

実物から学ぶ物理学

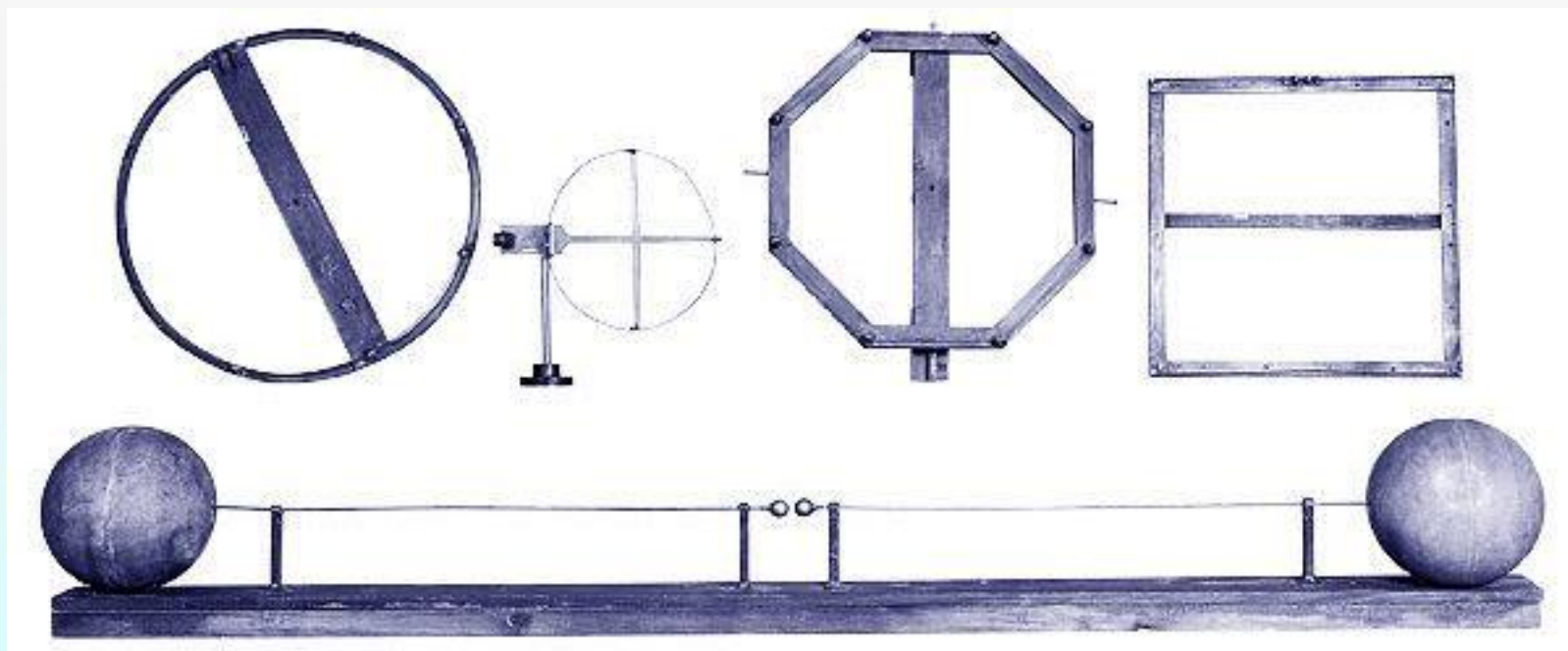
物理的背景の説明

課題

1. ブルーツウース機器から放出される電磁波(有限要素法)
2. クルックス管から放出されるX線(放射線シミュレーション)
3. 温度差が作る霧箱(ガイガーカウンター作り)
4. スピンの反転が生む信号(ラジオ作り)

