

NAGARA eventをもたらした 原子核乾板(nuclear emulsion)実験の今昔

岐阜大学・教育学部
仲澤 和馬

1. 1945~1970 宇宙線から加速器への移行

1947 C. F. Powell: π 、 μ の発見 [1950 ノーベル賞]

1955 E. Segre, O. Chamberlain: 反陽子の発見 [1959 ノーベル賞]

2. 1971~1990 加速器を使った素粒子実験

1971 K. Niu: 新粒子の発見(後のチャーム)

[1974 J/ψ の発見 S. C. C. Ting, B. Richter 1977 ノーベル賞]

* 取扱い手法の開発

- ・乾板単独からカウンターなどとのHybridへ
- ・人海戦術からコンピュータ支援

1985 WA75 bottom mesonの確認 / multi-charm pair生成の発見

3. 1990~ 高速飛跡探索装置が開くさまざまな領域

主流(本家)の名大

1988~ ν 振動実験

2004 τ レプトンの確認

火山内部の構造解析

粒子線治療のための核破砕反応の研究

WIMP (weakly interacting massive particles)

高速電子宇宙線の起源の解明

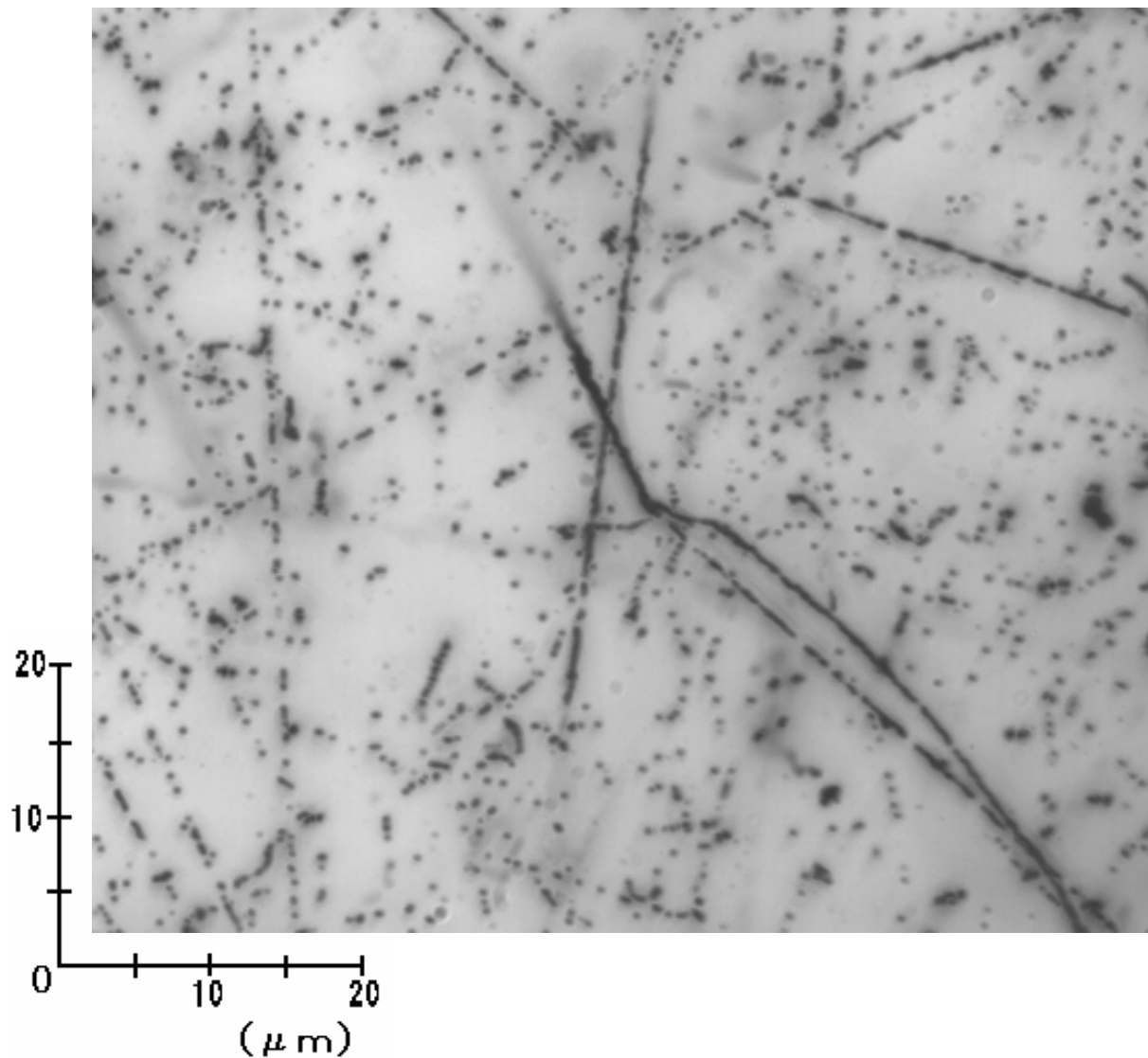
溶鉱炉の内部構造変化の検出

分家の岐大

原子核実験・・・2001 NAGARA eventの発見・2005 $S=-2$ の弱崩壊の発見

取扱い手法のみならず原子核乳剤そのものの開発が不断に行われる

0. 原子核乾板中の記録



S. 木下, Proc. Roy. Soc. A83 (1910) 432 : 1個の α 粒子でも感光することを示した。
[実は、1897年、ベクレルはウラン塩から放射される「ウラン線」を写真乾板で記録していた]

n

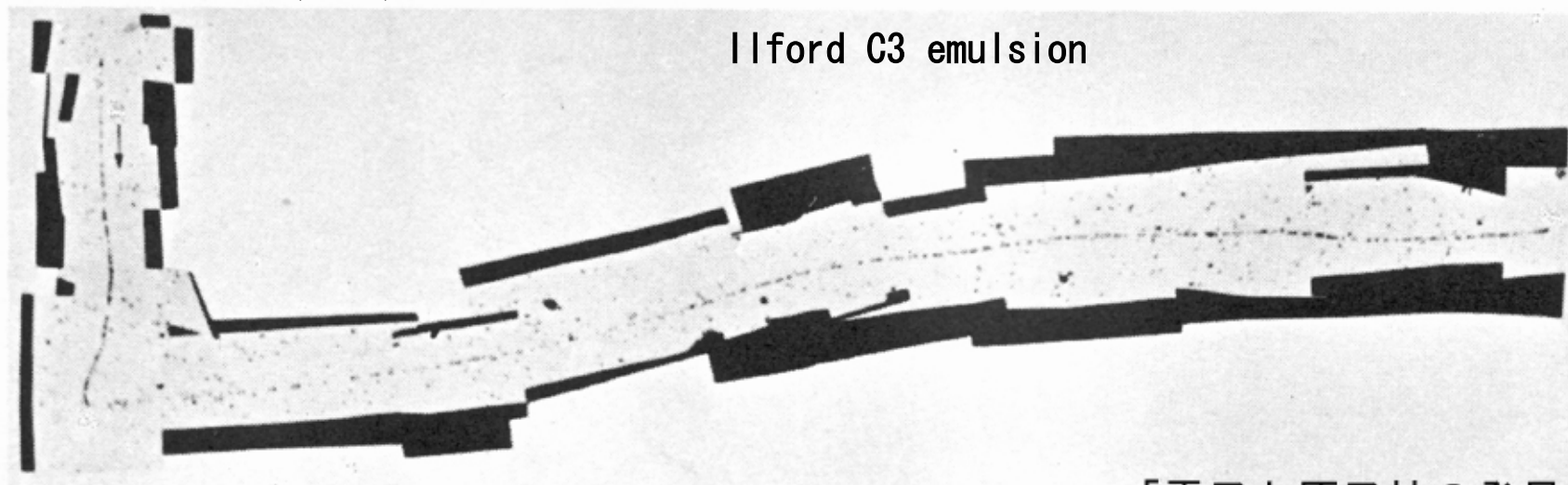
p

 Λ

1-1. 湯川中間子(π)、 μ の発見

1947 Lattes, C. F. Powell, G. P. S. Occhialini (??)

Nature 160 (1947) 453



1947年に撮影されたパイ中間子の最初の写真の1枚。左下でパイ中間子が止められ、崩壊してミュオンを放出している。ミュオンは右の方向に進んでいる。

「電子と原子核の発見」

ワインバーグ著 本間訳

日経サイエンス (1986)

