

Magnetic Monopole Search

ref: RRL65(1990)149 “High-Luminosity Search for Highly Ionizing Particles at the Fermilab Collider”

Spin Colloquium

2003/Aug/22

H.Torii RIKEN/RBRC

What's Magnetic Monopole?

- Particle Data Book 1998 version
 - *10 pages*
 - Basic explanation
 - Production limit from accelerator searches ~40 exps
 - » (Today's paper is one of the highest limit from this category)
 - Monopole flux limit from cosmic ray search ~70 exps
 - Monopole flux/density limit from astrophysics ~17 papers
 - » (from neutron star/galactic field etc..)
 - Monopole Density from Matter ~14 papers
 - » (from moon rocks, seawater, etc)
 - Particle Data Book 2002 version
 - *4 lines*
 - Isolated super massive monopole candidate events have not been confirmed. The most sensitive experiments obtain negative results.
Best cosmic-ray supermassive monopole flux limit:
 - $< 1.0 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}$ for $1.1 \times 10^{-4} < \beta < 0.1$
 - Mmm. Does the monopole search become less attractive ?

What's Magnetic Monopole?

“Dirac Monopole”

- Dirac **の予想**。
 - もし点磁荷が存在していれば、Maxwell方程式の対象性から、電荷が量子化しているために磁荷も量子化しているだろう。
- Dirac Monopole **の性質**
 - 0 点で特異点
 - T保存、P保存を破る。
 - 点粒子であるために、加速器で作ることができる (かもしれない)
 - だけど、存在しなければならないという必然性はない。

What's Magnetic Monopole?

T'Hoot-Polyakov Monopole

- T'Hoot-Polyakovの予想
 - 大統一理論によると、SU(5)対称性が自発的に敗れてU(1)対称性が残るとき、Monopoleは存在しなければならない。
- T'Hoot-Polyakov monopoleの性質
 - 質量の予想が立てられる。GUTスケール 10^{15}GeV 程度。実際は 10^{17}GeV 程度
 - 点粒子ではなく複合体。コンプトン波長程度、 $1/M_{(\text{GUT})} = 10^{-30}\text{cm}$
 - 加速器では作れない。ビッグバンから取り残されたもののポールが宇宙に残っている可能性はある。
 - 銀河、太陽系、地球の重力や磁場に束縛されているとして、 $\beta = 10^{-5}-10^{-3}$

How to Detect Magnetic Monopole

- **磁気誘導検出器**

- コイル中に電流が発生するのを待つ。

- **イオン化損失**

- **シンチレーション**

- 非常に大きな信号。 $(g/e)^2 = 4700$
- $dE/dx = dE/dx(\text{electron}) \times (g/e)^2 \times \beta^2$

- **エッチング軌跡検出器**

- 放射線損傷を残すことを利用する。Passive counter として。
- Calibrationは重イオン加速器を使って、Zの大きな原子核を打ち込んで行う。

- **触媒効果検出器**

- 陽子崩壊を引き起こす。
- Kamioka で測定された。

Experiment

- D0 collision region of the Fermilab collider
 - $1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}$ integrated luminosity
 - 3つのことなるエッチング軌跡検出器を使用。
 - CR-39 and Rodyne polycarbonate
 - Six-sided cylindrical array
 - 70% of 全立体角、vacuum pipeの外
 - BP-1 glass
 - 2-sheet stack inside the vacuum pipe、outgass を発生しない。
 - Vacuum pipe の中なので、遅くレンジの短いmonopole用

TABLE I. Processing, response, and sensitivity of detectors to background radiation and to monopoles.

	CR-39	Rodyne	BP-1
Solid angle ($\Omega/4\pi$)	0.7	0.7	0.18
Etchant	6.25N NaOH	6.25N NaOH	49% HBF ₄
Final/initial thickness	0.4	0.34	0.74
$(Q/\beta)_{\min}$ for $\theta=0^\circ$	26	63	65
$(Q/\beta)_{\min}$ for $\theta=45^\circ$	36	69	66
Minimum detectable β for			
$n=1$	0.05	0.8	0.86
$n=2$	0.02	0.09	0.08
Dose limit (Mrad)	2	200	1000
Etch pits/hadron (calibration)	10^{-4}	4×10^{-6}	4×10^{-7}
Measured No. of etch pits (cm^{-2})	$\sim 10^8$	$\sim 4 \times 10^6$	$\sim 8 \times 10^5$