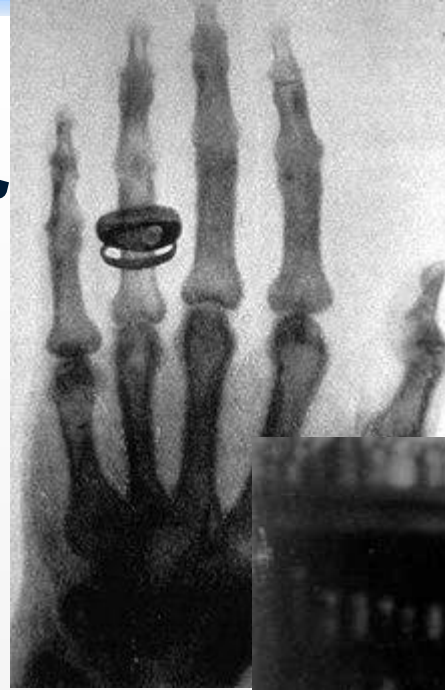
電磁波の発見

- ◆ ヘルツが1886年に実験をおこない1888年に発表、マックスウェルの予言を検証
- ◆ 送信装置は横幅3m、受信した火花はルーペで観察
- ◆ 実用化はイタリアのマルコーニ



レントゲンの発見

- ◇ 1895年にクルックス管からX線が出ていることを発見



- ◇ モーズリーの法則は1914年に発見された

- ◇ http://fnorio.com/0141Moseley_1914/Moseley_1913.html



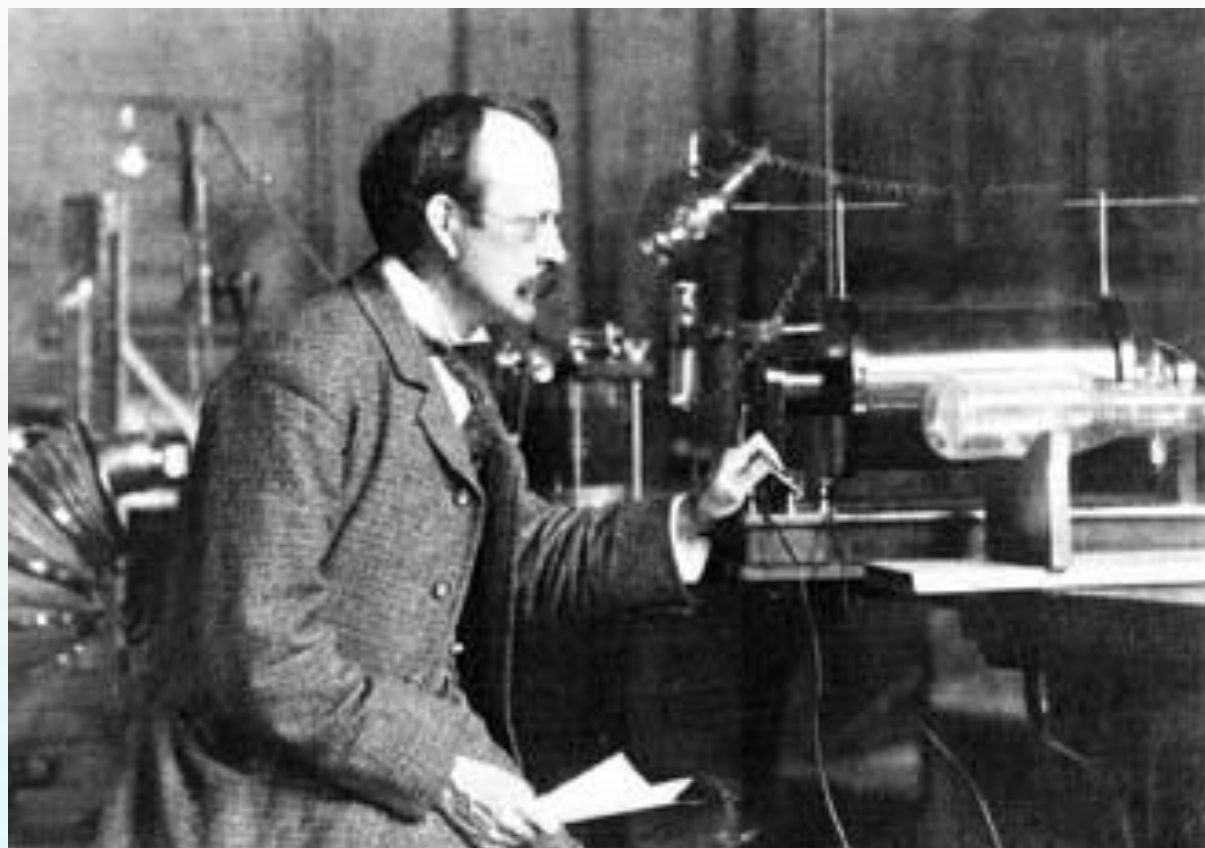
電子と原子核の発見

◆ 1897年にJ. J. トムソンが電子の電荷質量比を計測

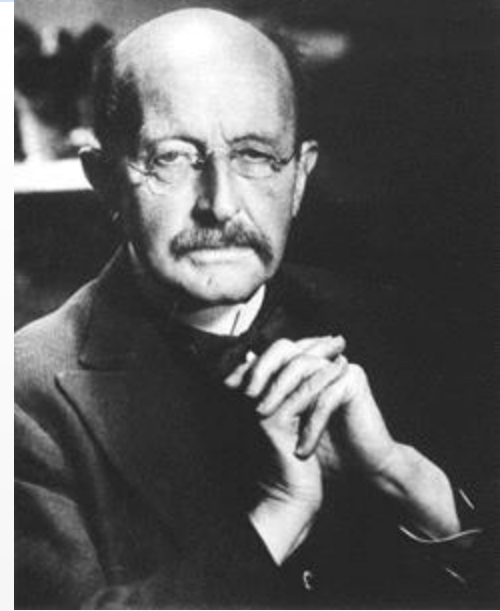
• 1896年にはベクレルがウラン化合物から放射能を発見

• 1899年には透過力で α 線、 β 線が区別ついで γ 線も識別された

• アルファ線やベータ線は霧箱で観察できる



原子の世界へ扉が開かれた



- ◆ 結晶を見たり、水素の電気分解などで原子を推測
- ◆ 1900年にプランクがボルツマン定数とプランク定数を計算、ステファン・ボルツマンの法則とウィーン変移則から

$$\frac{hc}{\lambda_{max}kT} = 4.965$$

放射強度 I はエネルギー密度（プランクの式）に $c/4$ をかけたもの（岩波、量子力学I）

$$I(\lambda, T)\Delta\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \Delta\lambda$$

この積分を実行する。

$$I(T) = \int \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda = \frac{2\pi h}{c^2} \int \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