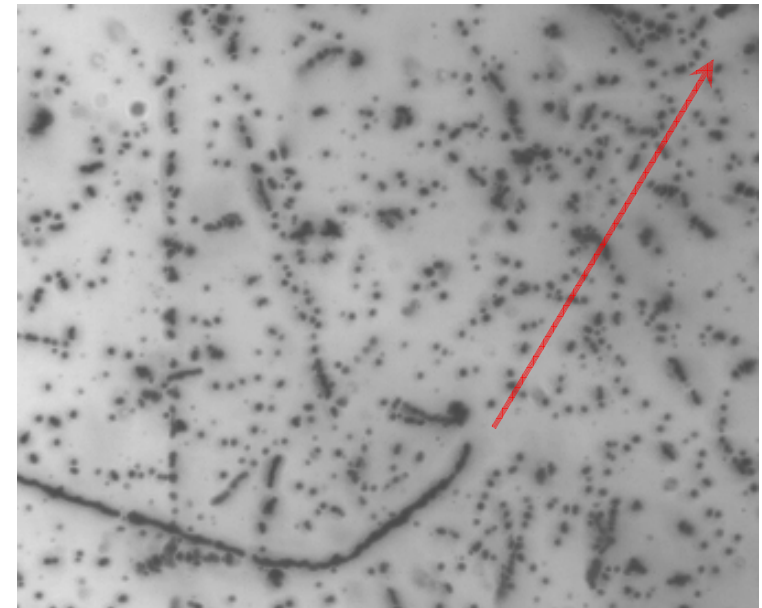
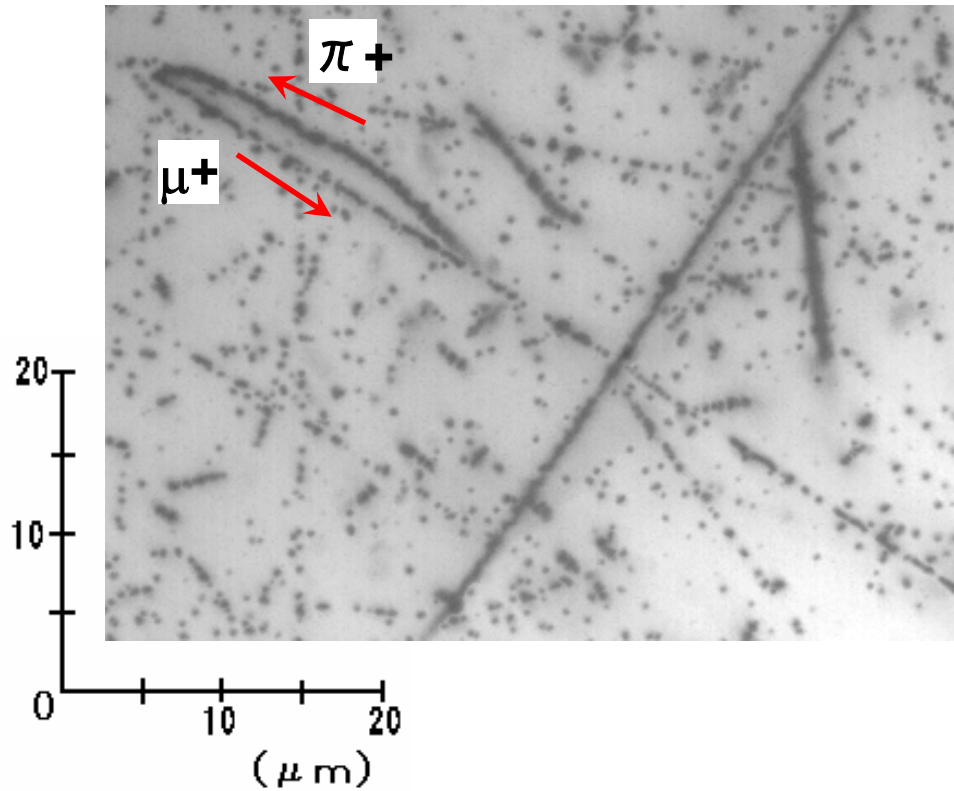
p198

n

p

 Λ

1-1. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ 崩壊 (現在の乾板)



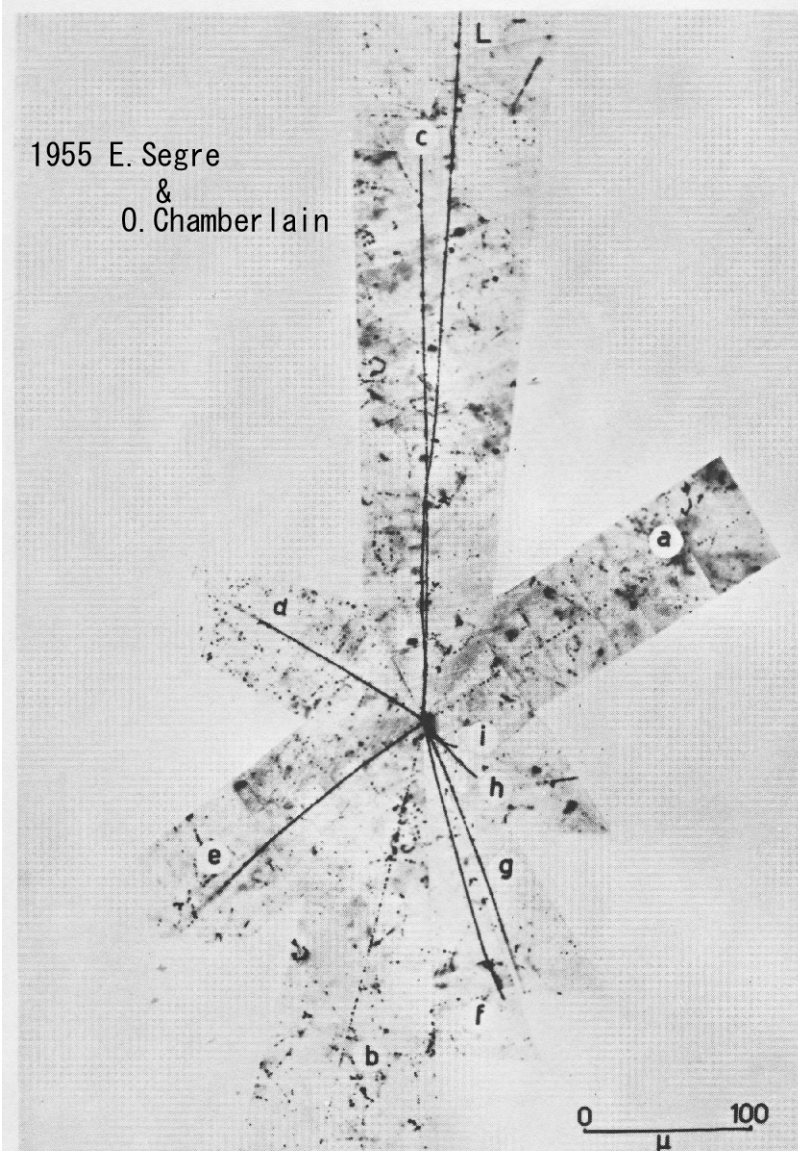
n

p

 Λ

1-2. 反陽子の発見

1955 E. Segre
&
O. Chamberlain



1955年に初めて見出された反陽子の対消滅による“星”