Processing and Analysis

- CR-39 and Rodyne polycarbonate
 - 強い水酸化ナトリウム溶液で元の厚みの30-40%になるまでエッチング。
 - 特殊なシート (謎) を片方に貼り付け、反対側からアンモニアガスを噴きつける。エッチングによりできた穴によりアンモニアガスがシートに到達反応し、色が残る (化学反応?) のを観測する。
- BP-1 glass
 - ホウフッ化水素酸でエッチングして、顕微鏡にてエッチングによって生じた穴 (泡?) を片面から反対側の面へ繋がっているのを探す。
- monopoleの信号。
 - エッチングの穴がいくつかの繋がったシートにまたがって見つかること。かつ、穴のサイズがmonopoleが遅くなることにより段々小さくなっていく。
 - かたや、荷電粒子は遅くなるに従い、穴は広がる。
 - 0.5mm のシート間位置制度があれば観測できる。
 - CR-39 : $\beta=0.025 - 1$, Rodyne and BP-1 : $\beta=0.9-1$

Results

TABLE II. Results of search for correlated holes.

Detector ^d	No. of holes	No. that follow through adjacent sheet
Rodyne	~7500	0
CR-39	0	0
CR-39	1	0
CR-39	1	0
CR-39	0	0
Rodyne	135	2
Rodyne	175	2
Rodyne	204	0

^dListed in order of position in the stack, with the sheet nearest the beam line first.

- 8000 single holes
- **2穴が一致した！！**
 - 前後（上下）に穴が見つからなかったので、monopole ではない。
 - 二つのトラックが14度の角度をもって一点から飛び出してきたイベント。
 - もっともらしい説明として、large pT hadronがpolycarbonate中のZの高い不純物もしくはホコリと反応して、二つのフラグメントを発生させた、と考えられる。実際に、BP-1 glassでは、25%のBarium(Z=56)を含んでいるが、同じような例をたくさん観測した。
- Upper limit $< 2.4 / \Sigma (L \times \epsilon\Omega/4\pi) < 1.2 \times 10^{-33}\text{cm}^2$
 - L : luminosity = $1 \times 10^{30}\text{cm}^{-2}$
 - $\epsilon\Omega$: Efficiency x Acceptance = 謎、

Discussion

- Comparing with Drell-Yan production of monopole pair
 - $q + \bar{q} \rightarrow g + g$
 - $\sigma_{(\text{muon pair})} \propto (g/e)^2$
 - Higher-order will contribute.
- Monopole mass up to 130 GeV is excluded.