ここで $x = \frac{h\nu}{kT}$ とし、 σ をシュテファン・ボルツマン定数とすると

$$I(T) = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

この積分は6かけるnの4乗分の1の級数和となるらしい、ほぼ6オイラーが2乗を最初に計算ベルヌーイ数というのを使うみたい

素電荷の計測

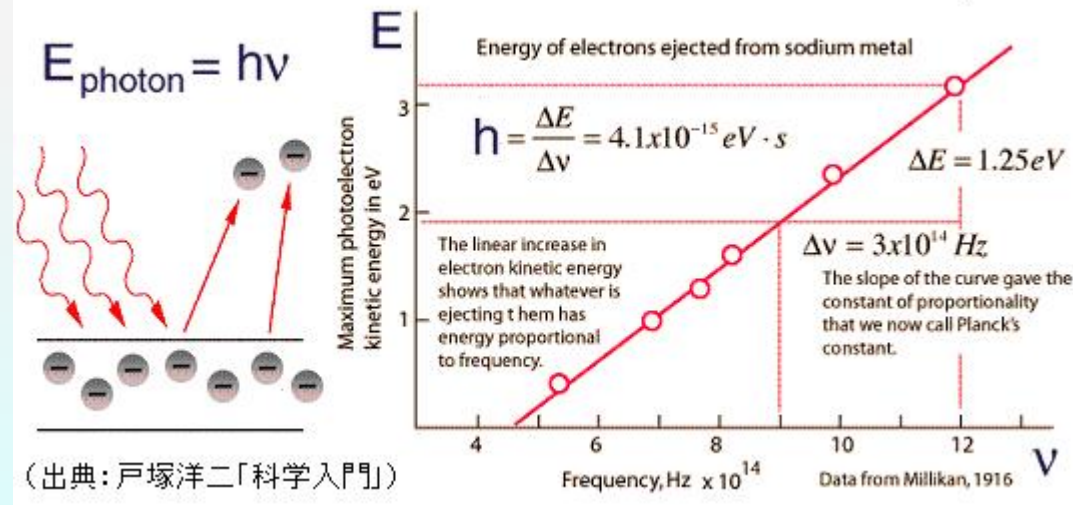
- ◆ 1909年に油滴の落下をミリカンらが計測
- ◆ 2017年度に卒論で研究室の大塚寛が再現実験
- ◆ プランク定数測定も今後は卒論テーマ？



ロバート・ミリカン



ミリカンの油滴実験装置 (出典: Wikipedia)

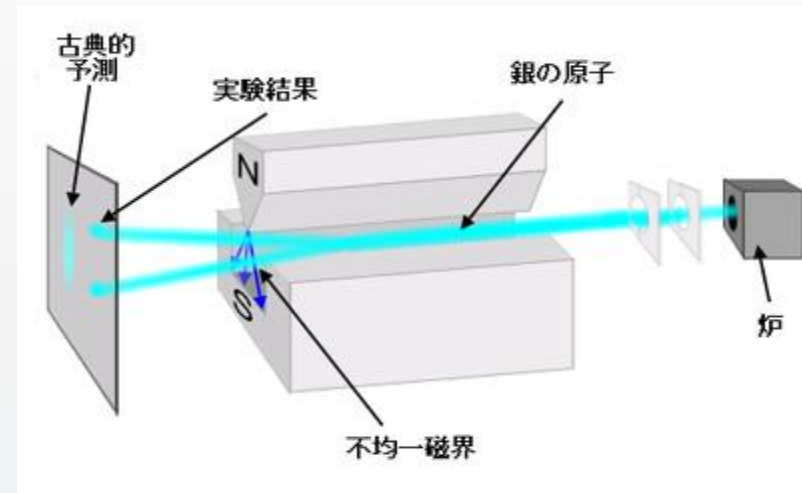


スピン現象の発見

- ◆ 1921年のシュテルン・ゲルラッハ実験
 - ◆ 電子がスピン1/2を持つ
- ◆ スピン統計性の仮説と検証
 - ◆ パウリ原理
 - ◆ 分光学とゼーマン効果
 - ◆ ナトリウムや水銀のスペクトル