Ilford C3 emulsion

「電子と原子核の発見」
ワインバーグ著 本間訳
日経サイエンス (1986) p196

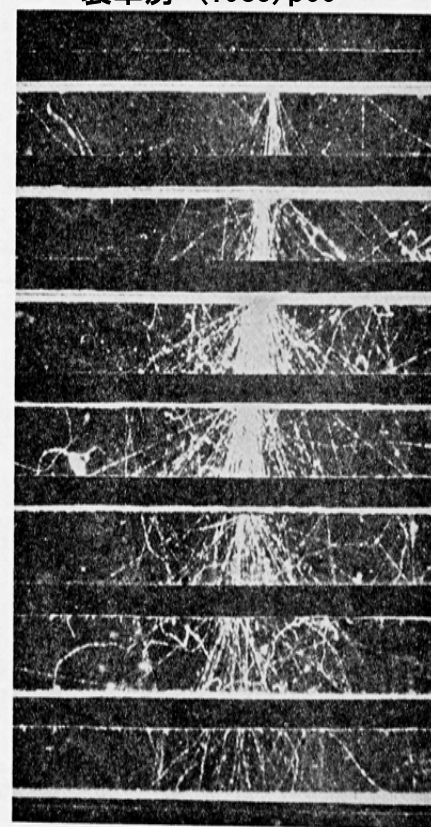
1-3. どうやってエネルギーを決めるか

γ線の部

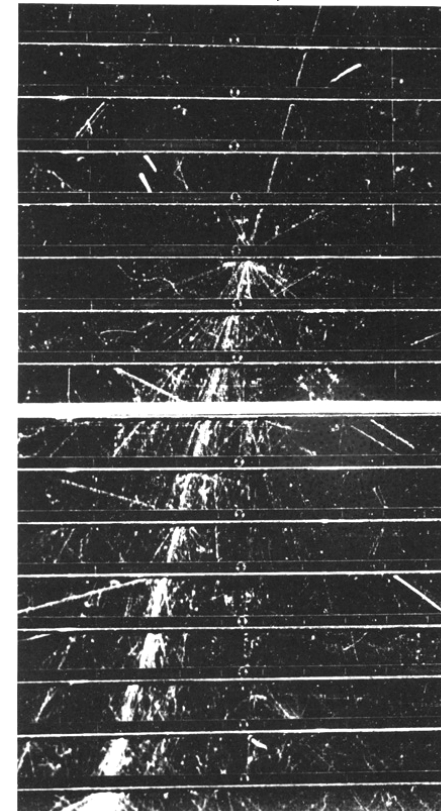
「宇宙線研究」
武谷三男編
岩波書店 (1970)p282

「宇宙線」
小田稔著
裳華房 (1985)p66

ハドロンシャワー



2-28 図 カスケードシャワーの露箱写真
露箱の中には1.8cmの鉛板が8枚入っている。写真は約4 GeVの光子が入射して起こった典型的なカスケードシャワーであり、電子数の増減と減衰の過程をはっきり見ることができる。



最近の証拠 遠く宇宙の宇宙の一部で、最近発見してき起こったという証拠は、このような露箱で撮影した一次宇宙線の飛跡の写真にみることが出来る。この写真は、ミシガン大学のヘンデル (Alfred Z. Hengel) が同僚とともにボリビアの高さ1万7200フィート (約5200メートル) のチャカルタヤ山頂でとったものである。この露箱には17個の鉄の板が、それぞれ0.5インチ (約1.27センチ) の厚さである。宇宙線 (この場合は高エネルギーのプロトン) は、上からはじめて5枚の板を通るが、そのときの陽子のエネルギーは、およそ1兆1000億電子ボルトであり、非常に強力なものである。

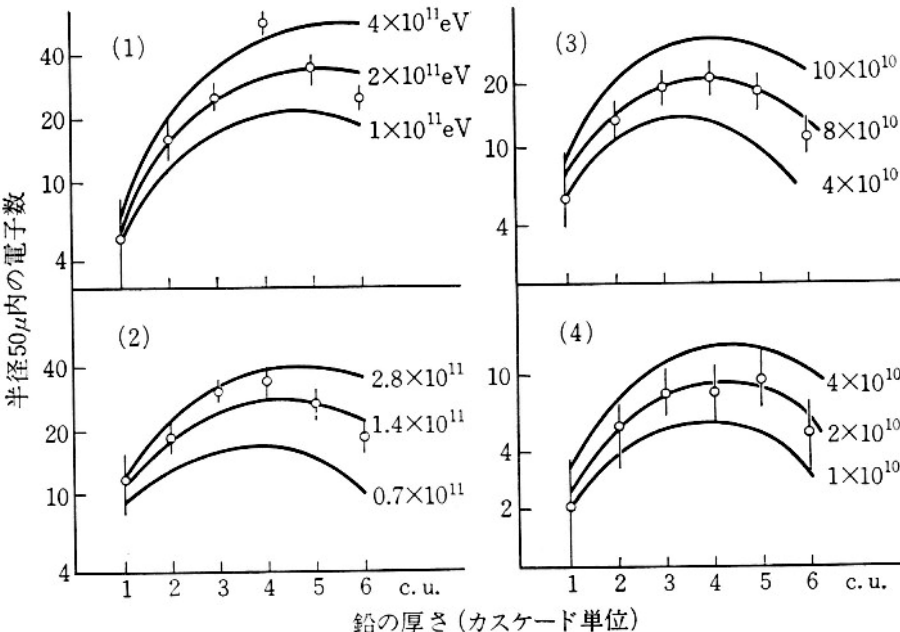


図 10-9 電子数計数法により実験値と理論値との比較から電子シャワーのエネルギーをきめた例。

$$E_1 = (2.0 \pm 0.30) \times 10^{11} \text{ eV}$$

$$E_2 = (1.4 \pm 0.76) \times 10^{11} \text{ eV}$$

$$E_3 = (0.8 \pm 0.18) \times 10^{11} \text{ eV}$$

$$E_4 = (0.2 \pm 0.07) \times 10^{11} \text{ eV}$$

古くは、モリエール関数が使われた。
1950年頃以降は
西村・鎌田 (N-K) 関数
がシャワー分析に使われるようになった

n

p

Λ

荷電粒子の部

1. Energy-loss : Bethe-Bloch equation

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right].$$

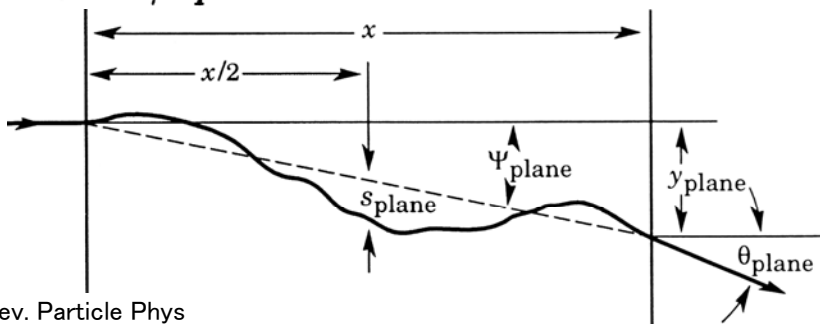
==>> 現像銀粒子数計測

==>> 散乱電子(δ-ray)計測

==>> Range-Energy relation

2. 多重散乱

$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} \left[1 + 0.038 \ln(x/X_0) \right].$$



Rev. Particle Phys

Figure 23.6: Quantities used to describe multiple Coulomb scattering. The particle is incident in the plane of the figure.

