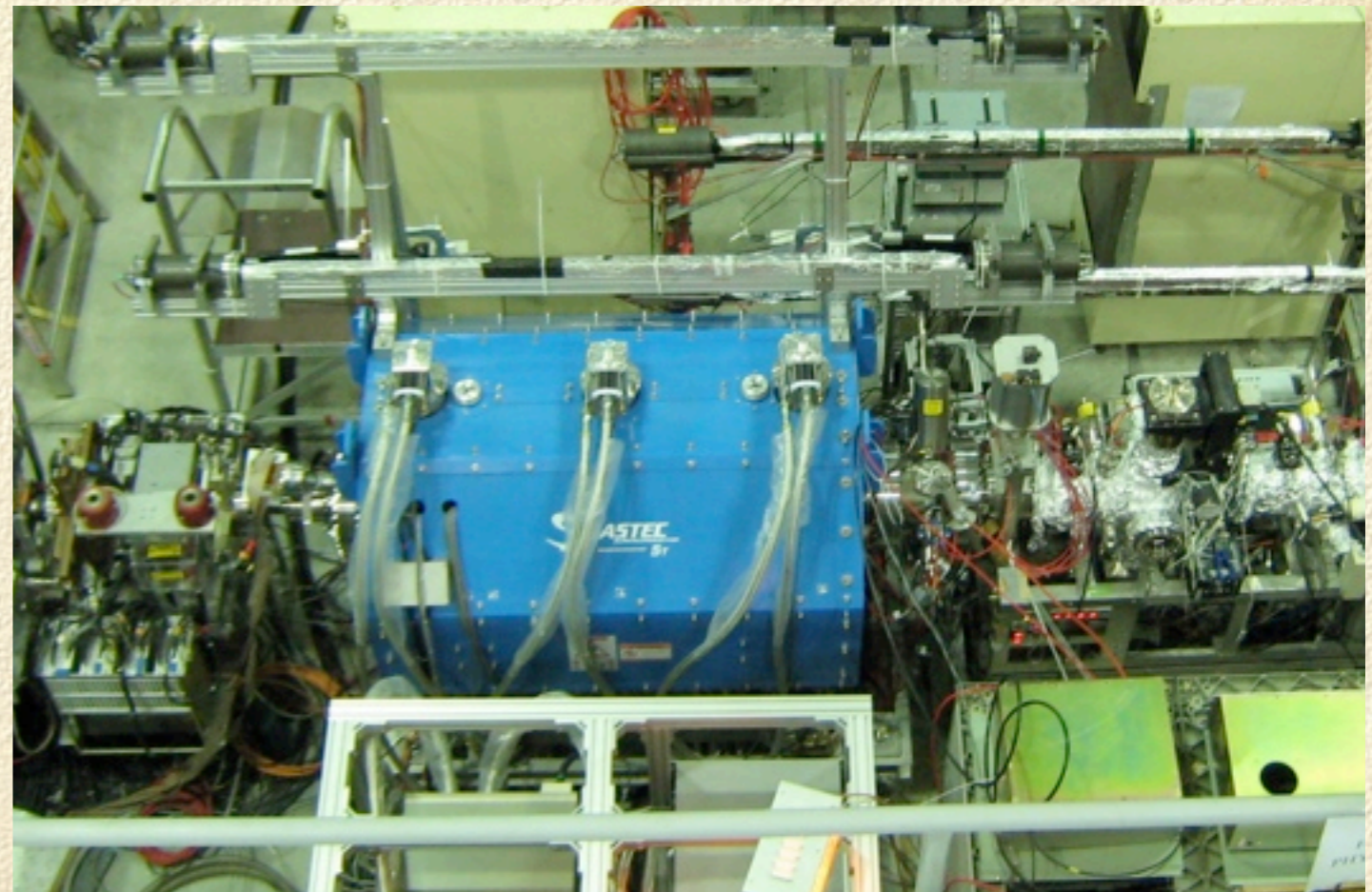
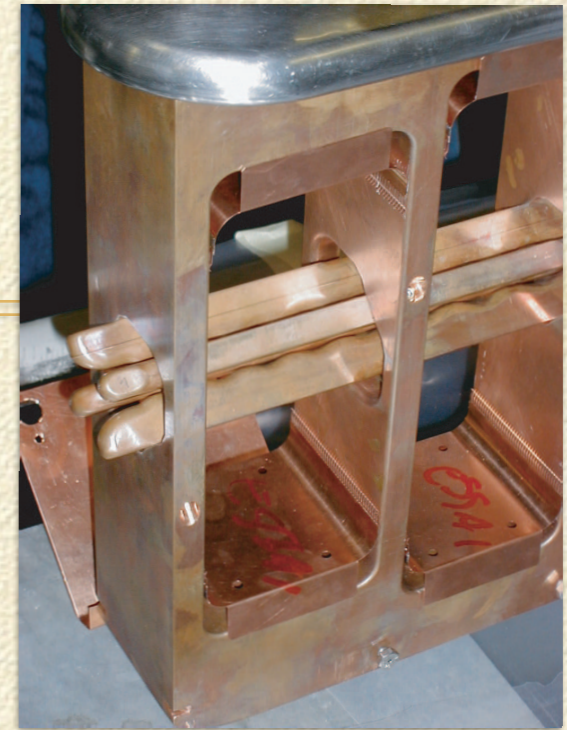