鉄原子の電子1個（磁気能率 μ ）で1テスラ

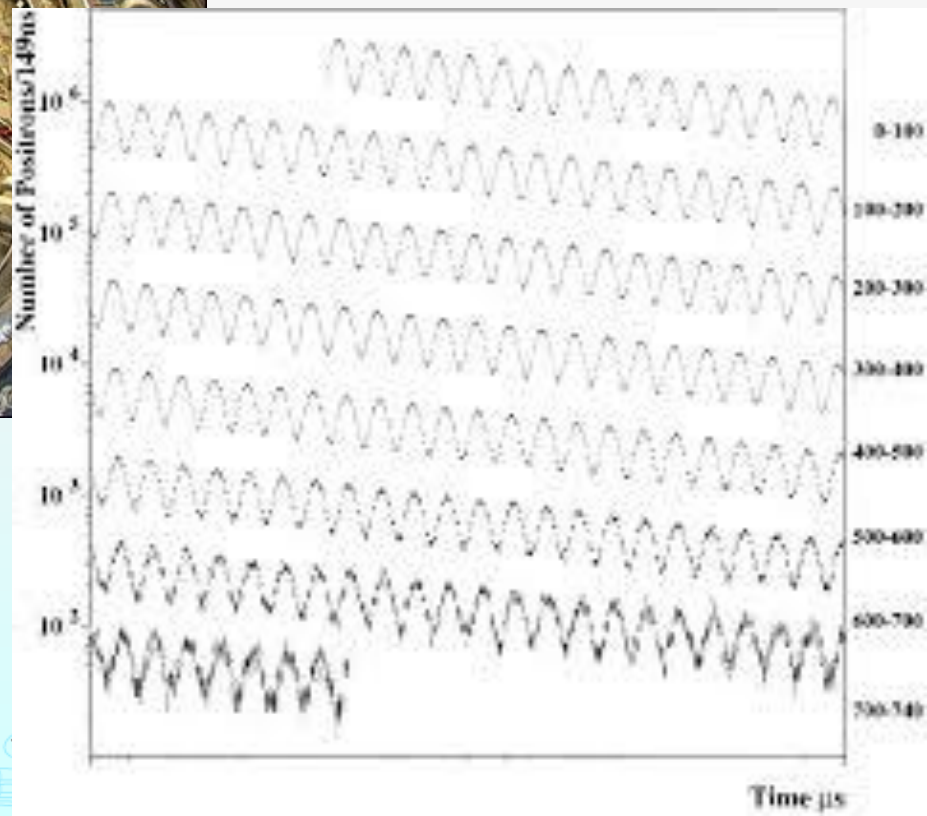
$$\mu = \frac{e\hbar}{2m}$$



- ◆ 1938年にI. Rabiによる分子線内のNMR現象を発見
- ◆ 1946年にパーセルがパラフィン、ブロッホが硝酸鉄水溶液でNMRを発見

磁気能率の精密測定

- ◆ ブルックヘブン研究所のミュオン蓄積リング



- ◆ 歳差運動をしている

現代の物理の謎

- ◆ 1970年代までは質量はもともとあるものだと思われていた
- ◆ 新しい理論では、質量はないほうが理論的には筋道が立てやすいということになった
- ◆ 質量を与えるのは真空中に広がっている粒子が与えているという考え方が今の主流
- ◆ そうやって物質が持つようになった質量は空間の性質も変えている、地球の上では時計が遅くなっている(赤方偏移)

1. Bluetooth機器のプログラミング

◆ Bluetooth機器とは

	通信速度	通信距離	消費電力
Wi-Fi	速い	広い	多い
Bluetooth	やや遅い	やや狭い	少ない

- ◆ 通常はデバイスドライバーがOSに組み込まれており、ペアリング動作で接続できる？
- ◆ 今回のドローンはそのようなものでないので手動で接続し、ドライバーもjavascriptの機能を使って導入し、接続するみたい
- ◆ ネットに飛び交っている情報を使って見様見真似風にやってみる

2. X線の遮蔽実験とシミュレーション

- ◆ クルックス管を使うとX線が出てくる
- ◆ 鉛ガラスを使うと遮蔽できることをまなぶ
- ◆ 遮蔽はサーベイメーターと呼ぶものを使って調べる
- ◆ 遮蔽できたのはなぜかをシミュレーションを使って学ぶ

3. 温度差が作る霧箱(ガイガーカウンター)

- ◆ 霧箱とは(いくつか種類がある)
 - ◆ アルファ線やベータ線の飛跡をそれが作ったイオンを核とした霧の粒で見えるようにするもの
- ◆ ペルチェ素子の表面が-20度になることを利用する霧箱
- ◆ -80度のドライアイスを使って霧を作るもの
- ◆ ガイガーカウンターは作る予定だったが、先輩が作ってしまったので作成の体験談を聞いた後、動作試験をする