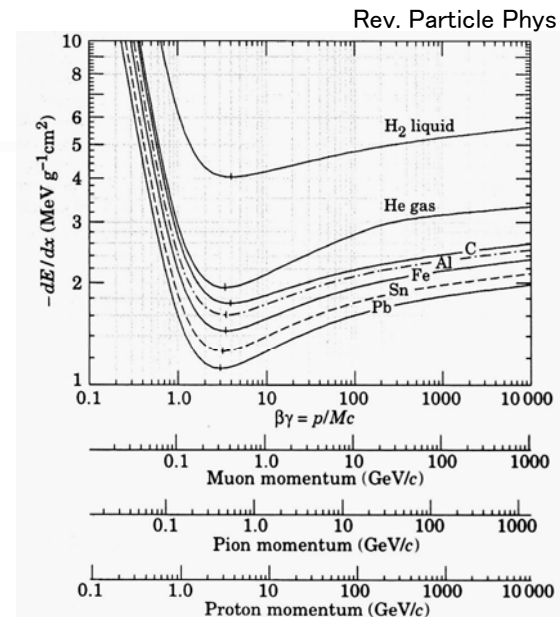
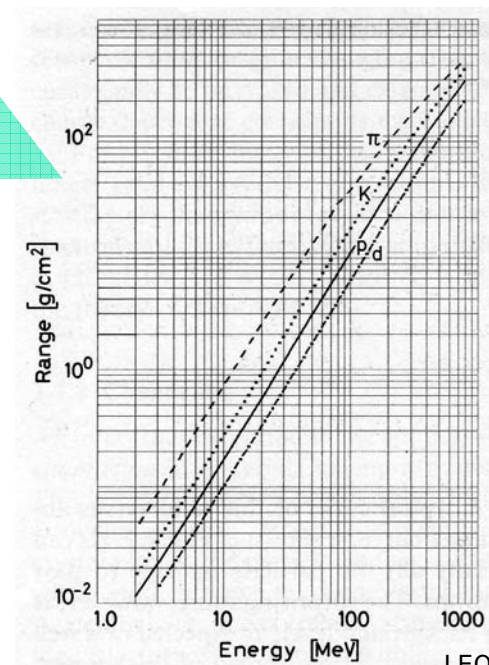


Figure 23.3: Energy loss rate in liquid (bubble chamber) hydrogen, gaseous helium, carbon, aluminum, tin, and lead.



LEO Book

2-1. 宇宙線を用いた気球・航空機利用実験

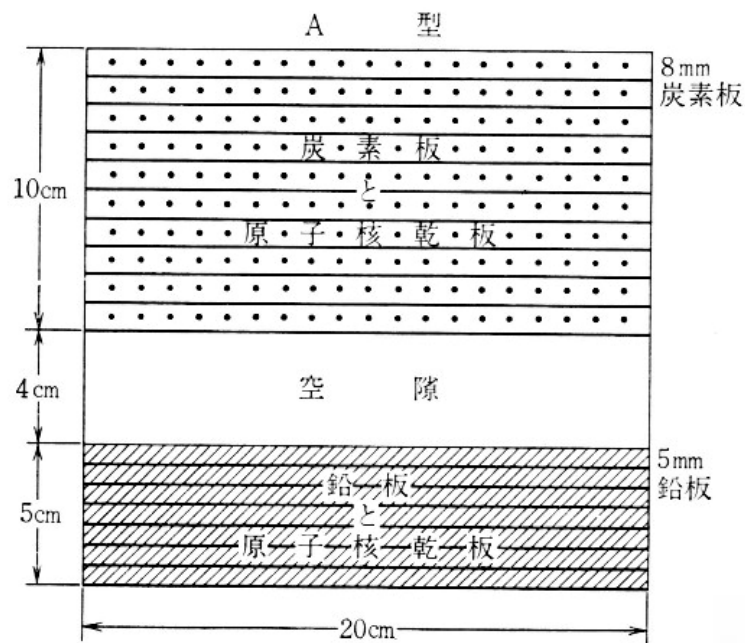
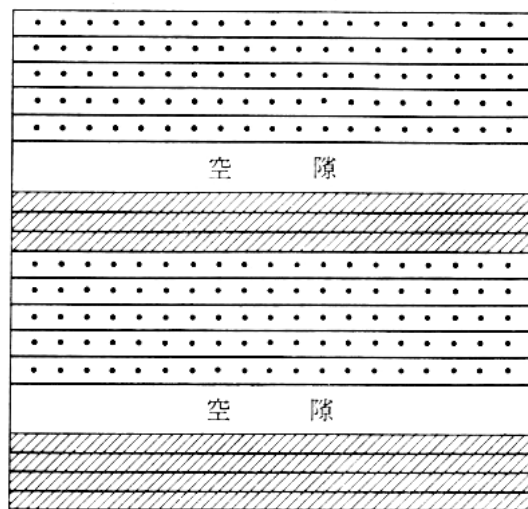
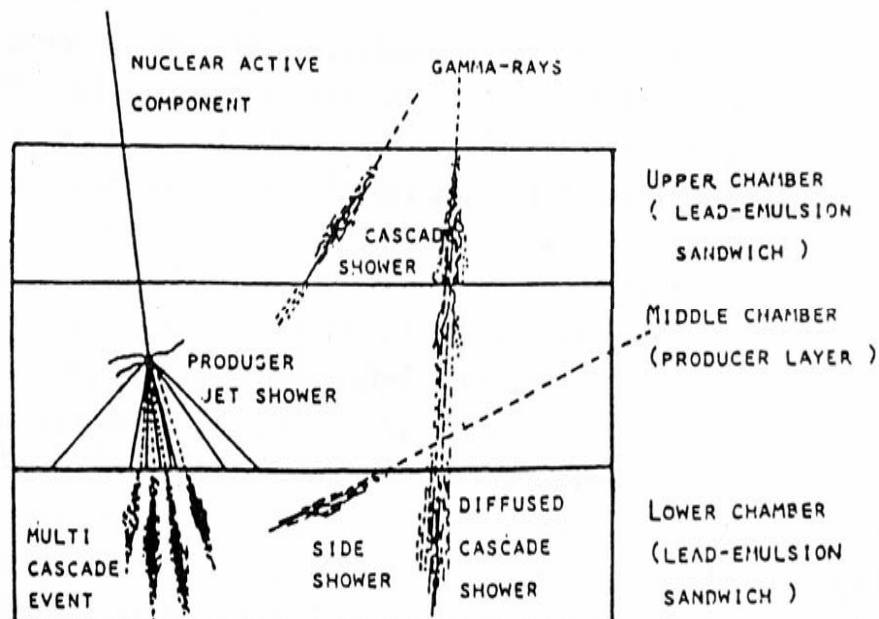