MRT (Trap)
electron cooling

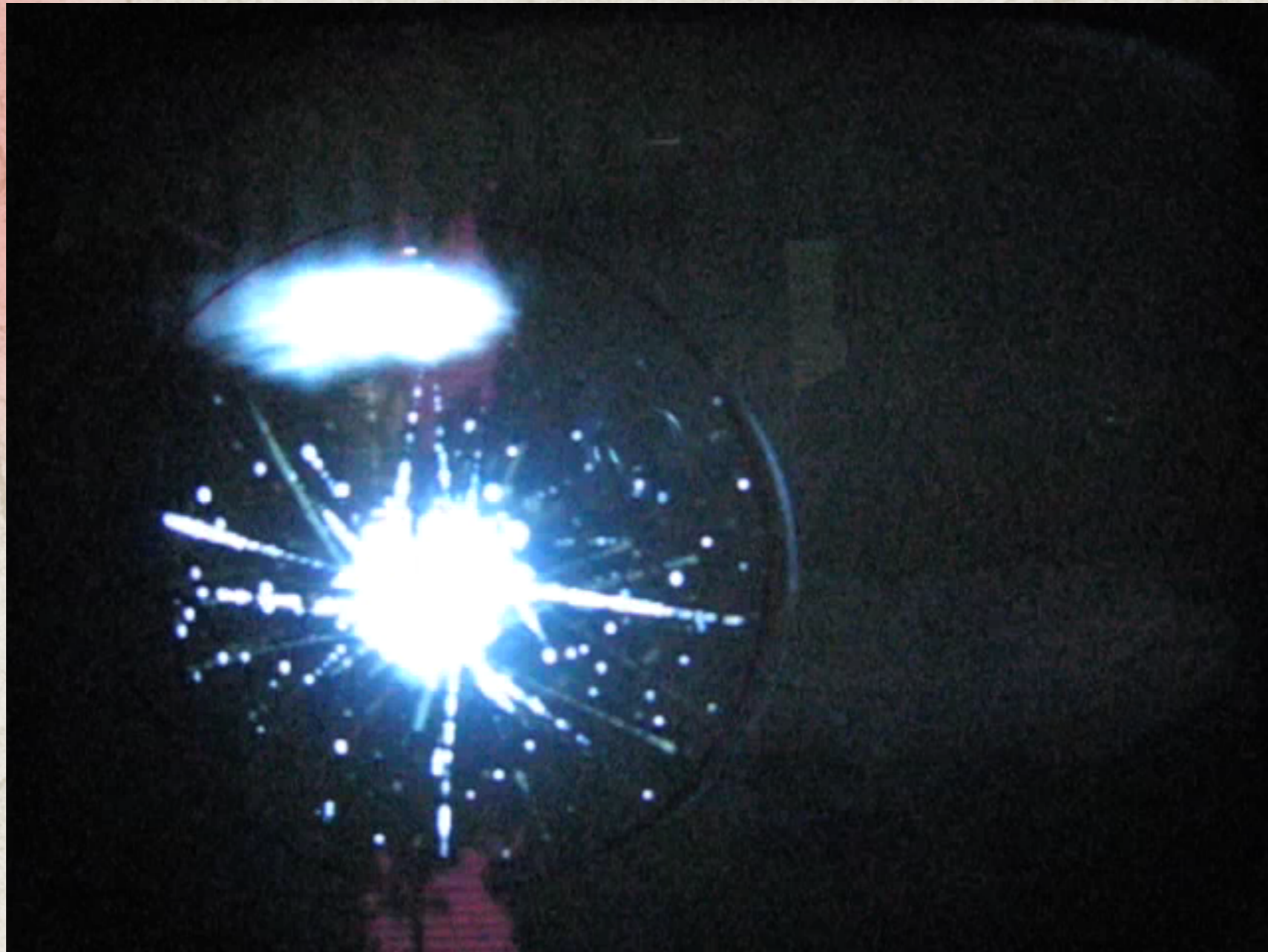
sub-eV antiproton



beamline
extraction of 10–1000 eV (... 20 keV) antiproton beam



引き出した反陽子ビーム



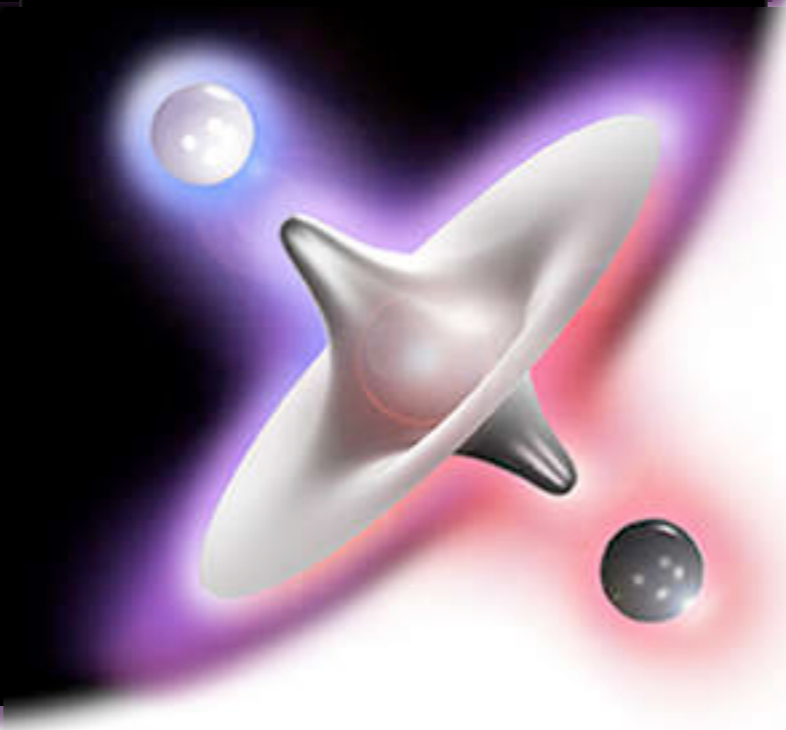
MicroChannel Plate (MCP) + 蛍光膜で観測

物質の世界

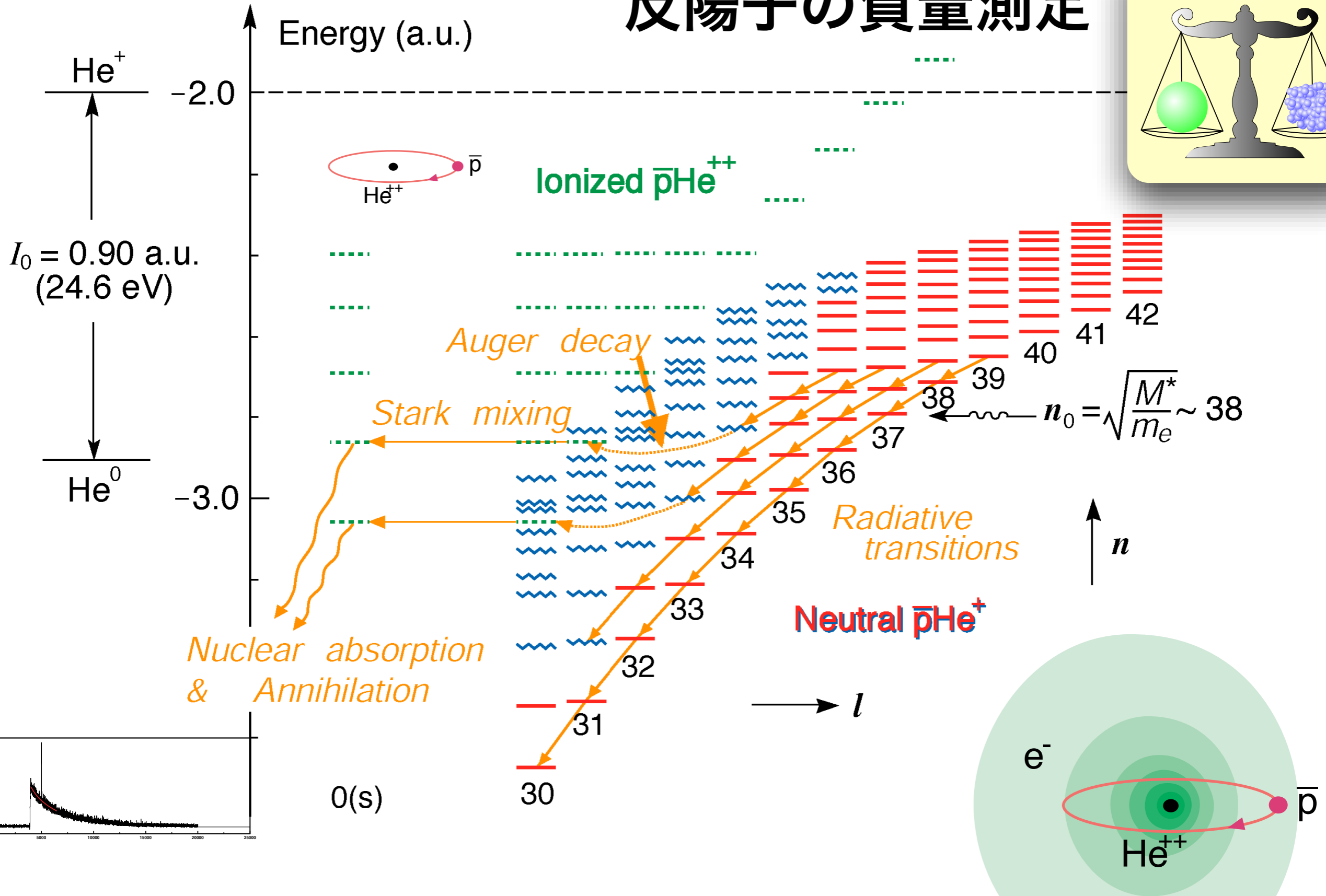
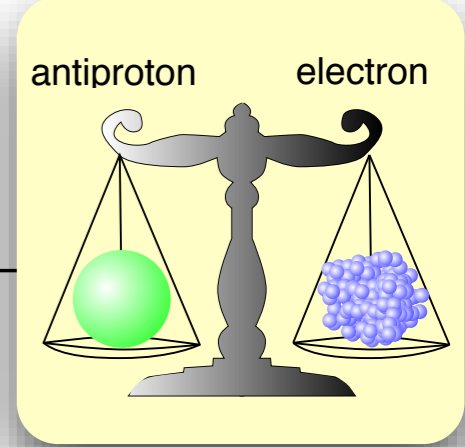


C 対称性
P 対称性
T 対称性
CP 対称性
CPT 対称性

反物質の世界



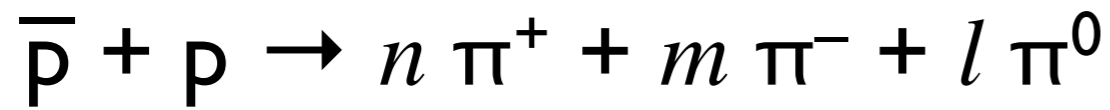
反陽子の質量測定



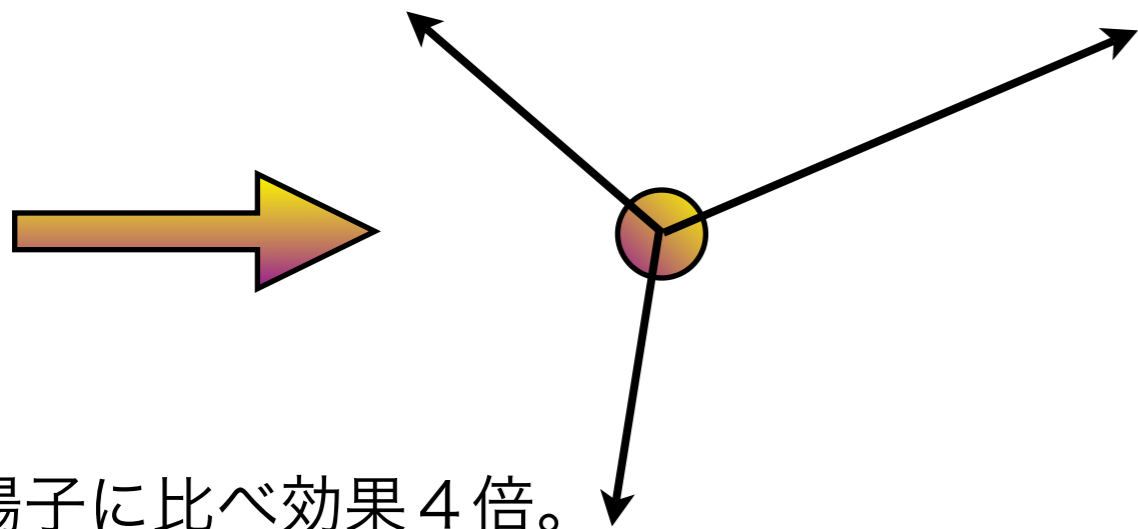
反陽子ヘリウム原子

反陽子がん治療の研究

ACE collaboration, CERN



$$n \approx m \approx 1.5, l \approx 2 \quad \pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$$



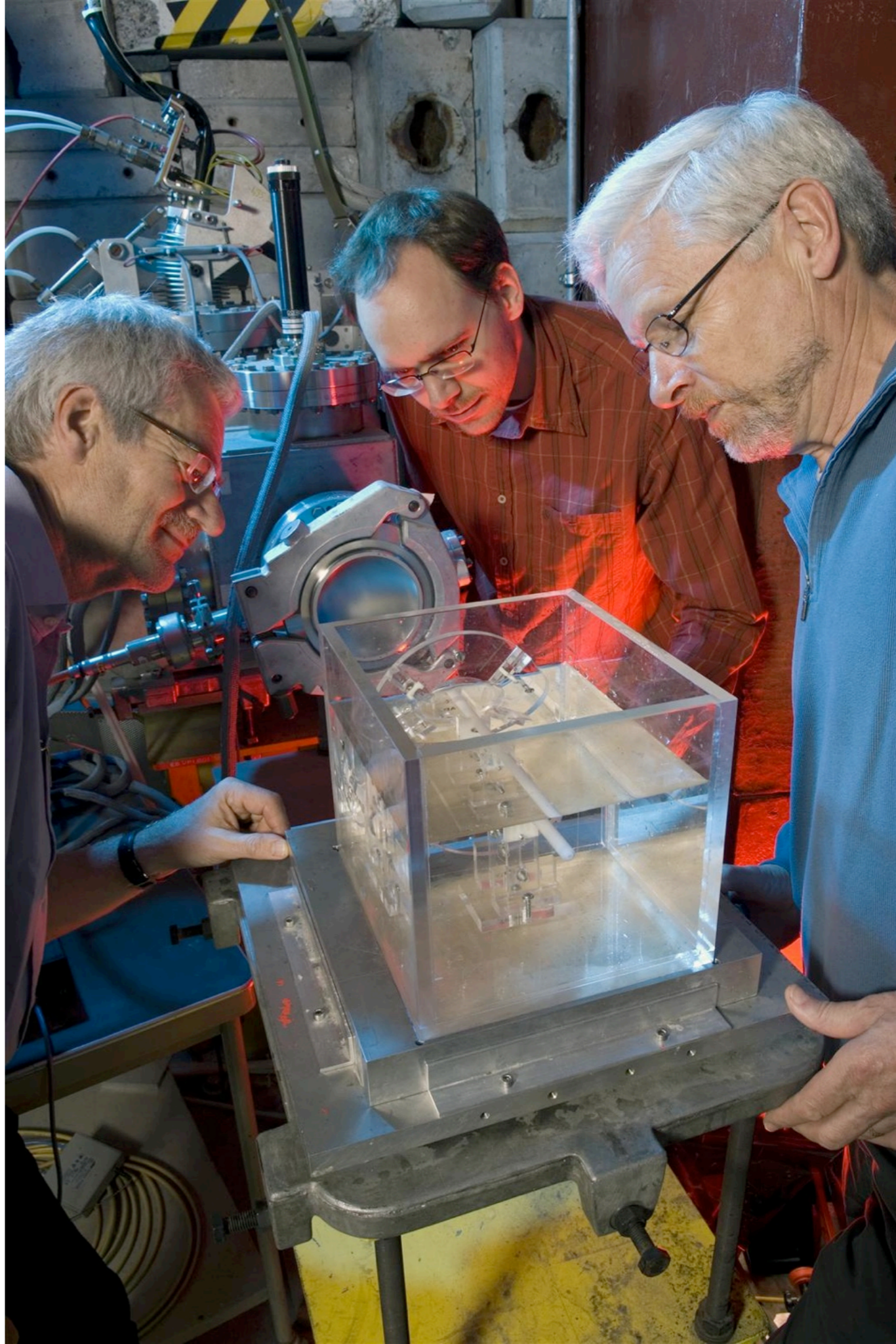
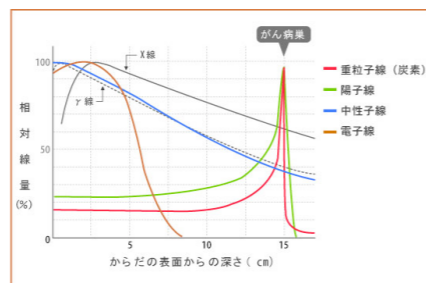
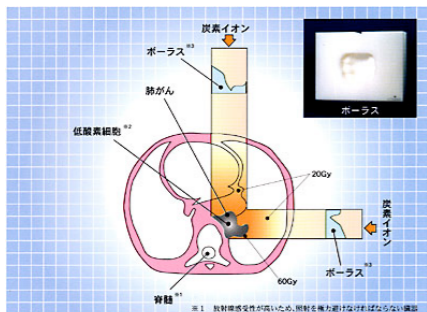
陽子に比べ効果4倍。

(Bragg peak 位置における吸収線量の比較)

生物学的効果比 (RBE) も高い。

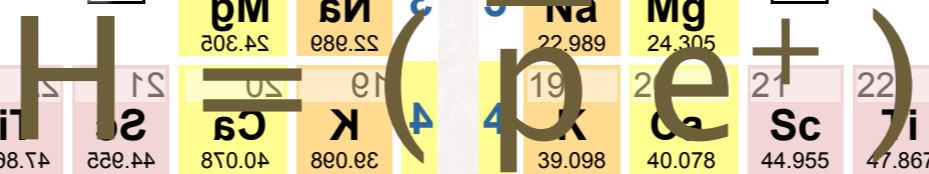
(反陽子消滅で生成する粒子が高LET (線エネルギー付与))