4. スピンの反転が生む信号(ラジオ作り)

- ◆ 水の中の水素原子核がひっくり返って音が出る (Nuclear Magnetic Resonance NMR)
 - ◆ 音は聞きにくいのでオシロスコープに表示
 - ◆ 教育用の装置を買ってみるとラジオと同じ回路
- ◆ 今回はラジオを作ってみよう
 - ◆ 電波を共振回路でひらい、その強弱の変化を音響波に変換するのがラジオ、NMRもおなじ

backup

放射線のシミュレーターgeant4

- ◆ Geant4は測定器の応答をシミュレートし擬似データを生成するツール
 - ◆ 基礎物理学の実験に不可欠、医学利用も
- ◆ Geant4を計算機にinstall, 教育用にpythonのインターフェースをinstall
 - ◆ アプリが利用可能になる
- ◆ 単純な物質の中で起こる現象
 - ◆ lesson1
- ◆ 制動輻射による電磁シャワーの発達
 - ◆ Lesson2、物理プロセスのon/offが可能

単純な物質の中で起こる現象



左上のiconをクリックしてtanmatsu
とタイプして端末を起動する。
端末ではtabキーが推測してくれる

```
cd g4py or work/g4py  
source setupG4py.sh  
cd examples/education/lesson1  
Python Lesson1.py
```

- ◇ 物質の種類や厚みを変えてみる
- ◇ 入射粒子の種類やエネルギーを変えてみる

粒子と物質の相互作用のシミュレーション

```
cd g4py or work/g4py
cd examples/education/lesson2
python ExN03.py または demo.py
```

粒子の相互作用をON/OFFしてみる

- ◇ 光子
 - ◇ 光電効果: phot、コンプトン散乱: compt、対生成: conv
- ◇ 電子、陽電子
 - ◇ 多重散乱、: msc、イオン化: eIoni、制動輻射: eBrem、対消滅: anihil
- ◇ ミューオン
 - ◇ 多重散乱、: msc、イオン化: muIoni、制動輻射: muBrem
- ◇ 陽子
 - ◇ 多重散乱、: msc、イオン化: hIoni

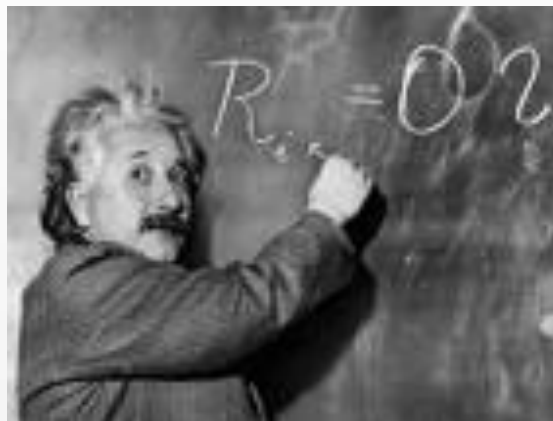
多重散乱は物質の核子よるもの。イオン化は物質の電子を跳ね飛ばすもの

特殊相対性と一般相対性の発見

絶対静止空間というものはない



光速度不変の原理
地球が光の速さの半分で走っても
光は同じ速さで四方に伝わる。
質量はエネルギーに転換する
粒子の質量は座標系によらない



宇宙の中心はどこか分からない



重力場のなかを落下している人は平坦な
空間の中にいることになり光は直進
外から見た人は光が曲がっているように見える
重力レンズ: アベル2218、スマイル星雲



巨大加速器が稼働中

- ◇ ATLAS, CMS実験でhiggs粒子が検出
 - ◆ 電子やミュオンに壊れるとバックグラウンドは少ない
- ◇ 標準理論で見つけられていなかった最後の粒子
- ◇ 理論の人は標準理論を越えた物理を提示している
 - ◆ 超対称性、Extra Dimension
 - ◆ Higgs粒子がいくつもある理論