図 10-2 気球用に設計された ECC のデザイン.
B 型

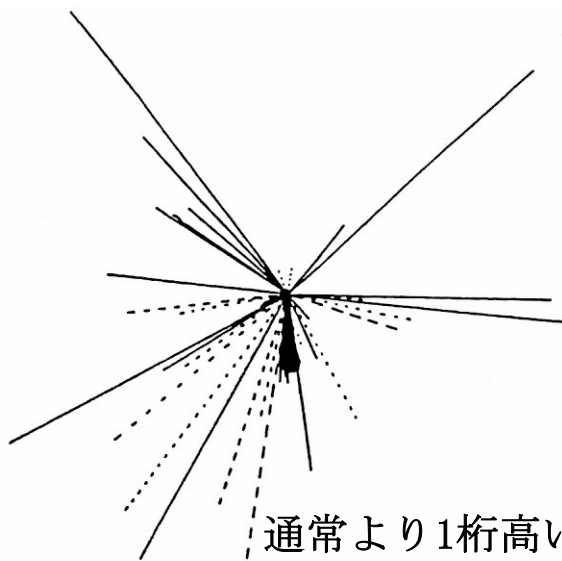


「宇宙線研究」
武谷三男編
岩波書店 (1970)p267



2-1. 新粒子発見 by 丹生

航空機に乗せて宇宙線照射



通常より1桁高いエネルギー
の γ 線が2個あった

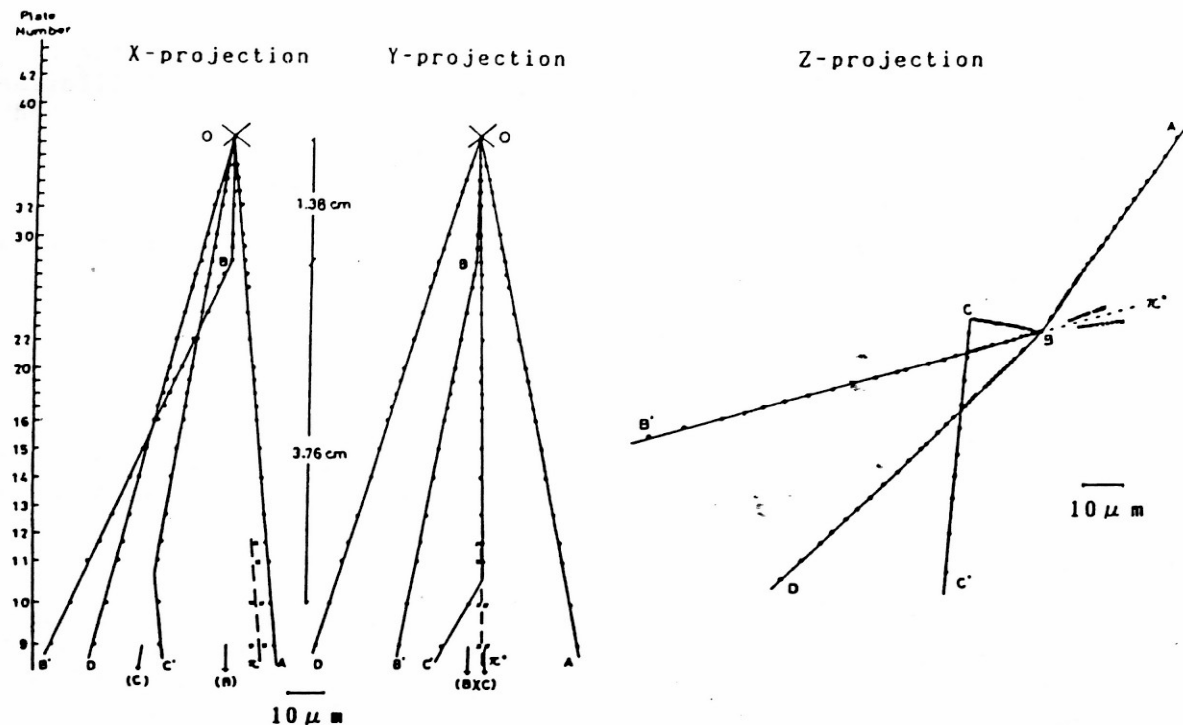


Table I Mass and decay time of X-particle.

Parent X	Assumed Decay mode	M_x GeV	T_x sec
OB	$X \rightarrow \pi^0 \pi^{+/-}$	1.78	2.2×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 K^{+/-}$	2.15	2.7×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 p^+$	2.95	3.6×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 \Sigma^{+/-}$	3.5	4.2×10^{-14}
OC	$X \rightarrow ?^0 ?^{+/-}$		$< 1.5 \times 10^{-12}$

Fig. 5 Schematical illustration of the jet shower, (19 + 70)n in which a pair of charm decays was discovered.

==> Prog. Theor. Phys. 46 (1971) 1644

理論屋(小川)・・・第4の粒子である

==> 1971 宇宙線国際会議(オーストラリア)で報告

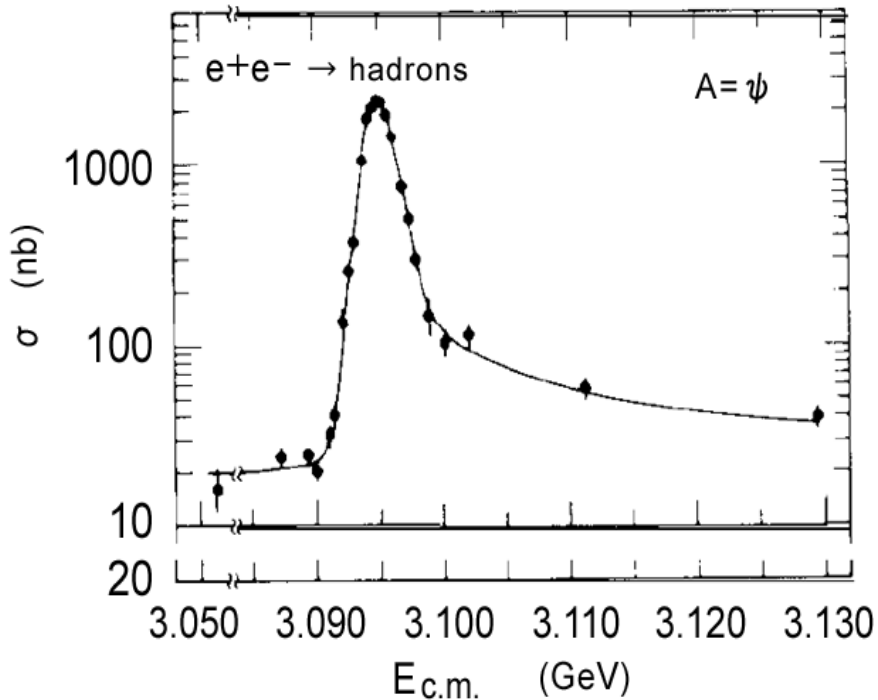
2-1. J/ψ 発見と原子核乾板実験

高統計を狙える解析手法

==> コンピュータ支援が不可欠

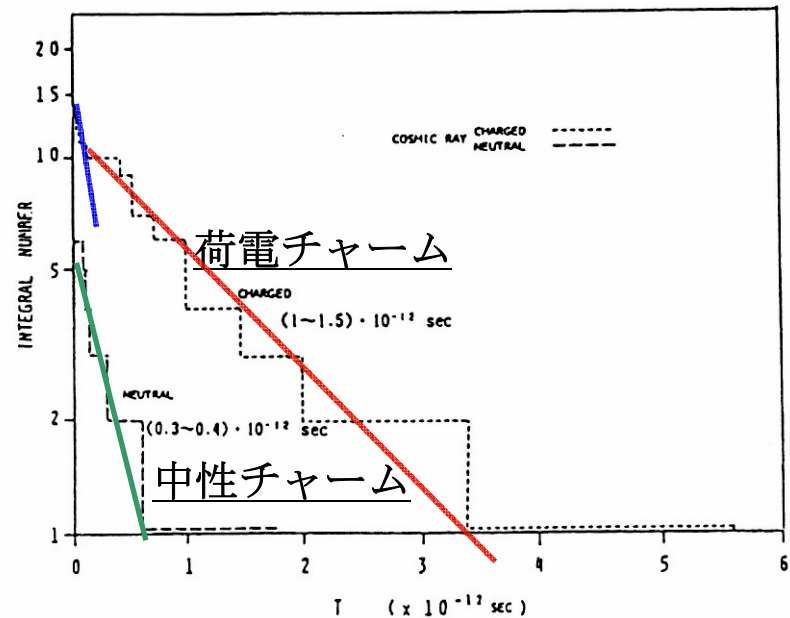
1974

電子陽電子衝突反応による J/ψ 中間子の発見（パートン・リヒター
のノーベル賞講演録より）。衝突エネルギーが3.090GeVを越える
付近から、ハドロン生成断面積が100倍以上増加している。