重イオンに比べると？ 経済性は？



反水素原子 Antihydrogen 周期表

反水素原子



Atomic Number = -1

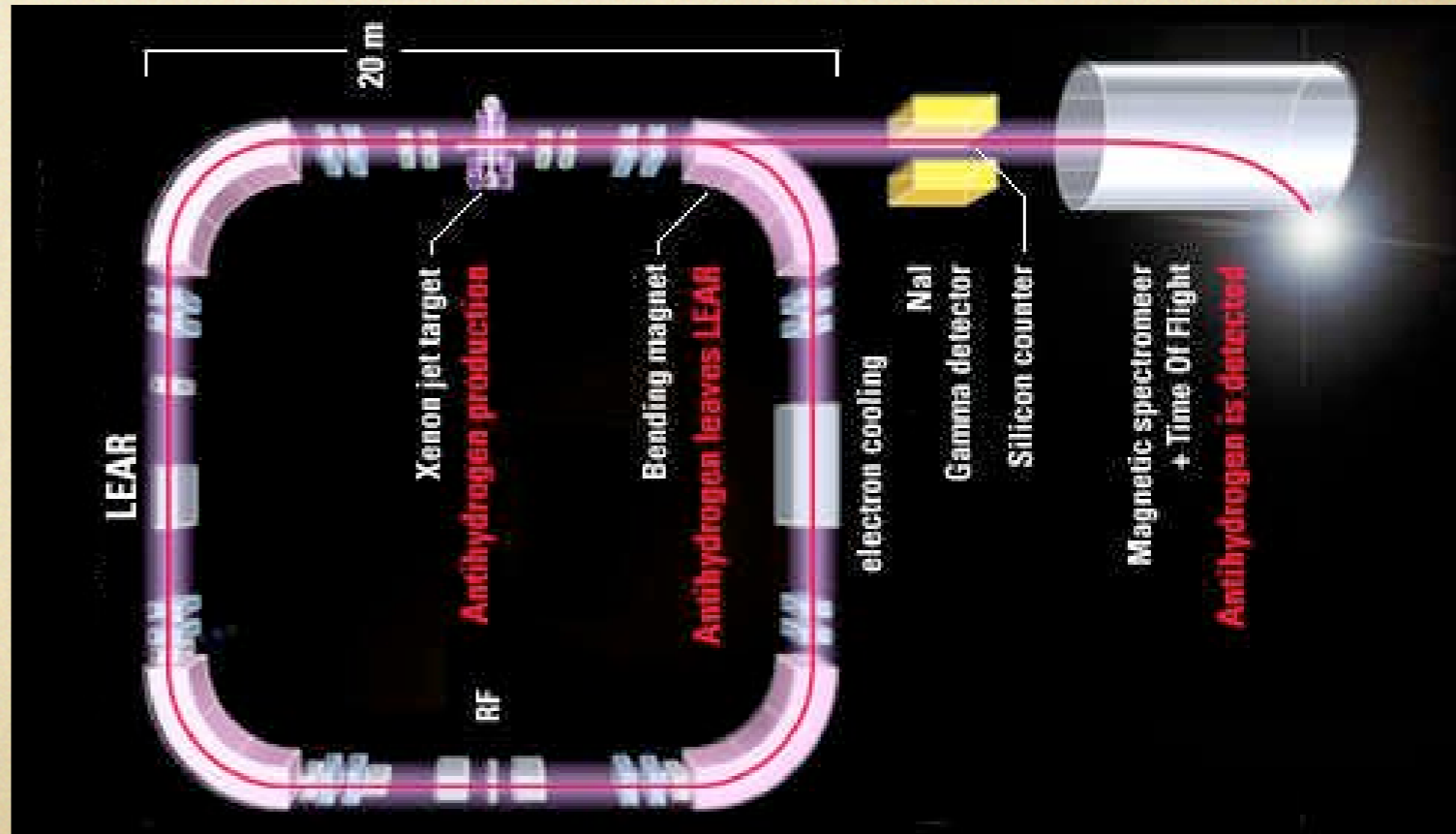
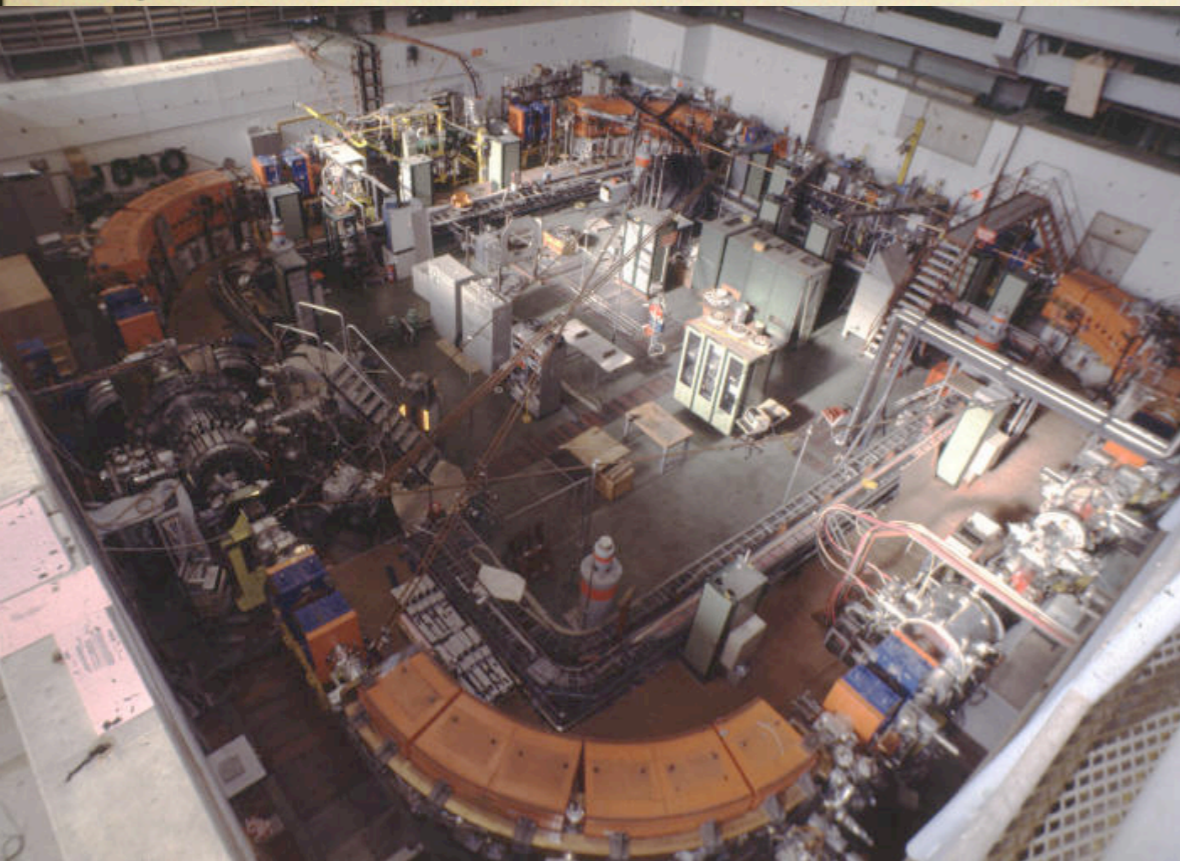
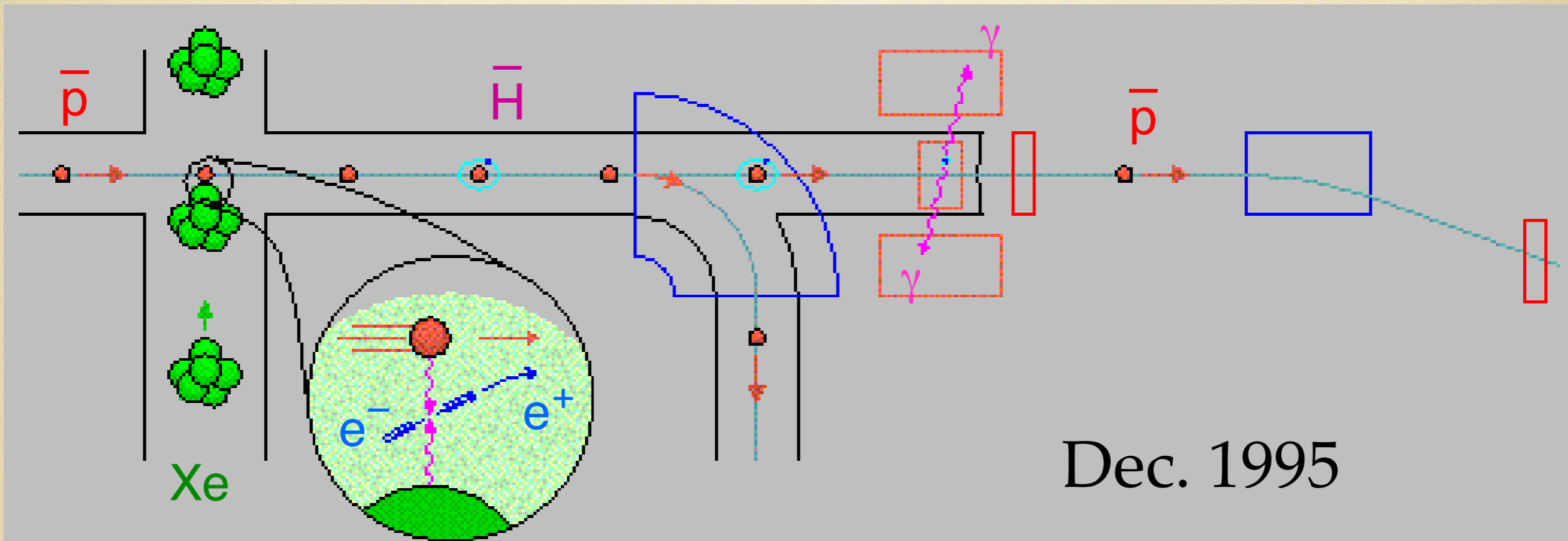
原子番号 -1

The simplest antimatter

For elements with no stable isotopes, the mass number of the parent isotope is shown in parentheses.

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
138.90	140.11	140.90	144.24	(145)	150.36	151.96	157.25	158.92	162.50
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf
(227)	232.03	231.03	238.02	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)

Antihydrogen Production in Flight (PS210 experiment at LEAR)





PRESS RELEASE

Laboratoire Européen pour la Physique des Particules
European Laboratory for Particle Physics
Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik
Laboratorio europeo per la fisica delle particelle

FIRST ATOMS OF ANTIMATTER PRODUCED AT CERN

In September 1995, Prof. Walter Oelert and an international team of scientists from the Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt, Germany, succeeded for the first time in producing antiprotons, the antimatter counterpart of protons.

Mitteldeutsche Zeitung 6/01/96

Herstellung von Antimaterie

Die Enterprise bleibt Fiktion

Physiker dämpft Euphorie nach bahnbrechender Entdeckung

Von unserem Redakteur
LOTHAR VAHAR-MATIAR

Jülich/Halle/MZ. Wenn's eng wird, Klingonen-Flotten aus allen Rohren lasern oder galaktische Staubsauger die Enterprise im Gamma-Quadranten verschwinden lassen, wird Captain Kirk immer beliebter. Seit zwei Monate

unumstritten. Dennoch kann Walter Oelert über die Enterprise-Geschichten nur müde lächeln: "Science Fiction ist etwas für Träumer. Und die Fans werden auch nach meiner Entdeckung weiter träumen müssen." Träumen von einer praktischen Nutzung der Antimaterie.

„Der Weltraum, unendliche Welten...“ Weit entfernt vom Raumschiff à la Enterprise mit „Materie-Antir



10 января 1996 года
Потусторонний мир, возможно, реален —
на такую мысль наводит сенсационное открытие европейских ученых

ТРОВ. «Известия»
Франс Пресс, ученые крупнейшей в Европе лаборатории физики твердых частиц, утверждают: это открытие впервые удалось осуществить. Опыт, который проливает свет на создание в атомной промышленности

SCIENCE

TO VIMA
14/01/96
ΚΥΡΙΑΚΗ 14 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 1996
ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΙΣ
"Window to the antiworld"
Παράθυρο στον αντισκόκο
Τι σημαίνει η δημιουργία αντισκόκου στο Ευρωπαϊκό Ε-

den lassen wollen. Picard wortkarg. „Warp 9,6“ prebt er dann durch die Zähne und die

Tests dauern... Im Herbst...



反物質」を合成

世界で初 反水素原子

Επιβεβαιώνεται και το τρίτο μυστήριο για τα Στοιχεία Σπάνια

Επιβεβαιώνεται και το τρίτο μυστήριο για τα Στοιχεία Σπάνια. Η ύλη και η αντιύλη είναι πανομοιότυπες, αλλά υπάρχουν διαφορές. Η ύλη αποτελείται από σωματίδια που έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο, ενώ η αντιύλη από σωματίδια που έχουν αρνητικό φορτίο. Η ύλη και η αντιύλη, όταν έρθουν σε επαφή, αλληλοεξουδετερώνονται και παράγουν ενέργεια. Η ύλη και η αντιύλη, όταν είναι χωριστές, συμπεριφέρονται όπως η ύλη.



Αντίστοιχο είναι να είναι... - Εν γένει με την ε...

Phy Arb
Jun ins
tima
mal
verlat
Licht
Daß
Materi
Mengen
den, d
Raumsc

LE MATIN

Aux portes de l'antimatière

16 janvier 1976

Après des mois de travail, une équipe européenne a réussi un pari fou: faire exister réellement un concept jusqu'ici théorique! Première mondiale au CERN.

Les douze «briques» de la matière

Ευρωπαϊκή ομάδα ερευνών στο CERN, η οποία αποτελείται από 15 εθνότητες, ανακοίνωσε ότι κατάφερε να δημιουργήσει το πρώτο αντι-ατομικό υδρογόνο (αντι-υδρογόνο) στο CERN.