ニュートリノに微細な質量

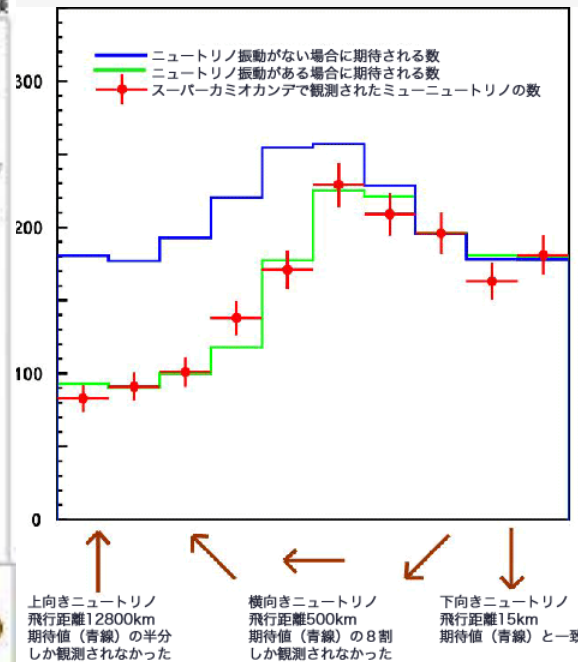
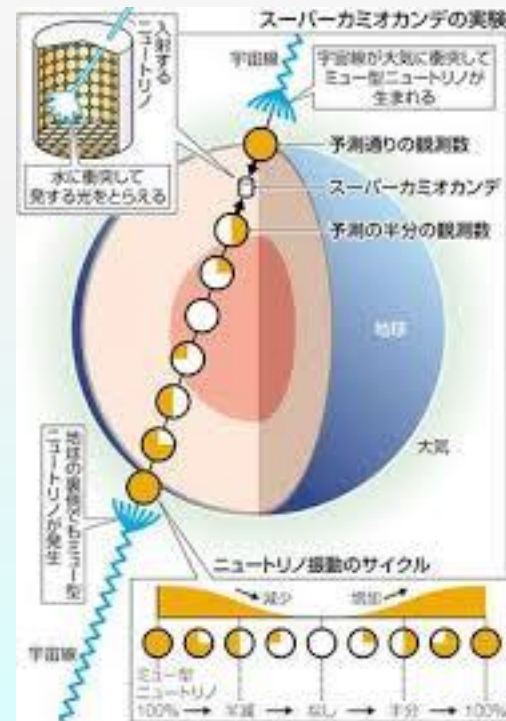
- ◇ ミューオンニュートリノ(1962)の発見から57年経過(写真)
- ◇ この写真はスパークチェンバーが背景、阪大の宮本重徳と名大の福井崇時が発明
- ◇ 太陽ニュートリノ欠損、と言う兆候があった
- ◇ スパークチェンバーは学生実験でよく製作される、高圧スイッチが必要



ニュートリノ振動の発見

- ◆ KAMIOKANDEです
でに兆候があった
- ◆ Super
KAMIOKANDEで決
定的な証拠
- ◆ 3世代のうち特に ν_μ
が混合で半減する
- ◆ L はkm, E はGeV, m は
eVの単位

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m^2 L}{E} \right)$$



ATLASのイベントディスプレイのatlantisを使う

端末で、まずトップディレクトリに戻って、設定ファイルなどがあるディレクトリに移動。その後アーカイブファイルを指定してJavaを起動

```
cd  
cd AtlantisJava-09-16-03-10  
java -jar atlantis.jar
```

File MenuからRead Event Locallyを選択、2011HiggsJiveXMLを選択
最初のイベントを開く

衝突点のようすはr-ZプロジェクションとZoom/Move/Rotateが選択された
状態でマウสดラッグする

電子やミュオンはハドロンカロリメータの外側にある。指マークが選択された
状態でクリックすると数値が右下に表示される