1975

up to 1985



Life-time difference between charged and neutral charm particles observed in cosmic ray experiment (up to 1975)

$$\tau (D^0) \sim 0.4 \times 10^{-12} \text{ sec}$$

$$\tau (D^\pm) \sim 1.1 \times 10^{-12} \text{ sec}$$

$$\tau (D_s^+) \sim 0.3 \times 10^{-12} \text{ sec}$$

$$\tau (\Lambda_c^+) \sim 0.2 \times 10^{-12} \text{ sec}$$

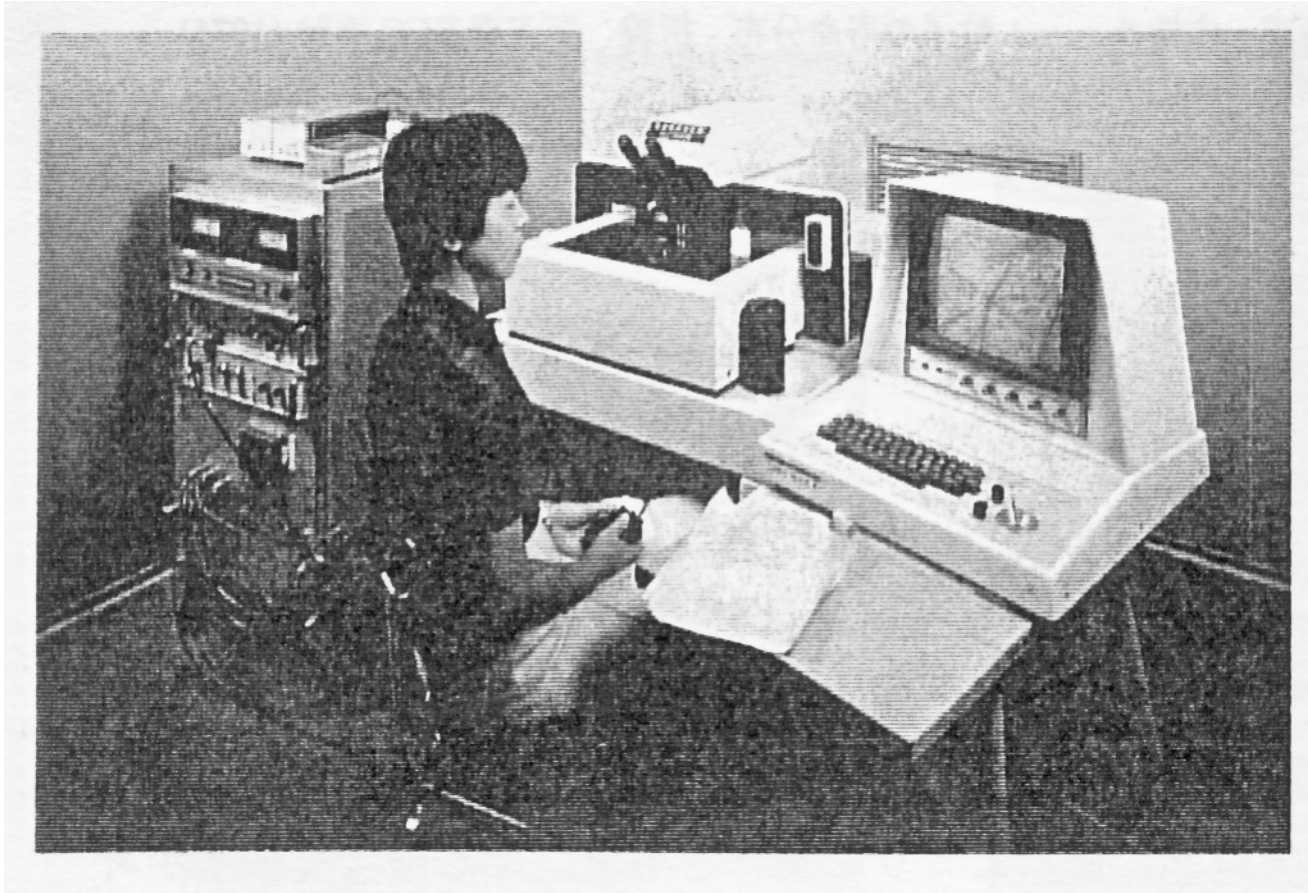
n

2-2. Hybrid実験の始まり

p

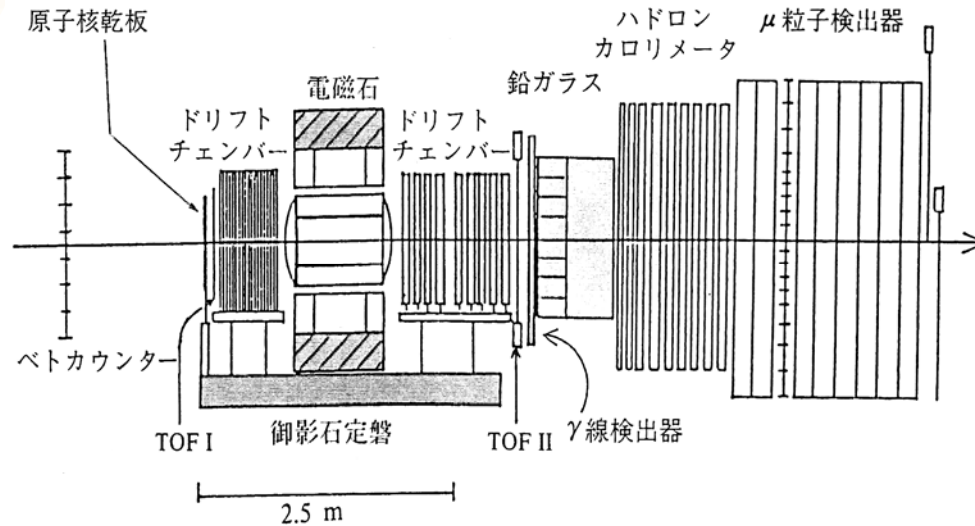
Λ

2-2-1. コンピュータ支援飛跡探索(1976)



2-2-2. Hybrid実験 (他の検出器との併用) のための開発

FNAL E531実験 (1978, 1980)



約100個のチャーム粒子

==> 寿命測定

(D^0 , D^\pm , D_s^+ , Λ_c^+)