欧州の「反世界」研究

「反世界」研究の成果は、反物質からなる「反世界」の存在を示唆している。

nature

CERN greets detection of first anti-atom

An announcement last week by the European Laboratory for Particle Physics (CERN) that it has created antimatter for the first time is the first stage for a major physical requirement.

EN LOS UMBRALES DEL ANTIMUNDO

反物質原子誕生

秒四之分億一留存只質物反 失消到來出造製中驗實在 組小の

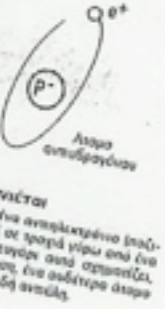
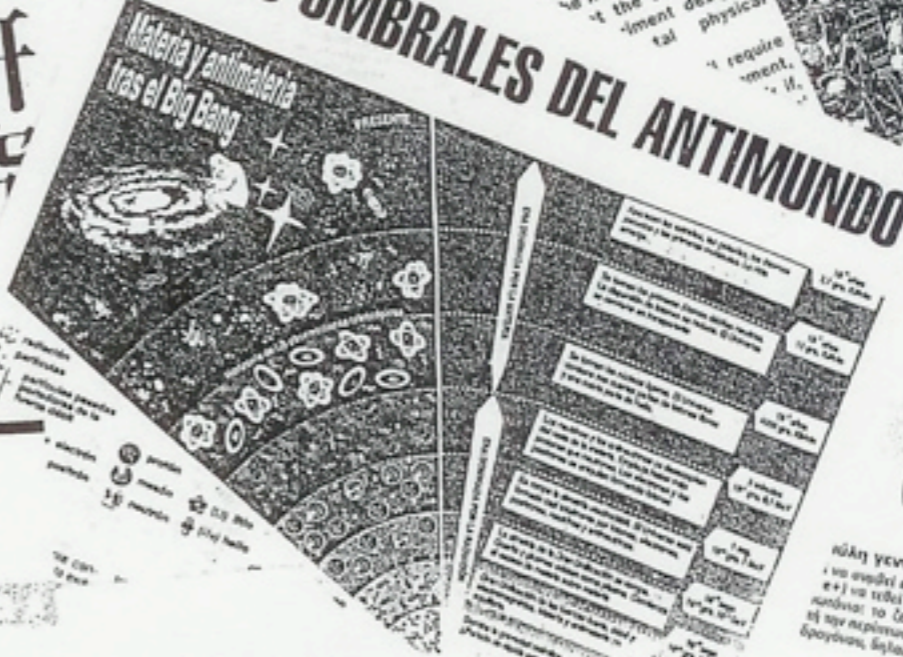
反物質の存在は、理論的に予測されていたが、実際に作り出すのは非常に困難であった。CERNの研究チームは、粒子加速器を用いて、反物質原子の生成に成功した。これは、物理学の歴史において重要な突破である。

TIME

Does Antimatter Matter?

Physicists created the first atoms of antimatter ever

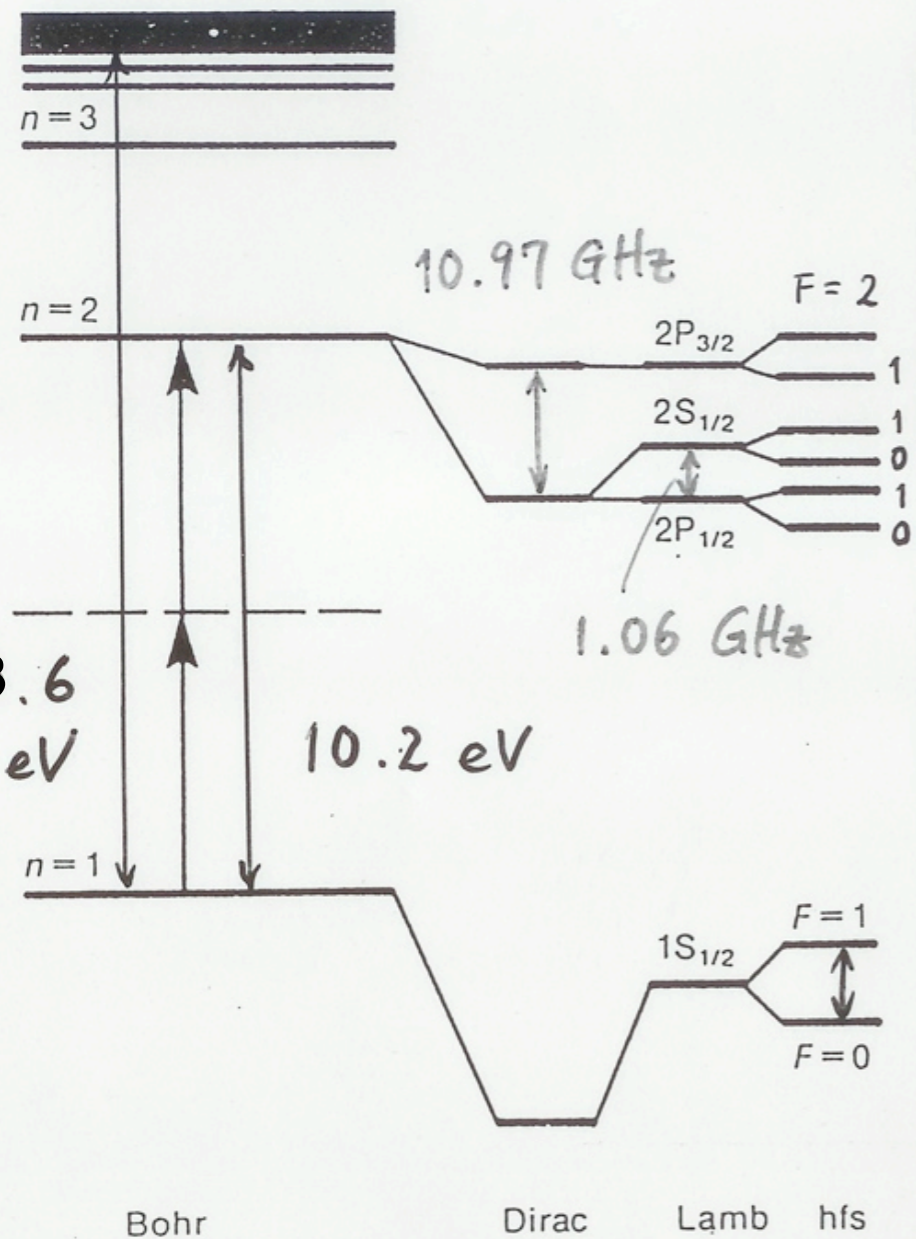
... humans or seen in



Αντίστοιχο είναι να είναι... Η ύλη και η αντιύλη, όταν έρθουν σε επαφή, αλληλοεξουδετερώνονται και παράγουν ενέργεια.

水素原子
 原子素水氢

HYDROGEN



$\updownarrow 24 \text{ MHz}$
 $\updownarrow 178 \text{ MHz}$
 $\updownarrow 59 \text{ MHz}$

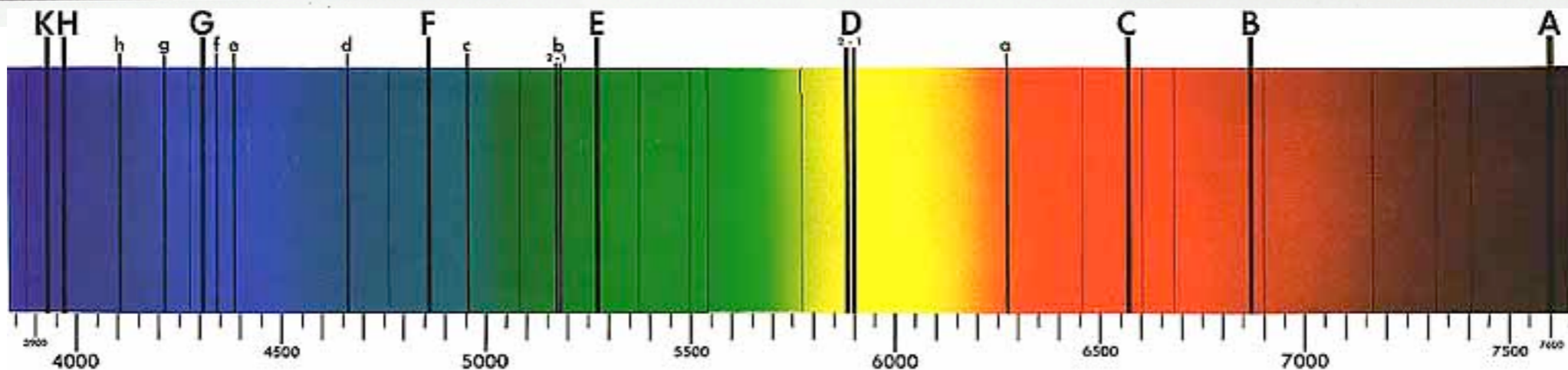
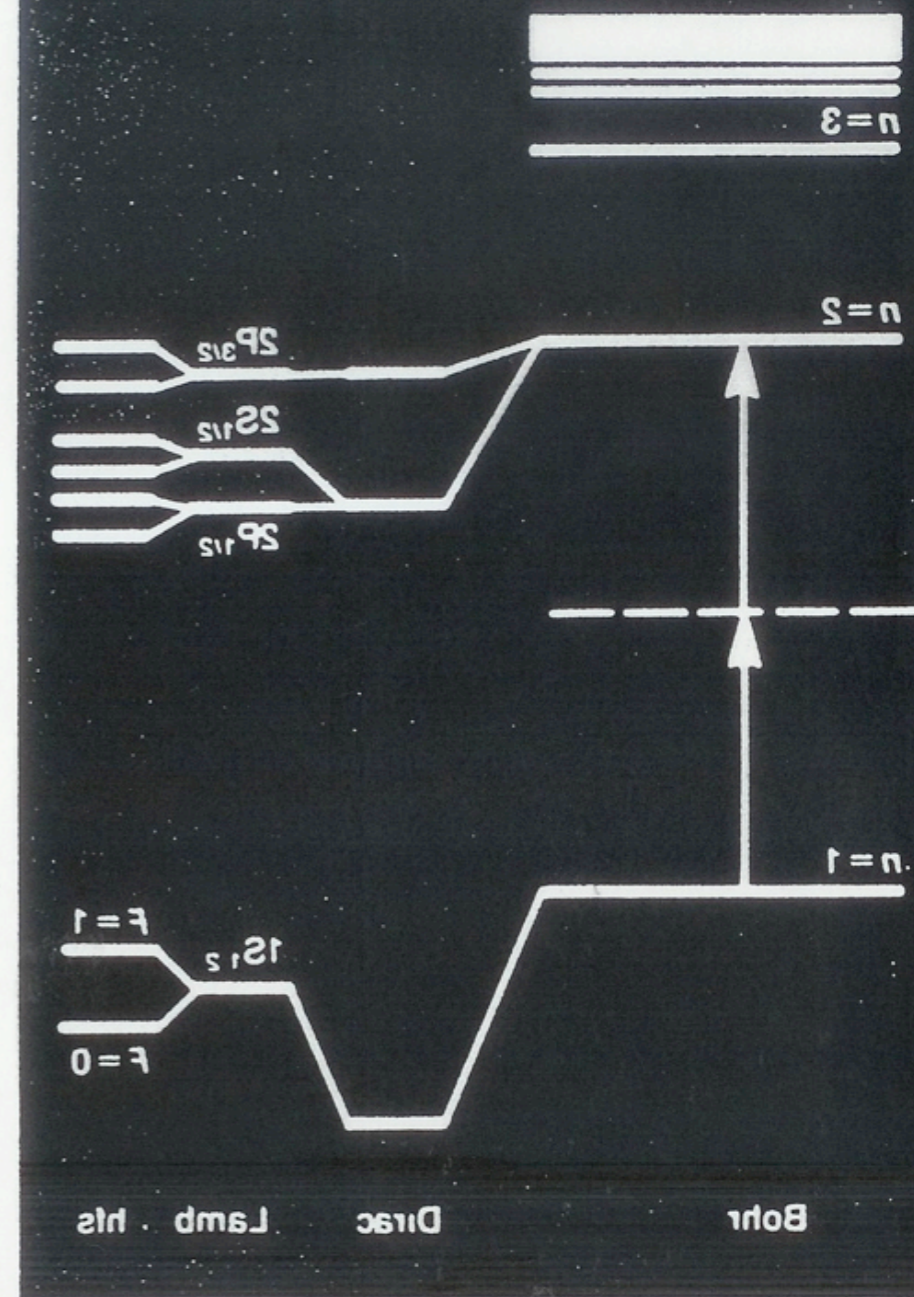
$\frac{97492}{\text{cm}^{-1}}$
 $\frac{82259.279}{\text{cm}^{-1}}$
 $\frac{82258.949}{\text{cm}^{-1}}$
 $\frac{82258.913}{\text{cm}^{-1}}$