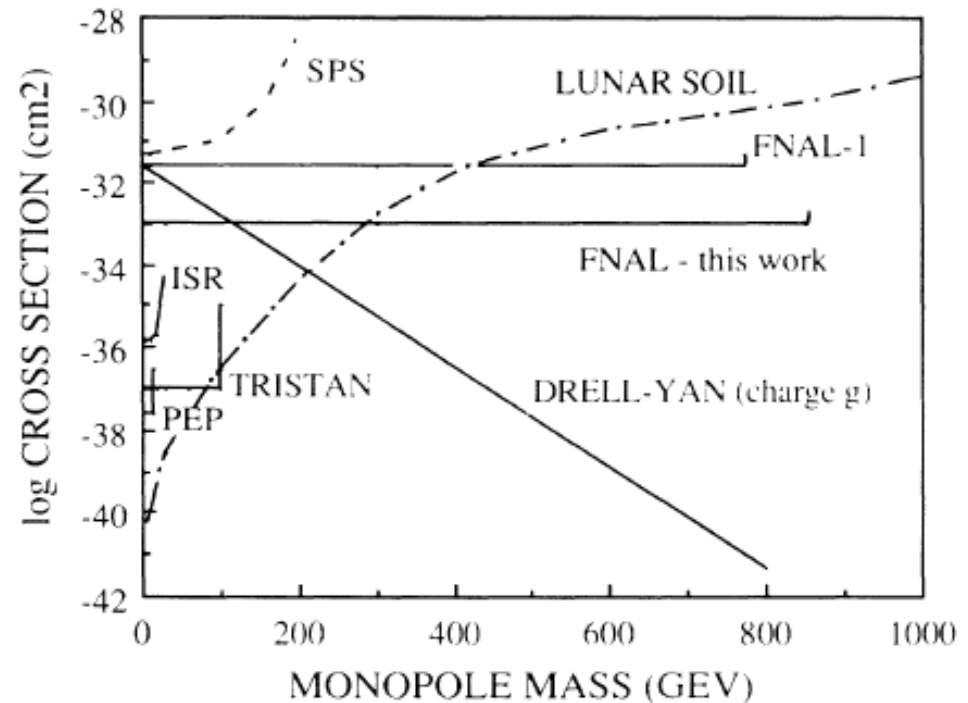


FIG. 1. Upper limits on monopole production cross section. References are as follows: PEP, Ref. 9; ISR, Ref. 11; TRISTAN, Ref. 10; SPS, Ref. 7; lunar soil, Ref. 8; FNAL-1, Ref. 5.

Other Experiment, HI Collision

- No signal
 - AGS E882
 - SPS P288
- Comparing Drell-Yan Cross section, the limitation of magnet monopole is $< 8.1\text{GeV}$

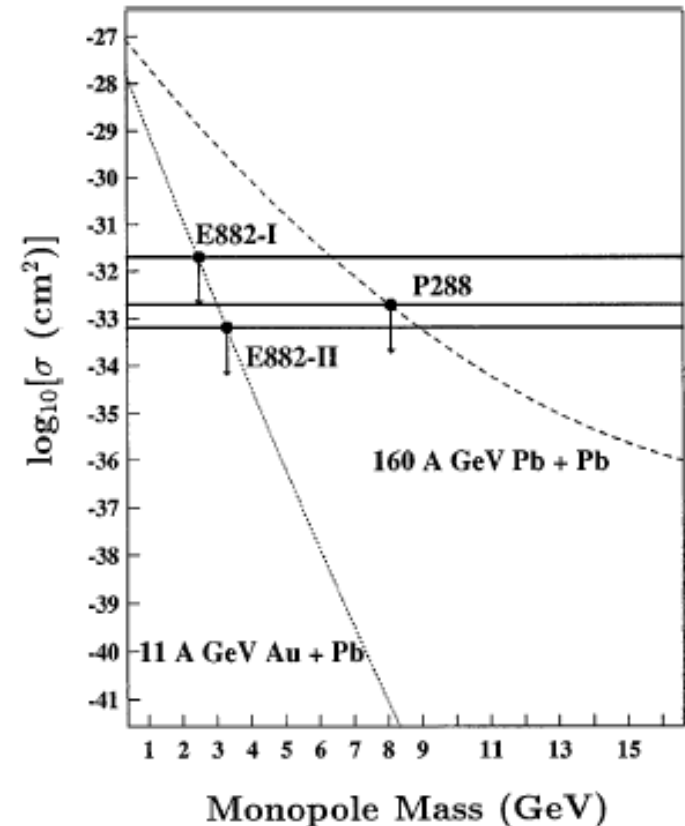


FIG. 4. The production cross section as a function of magnetic monopole mass. The upper limits from three searches E882-I, E882-II, and P288 are compared to the calculated Drell-Yan cross sections.

Recent Results from MACRO

- Gran Sasso Lab
 - Romeに続く高速道路の地下トンネル(10.4km)沿いに作られた研究所。
- Macro 実験
 - 76.5x12x9.3m³
 - 2000 Dec まで
 - Low cosmic muon rate = $1 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$
 - 3 subsystems
 - Limited streamer tube
 - Liquid Scintillator
 - CR39 etch detector