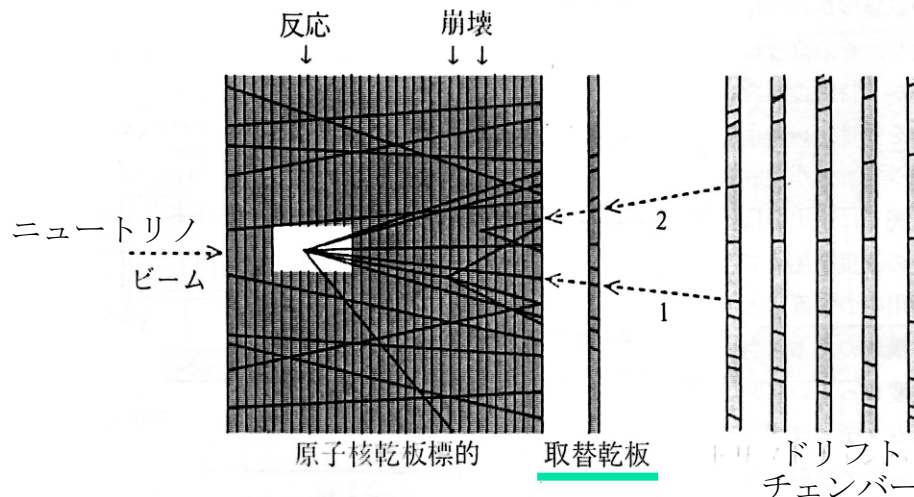
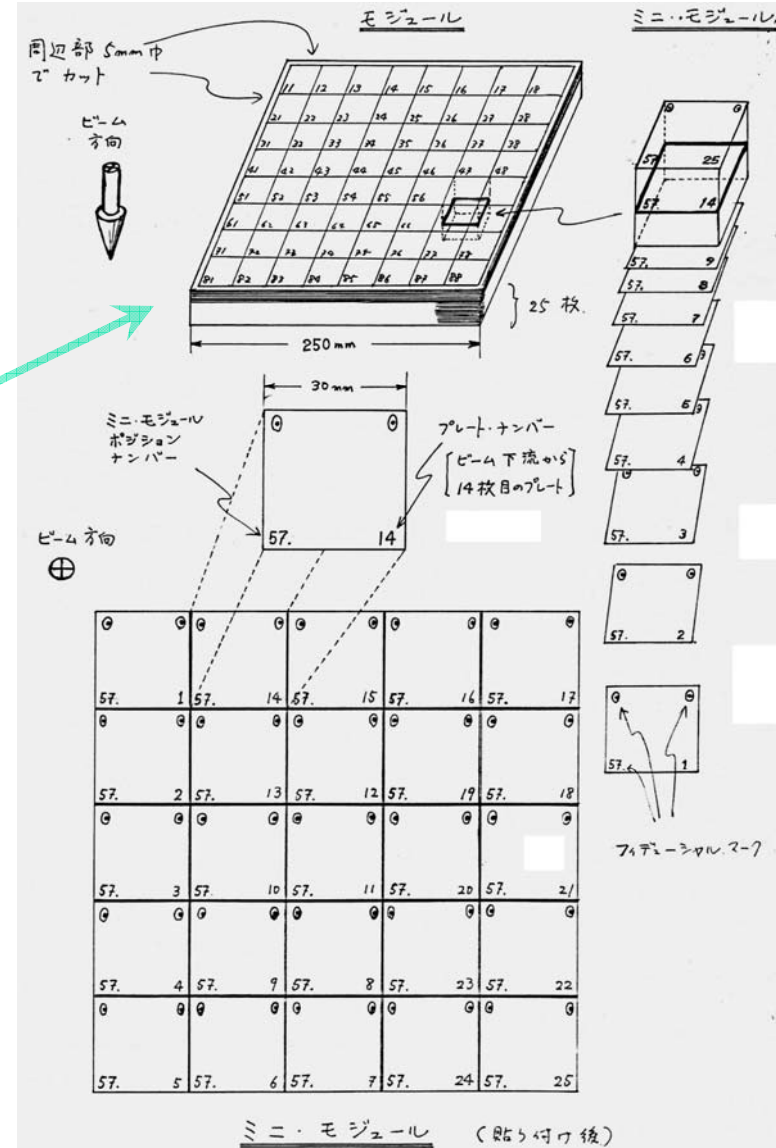
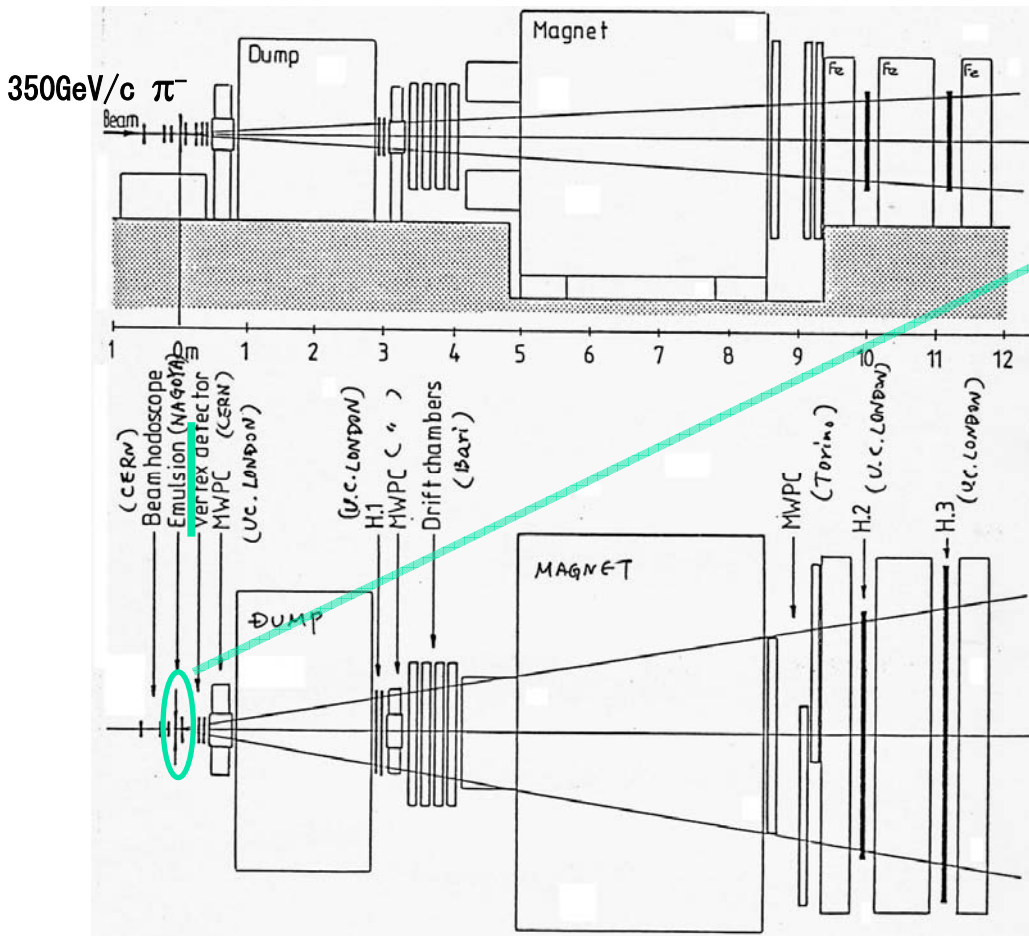


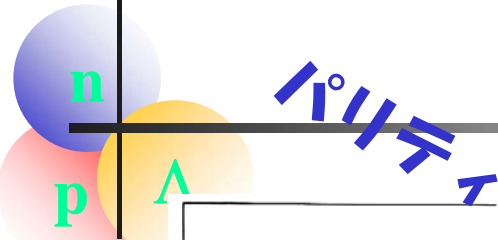
図4 複合装置による反応と崩壊飛跡の検出法。限定体積法：白抜き部分の探索，逆追跡法：1—反応検出，2—中性崩壊検出。

CERN WA75実験 (1983~) ナノバーン現象の発見へ

仲澤が「もぐり」で参加

ボトム (beauty) 粒子探査





00 (1985) p. 6
news

- ビューティ粒子の正体をあばく
- 時間の逆転する宇宙
- クォーク-グルーオンプラズマは見つかったか?