Spectroscopy
 分光

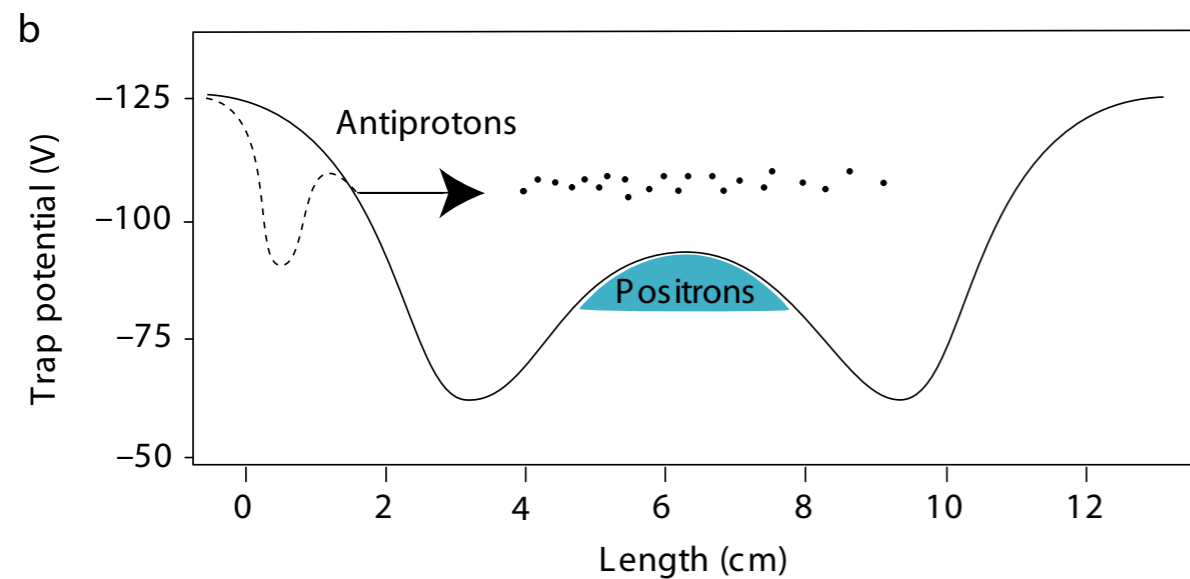
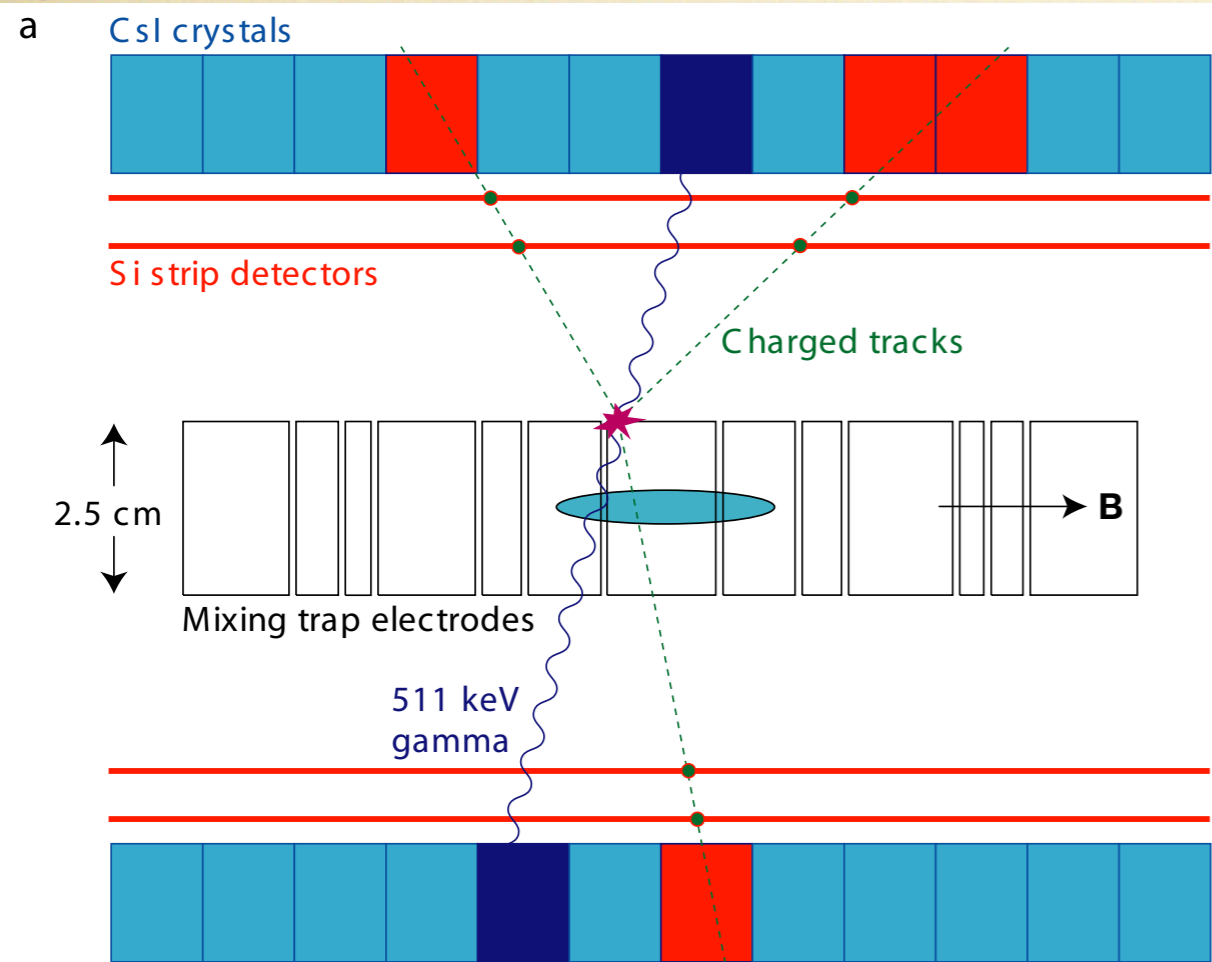
1.42 GHz $\frac{0.000}{\text{cm}^{-1}}$

spectrum / -a

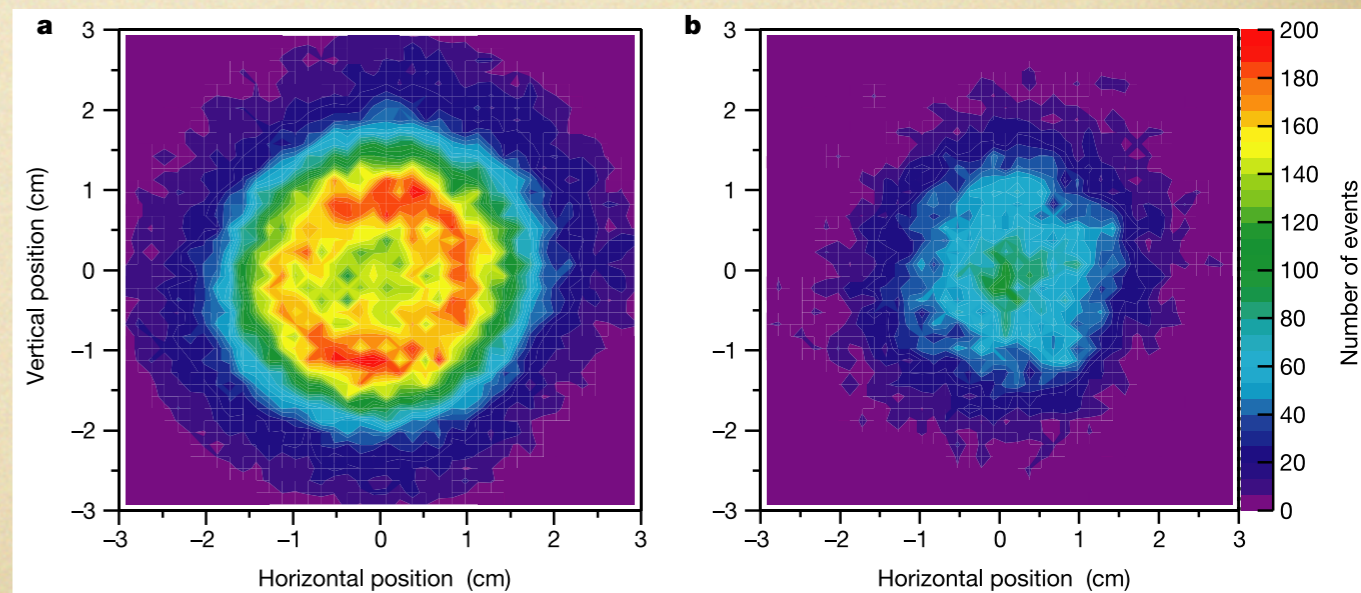
АНТИДРОГЕН

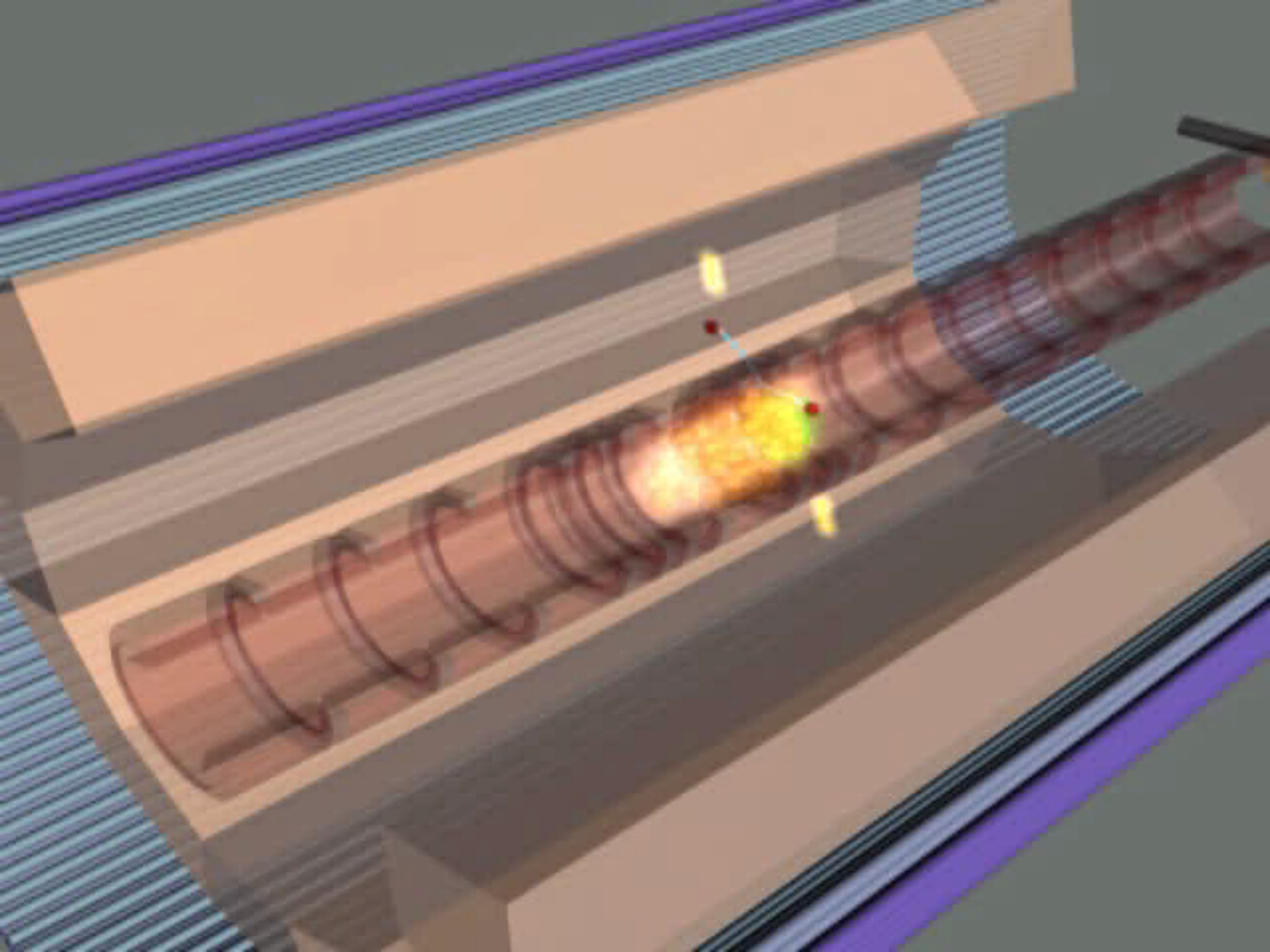


冷たい反水素原子の生成 (2002, ATHENA collab.)