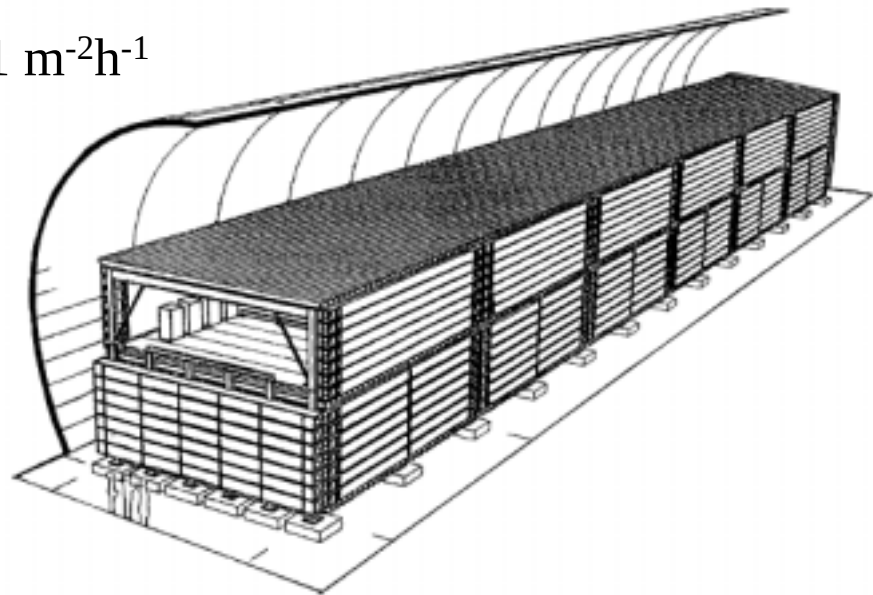


Fig. 1. General layout of the detector installed in Hall B of the LNGS. Overall dimensions of the active part were 76.5 m long, 12 m wide, and 9.3 m high.

Recent Results from MACRO

- Parker Bound
 - モノポールが存在すれば、銀河磁場によって加速され、磁場エネルギーが消費される。銀河内に磁場からモノポールのfluxに制限を与える。
- Extended Parker Bound
 - 宇宙初期の磁場を考慮してSurvival 確立を含めた制限。

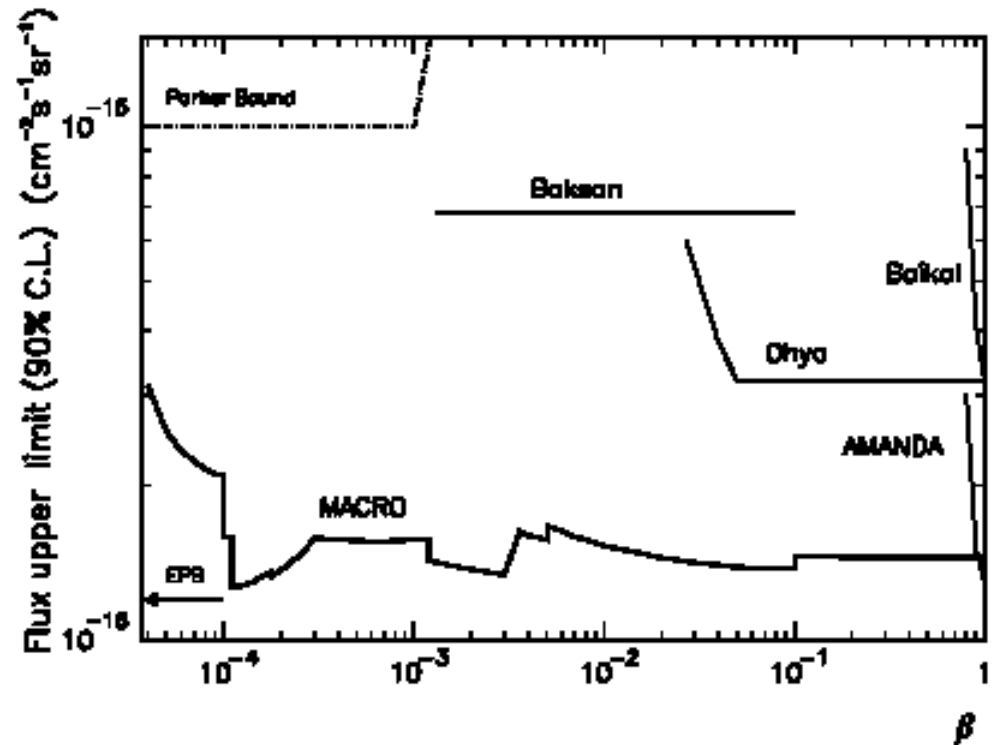


Fig. 9. The global MACRO limit for an isotropic flux of bare magnetic monopoles, with $m \geq 10^{17}$ GeV/c², $g = g_D$ and $\sigma_{cat} < \text{few mb}$. For comparison, we present also the flux limits from other experiments [31]

Summary

- Magnetic Monopole **は見つかっていない。**
 - **加速器で、800GeVまでの生成制限**
 - **Cosmic-rayの実験で、パーカ制限を下回る上限値。**
- **LHCでやる人いないのかな？**
 - **さめ気味、、、**