- CPT 対称性テスト
- 1S-2S 分光
- GS-HFS
- 重力実験 (WEP)





Production of Cold Antihydrogen

ATRAP

PHYSICAL REVIEW LETTERS

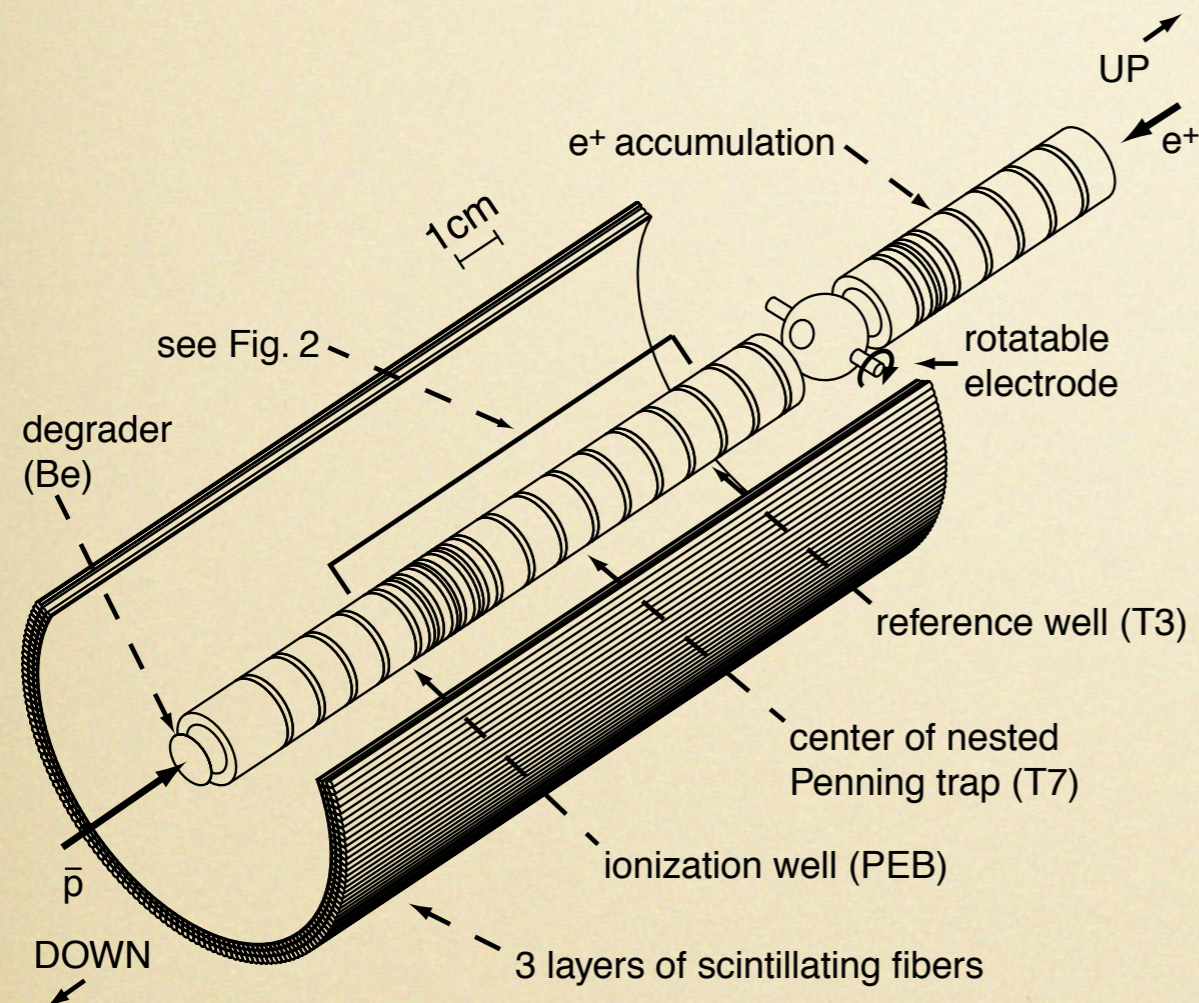


FIG. 1. Overview of the trap and detectors. Antiprotons are loaded from below (left), into the trap electrodes below the rotatable electrode. Positrons are simultaneously loaded from above (right) into the electrodes above the rotatable electrode. \bar{H} formation is observed within the lower region detailed in the next figure.

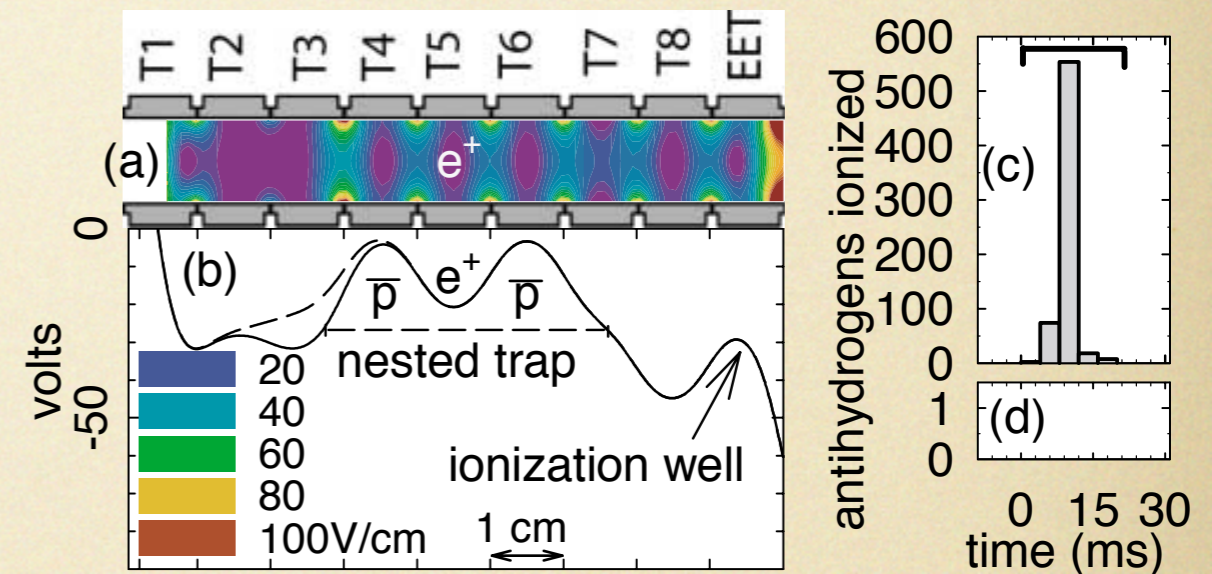


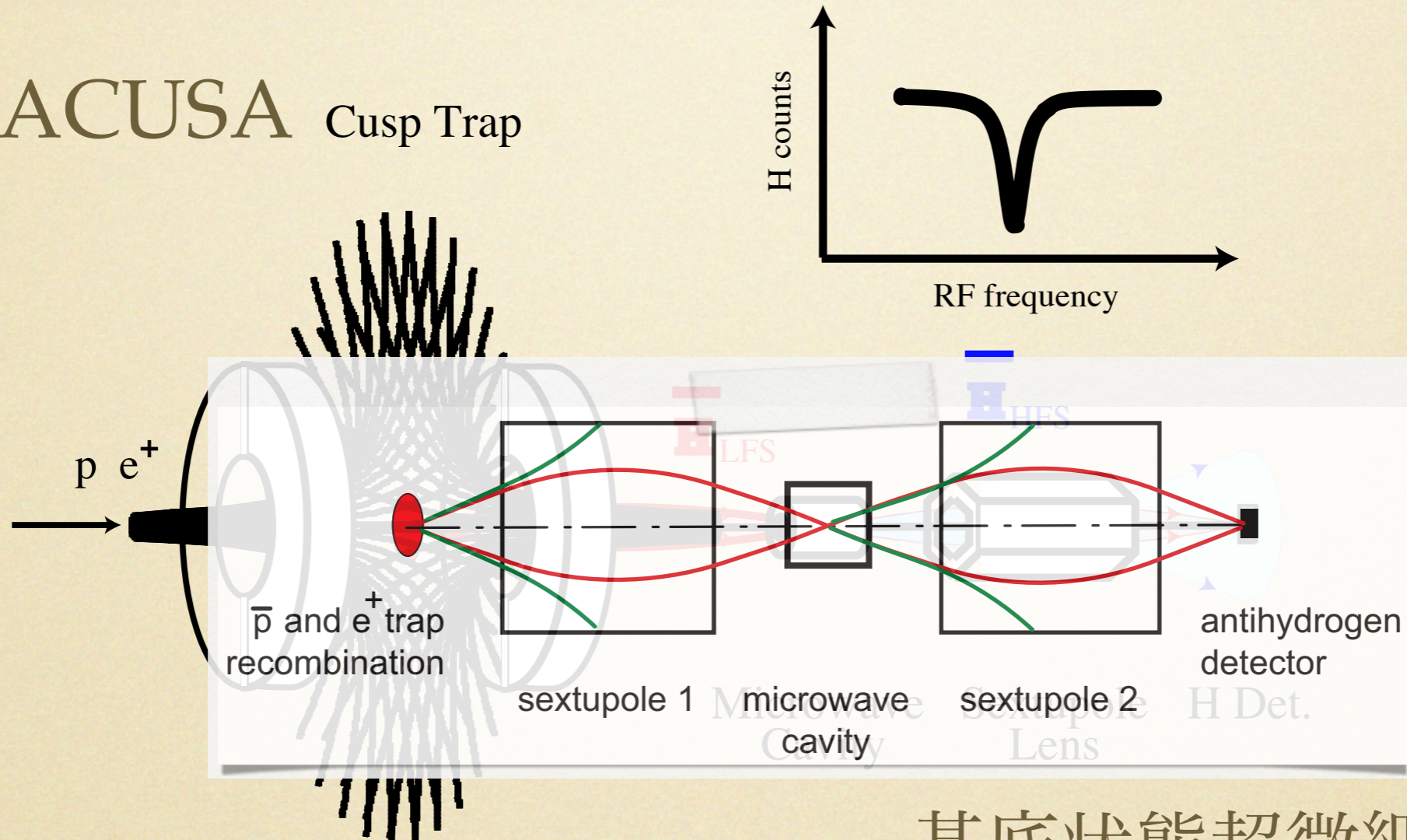
FIG. 2 (color). (a) Electrodes for the nested Penning trap. Inside is a representation of the magnitude of the electric field that strips \bar{H} atoms. (b) Potential on axis for positron cooling of antiprotons (solid line) during which \bar{H} formation takes place, with the (dashed line) modification used to launch \bar{H} into the well. (c) Antiprotons from \bar{H} ionization are released from the ionization well during a 20 ms time window. (d) No \bar{H} are counted when no \bar{H} are in the nested Penning trap.



ASACUSA MUSASHI group

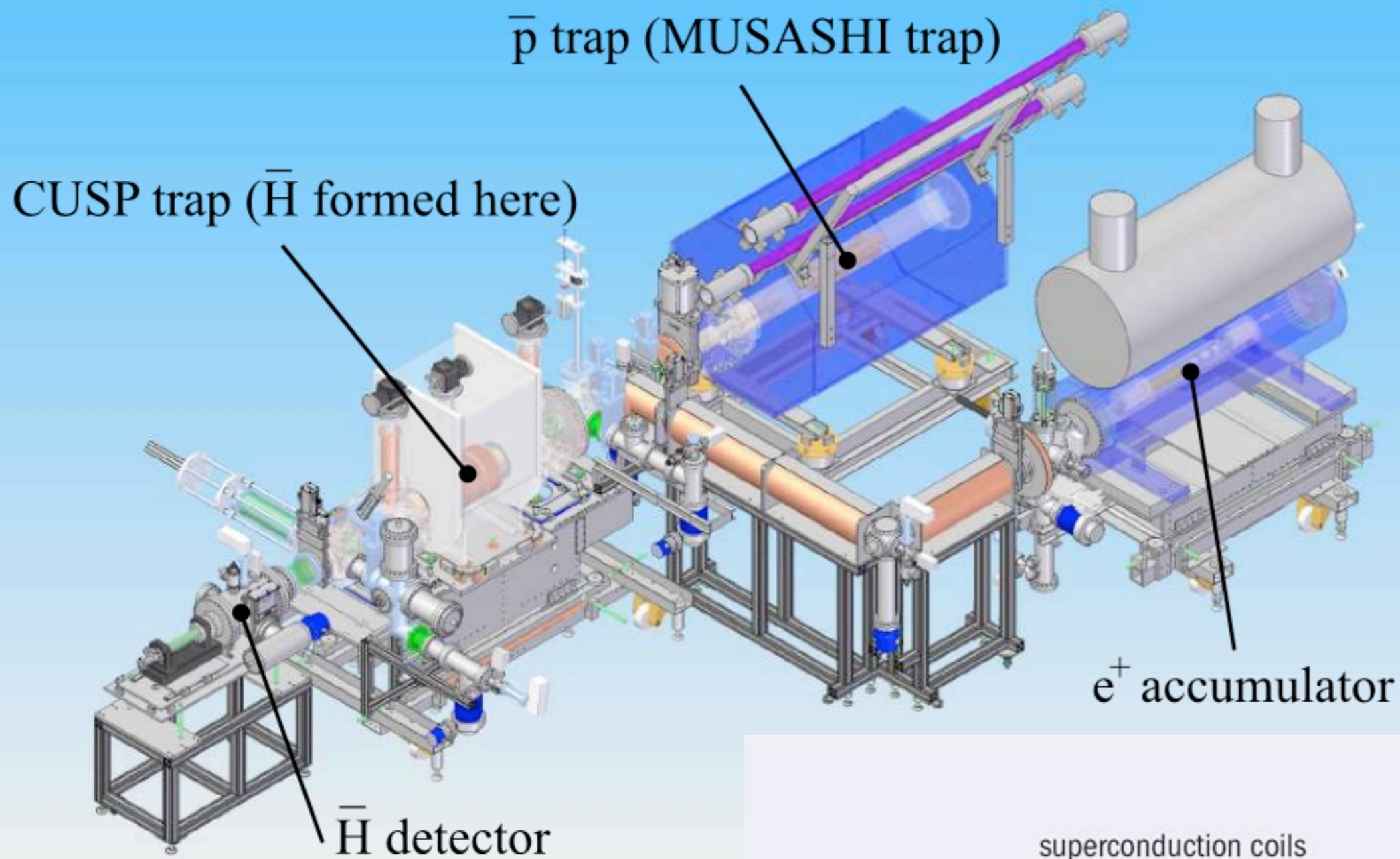
Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons

ASACUSA Cusp Trap



カスプトラップによる
反水素原子生成

基底状態超微細構造
(反陽子の磁気モーメント)

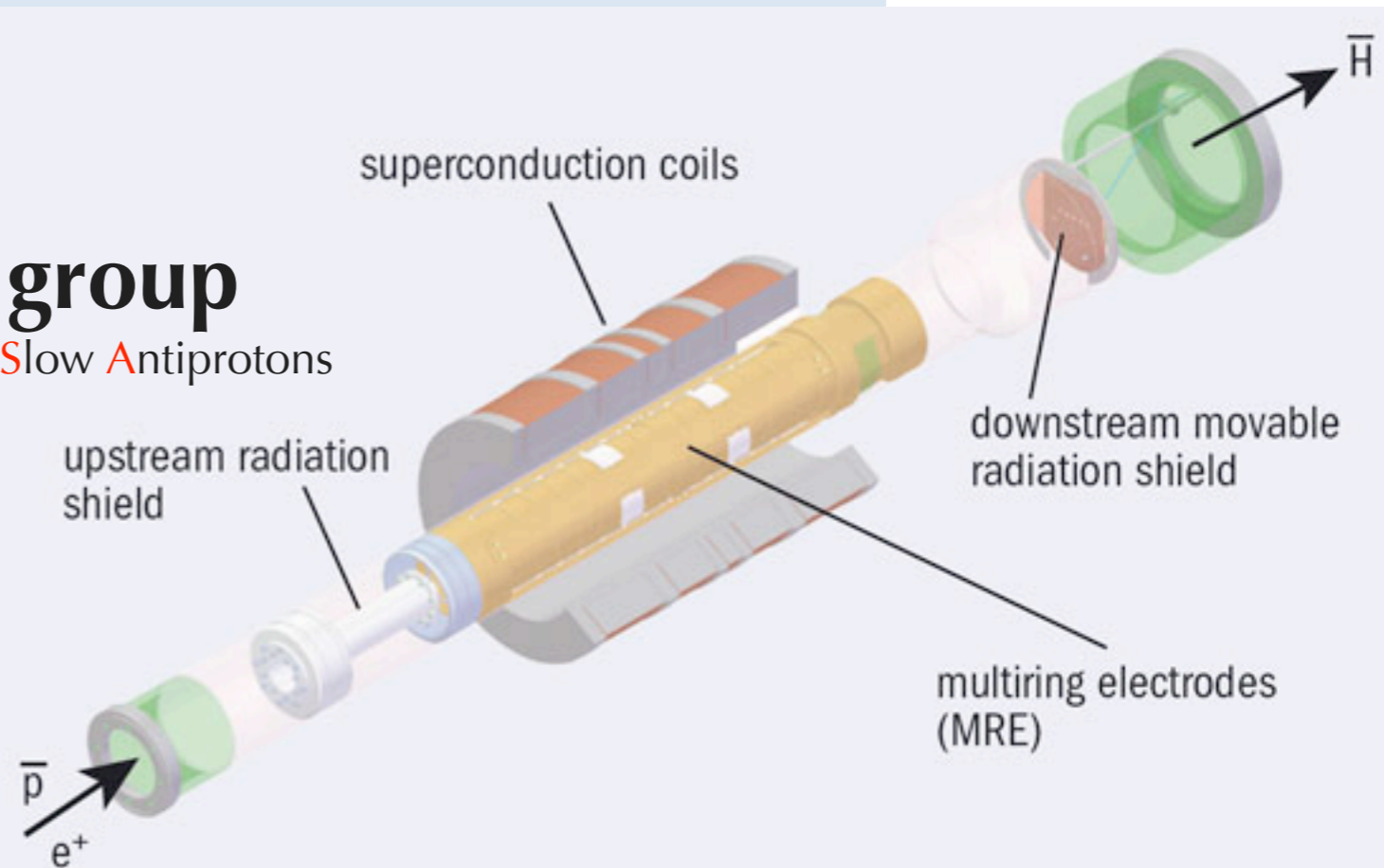


ASACUSA MUSASHI group

Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons

<http://cern.ch/asacusa>

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/asacusa/wiki/>

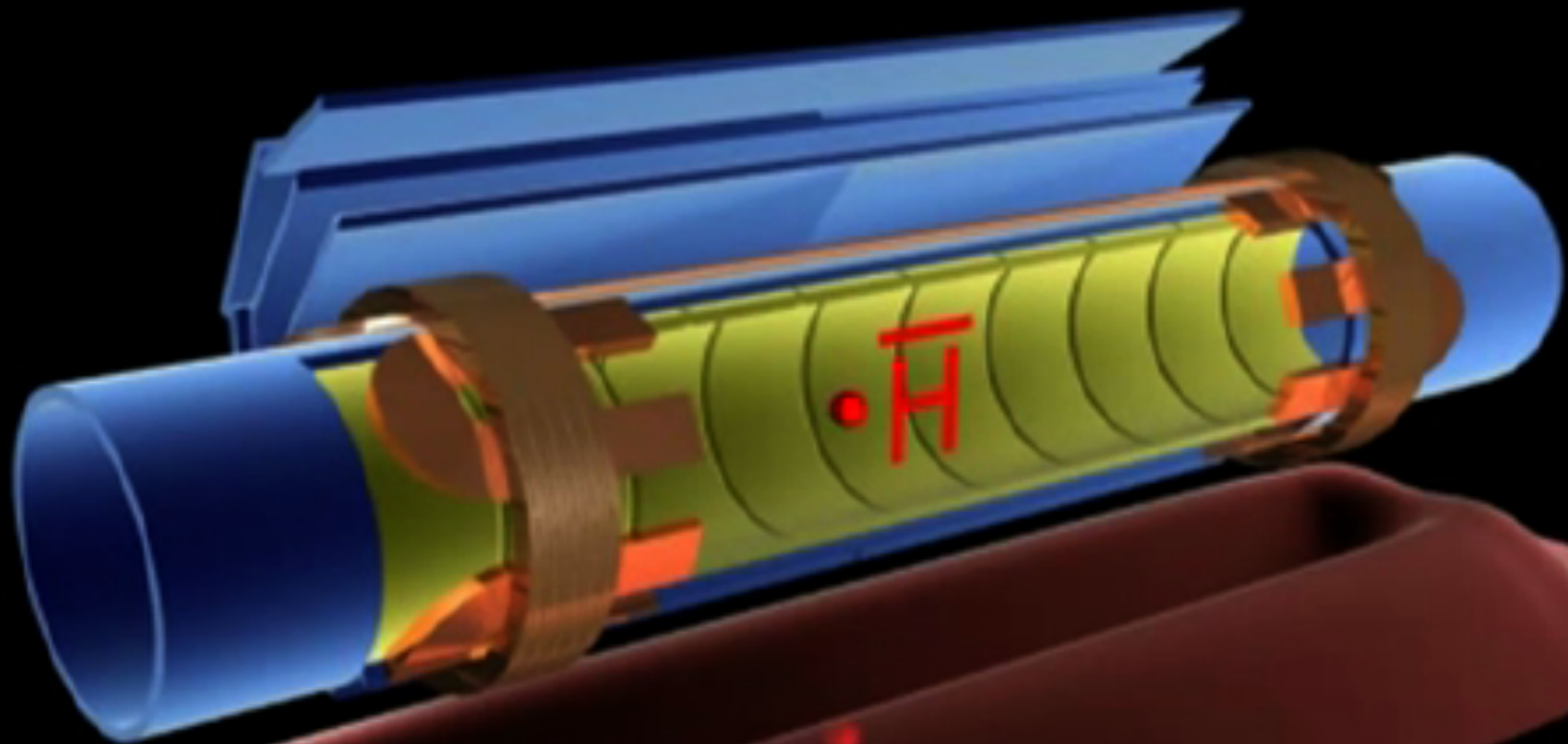


2010

カusp磁場中での反水素合成

反水素原子の磁場トラップ (ALPHA collaboration, CERN, 2010–2011)

GRALLATOR 



magnetic field

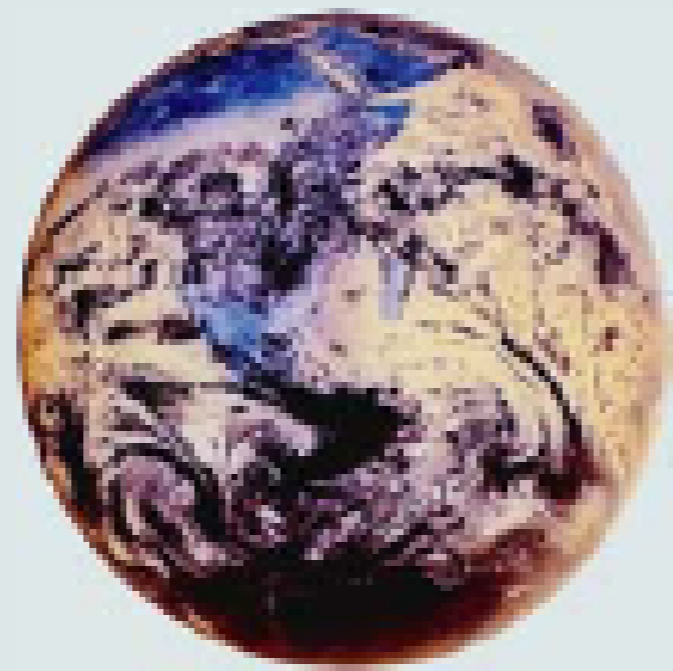
CPT-Symmetric Situation

Apple



Earth

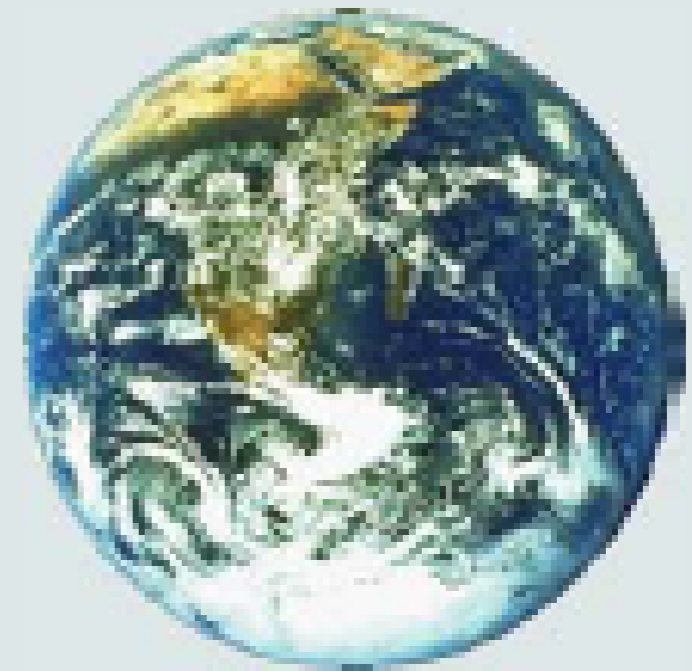
Anti-Apple



Anti-Earth

Not

Anti-Apple

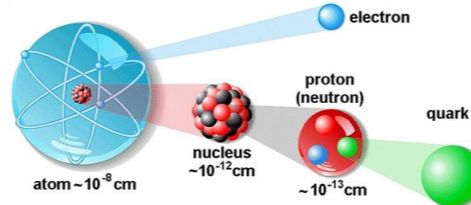


Earth



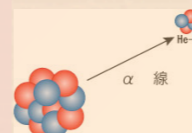
Jura mountains viewed from restaurant 2 at CERN

討論会の案内



第7回*討論会 (6/28)

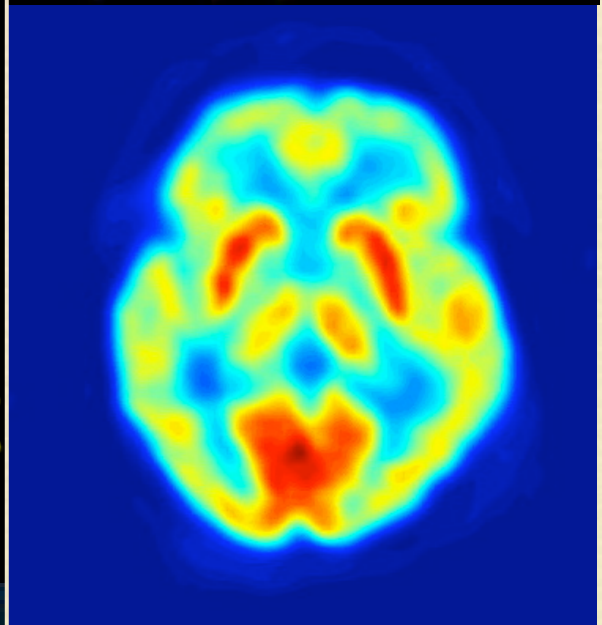
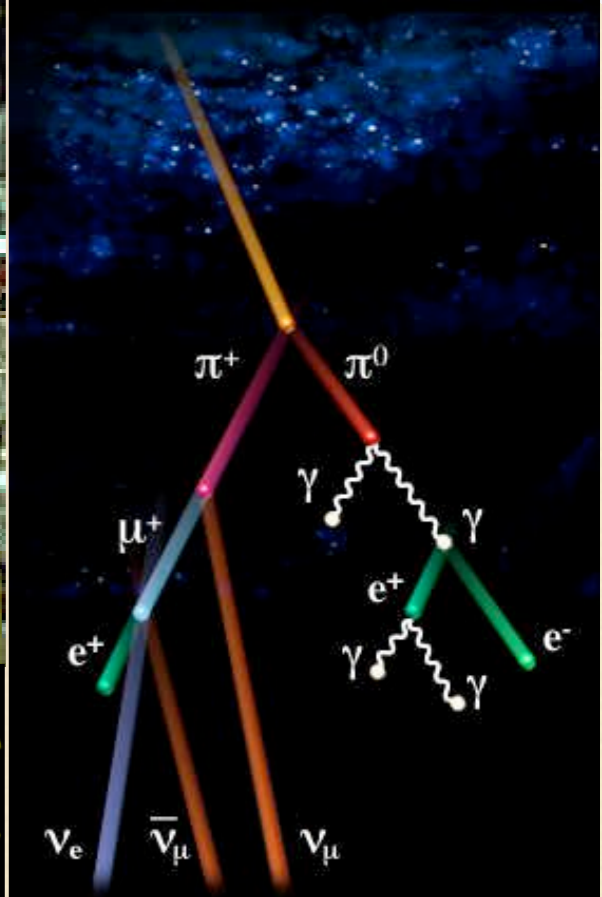
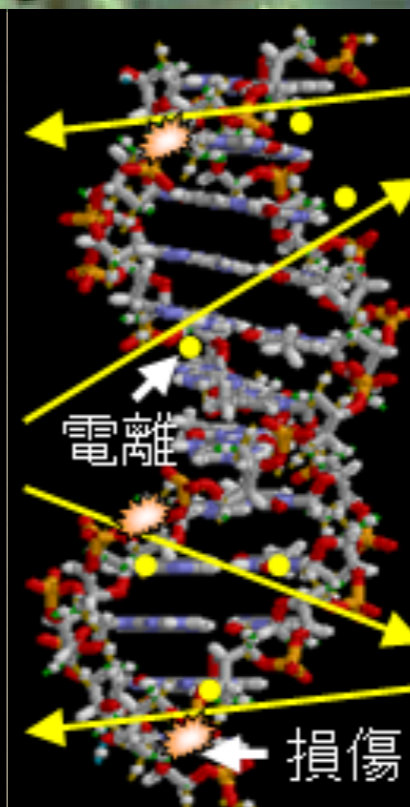
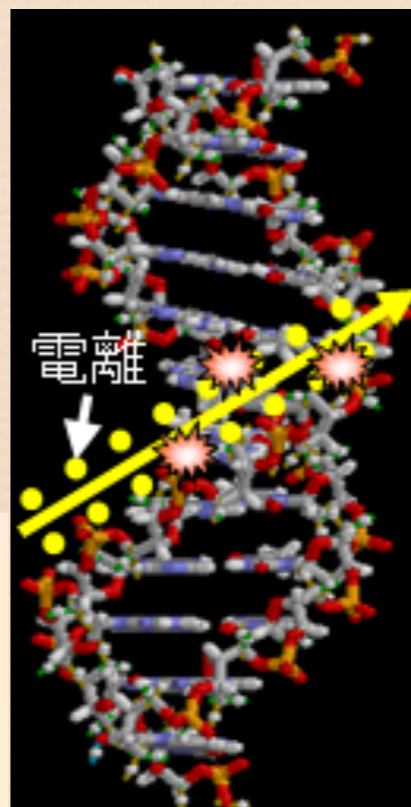
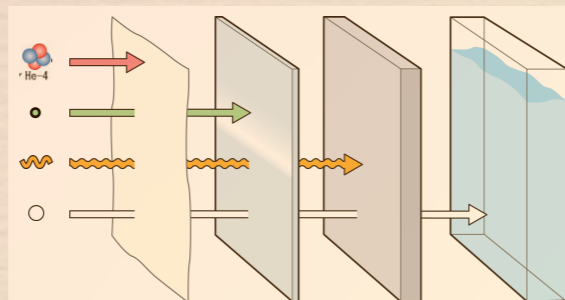
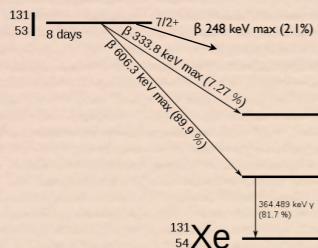
@ 1号館2階150教室



discussion

本日配布文書あり

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiodoc.html>



核分裂のチェーン

水分子で減速された中性子をウラン235が吸収する

核分裂反応がおき、大量のエネルギーを放出する

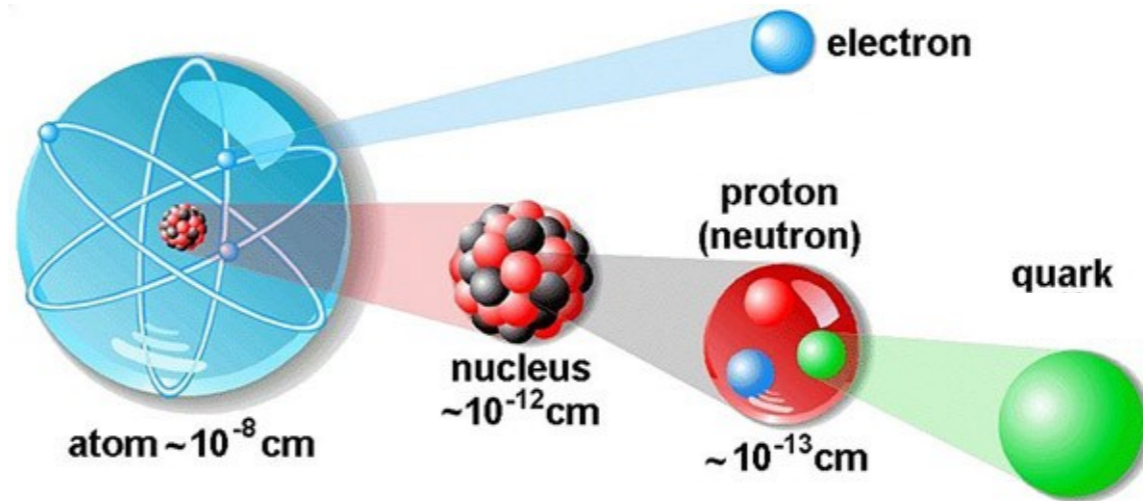
飛び出した中性子が連鎖的に反応を起こす



自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用
(6/7) 放射線診断・治療《放射線医療》
- 第6回：放射線の測定《放射線計測学》
(6/14) 高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》

自主講義 放射線学



放射線を学ぶ

原子力発電所の事故が連日トップニュースで報じられ、世界中が放射能汚染に対しヒステリックなまでに反応している現在、我々には放射線に対する正しい科学的リテラシーが求められています。

一方で、放射線に関する学問は多分野にわたり、大学などで系統立って教えられる機会は非常に限られています。放射線に対する知識不足が、必要以上の不安と混乱を引き起こしている現状があります。

そこで今回、教養学部物理部会に所属して粒子線物理学を専門とする鳥居助教が講師となって、自主講義を企画することにしました。急遽の講義開催決定により正規の授業として組み込むことができなかったため、受講しても単位は出ませんが、意欲ある皆さんの参加を期待します。

講義内容

放射線とは？

放射線と放射能の単位(シーベルト、ベクレルなど)

放射線と物質との相互作用《放射線物理学》

放射線の測定《放射線計測学》

放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》

原子核の壊変《原子核物理学》と核分裂反応《原子力工学》

放射線の利用(放射線診断・治療、分析、年代測定)

高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》

講師 鳥居 寛之 教養学部物理部会 助教

講義日程

第1回 5/10(火)

第2回 5/17(火)

第3回 5/24(火)

第4回 5/31(火)

第5回 6/7(火)

第6回 6/14(火)

場所・時間

11号館1101教室

火曜5限16:20~17:50

対象

主に1, 2年の理系が対象ですが、意欲のある文科生や3年生以降も歓迎します。

ゼミ長に感謝

★自主講義の提案

★広報活動

理科1類2年：永川君

冬学期講義のご案内

総合科目（予定）

？曜日の5限

渡邊 雄一郎先生（生物部会：環境応答学）

小豆川 勝見先生（化学部会：環境放射化学）

鳥居 寛之（物理部会：粒子線物理学）

ゲスト講師

予定：農学部 植物・土壌学、工学部 原子力工学

調整中：放射線医学、放射線計測学

講義スライド、講義予定

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

連絡先

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp

担当教員:鳥居 寛之

授業アンケート

平成 23 年度 (2011 年) 夏学期

自主講義「放射線学」アンケート

この講義に参加しようと思ったきっかけ、特に**講義を受講しての感想**、**良かった点**、**興味を引かれた内容や分野**、**悪かった点**、**講義で触れてほしかった内容や分野**、**冬学期の講義に期待する点**など自由にお書き下さい。
講義内容に加味したいと思います。

学年	
所属	科 類 学部 学科 専攻 研究室
氏名 連絡先	(任意記入)

講義連絡先：<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp 担当教員：鳥居 寛之

講義スライド、講義予定

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

連絡先

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp

Fine

完

Fine. Per oggi è tutto.

Finis pour aujourd'hui

That's all for today.

Всё за сегодня.

오늘은 여기까지 하겠습니다.

Ci vediamo la prossima volta.

On se voit la prochaine fois.

See you next time.

Увидимся в следующий раз.

또 만납시다.