ビューティ粒子の正体をあばく B⁻ B⁰対発生の直接観測

質量 5 GeV 近くの 5 番目の b クォークは u クォーク; d クォークと異なり普通には存在しない。そこで高エネルギー粒子衝突が使われるが、その際、必ず b と \bar{b} の対で作られる。したがって、b を含むハドロンの発生点の様子を確認し、崩壊までの飛跡を直接観測すれば、b クォーク物理に多くの情報が与えられよう。

1985 年 4 月 29 日付けの CERN 所報によれば、日本・ベルギー・イギリス・イタリア・アイルランド・スイスの連合チーム*(スイス・ジュネーブ近郊にある CERN の共同研究 WA75) は、エレクトロニクスと原子核乾板を巧みに組み合わせた粒子飛跡測定装置に 350 GeV/c の π^- ビームを照射させる実験で、原子核乾板の中で π^- が核に衝突し、ビューティ (beauty) 粒子 (またはボトム (bottom) 粒子ともいう) 対 (B⁻B⁰) を生成し、引続きそれらが 2 個のチャーム粒子 (順に D⁰ と D⁻) に崩壊している事例を発見した¹⁾。クォーク模型では B⁻ は b クォーク \bar{u} クォークで構成され、すなわち B⁻ =

的に美しく観測したのは初めてである。間接的観測はすでに電子-陽電子衝突器を使い、スタンフォード大学、コーネル大学、DESY (ハンブルク) で行われている。

原子核乾板中には 3 億個もの相互作用事例が記録されているが、ビューティ粒子の生成断面積は小さい (~10 nb) ので膨大な量のバックグラウンドを差し引かねばならない。WA75 では標的の下流に厚み 2 m の鉄・タングステン置き、ハドロン成分が除去されたところにミュオンスペクトロメーターを設置している。これは 3 Tm の巨大磁石とその前後に置かれた幾層ものマルチワイヤプロポーションアルチェンバーとドリフトチェンバーから構成されている。ビューティ粒子のセミレプトン崩壊に的を絞れば、この過程は大横運動量 (P_T) のミュオンを伴うので、それをトリガーにしている。 $P_T > 1$ GeV/c のミュオンが少なくとも 1 個以上観測されていることを要請して、3 億事例のうちから 1 万事例を選別している。

初めて発見された B メソン [寿命 ~ 10⁻¹³ sec]

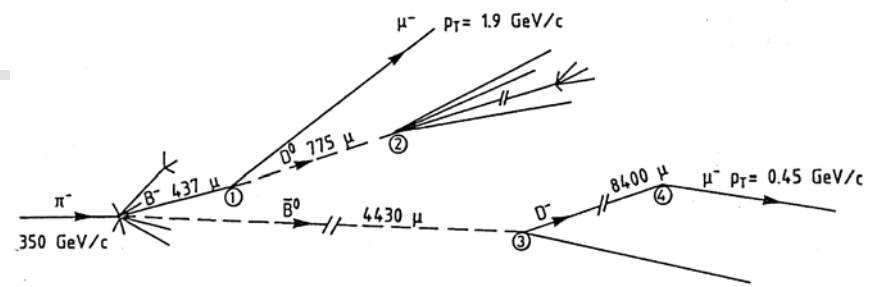


Fig. 3. Sketch of the B⁻-B⁰ event.
J.P.Albanese et al., Phys. Lett. 158B (1985)186

初めて発見された 2 対チャーム (4 個) 生成事象

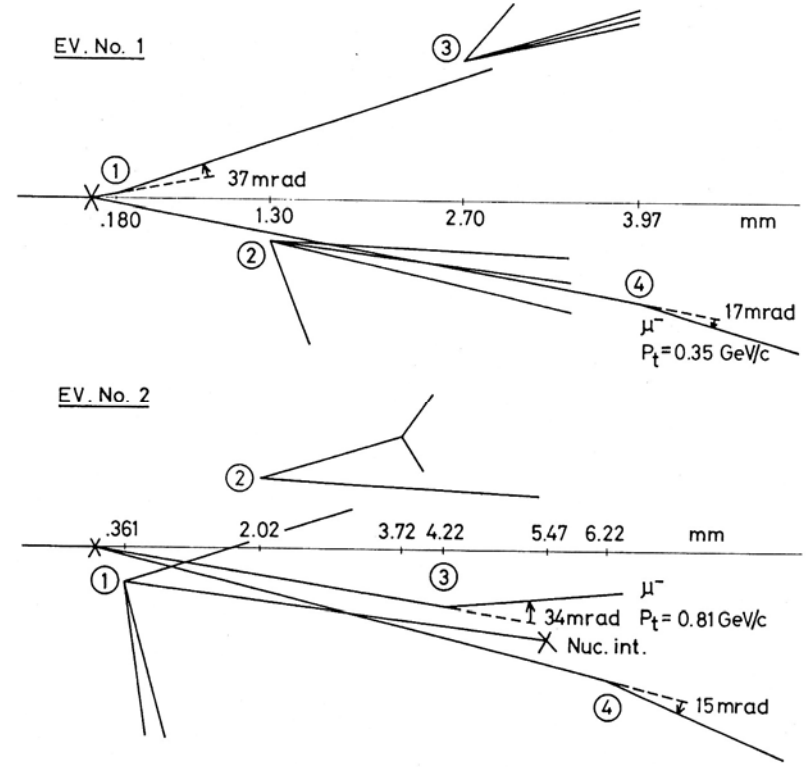


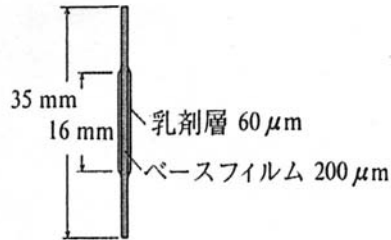
Fig. 1. Sketches of the events.
S.Aoki et al., Phys. Lett. 187B (1987)185

2-3. その他の実験

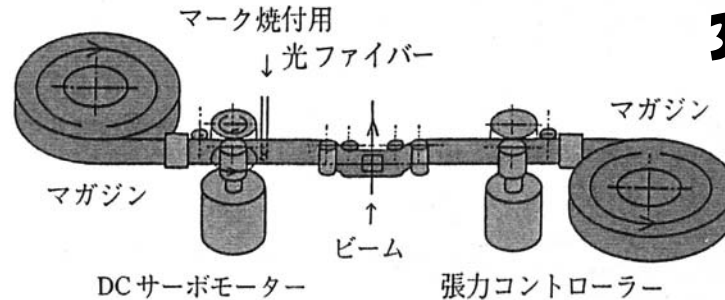
1987年岐阜へ

FNAL E653実験 (1987~) …もっとbeautyを

エマルジョンテープの断面



エマルジョンテープ駆動機

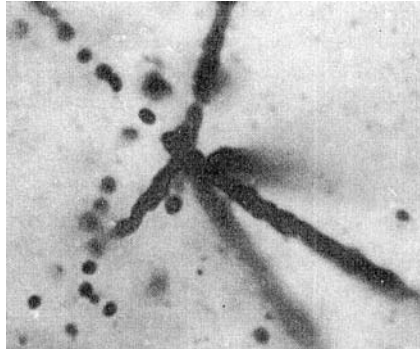


30kgのトランク

図10 エマルジョンテープ

KEK E176実験 (1988~) …ダブルハイパー核を見たい

S.Aoki et al, PTP.85(1991)1287



in ~80 Estops

気球実験 (1989~) …一次宇宙線中の超重核(?) 発見

地下ラドンガス測定 (1987~) …地震の前兆現象か(?)

1991年 仲澤 “悟る” …もっとダブルハイパー核を

E176

Ξ -nucleus potential well depth : U_0

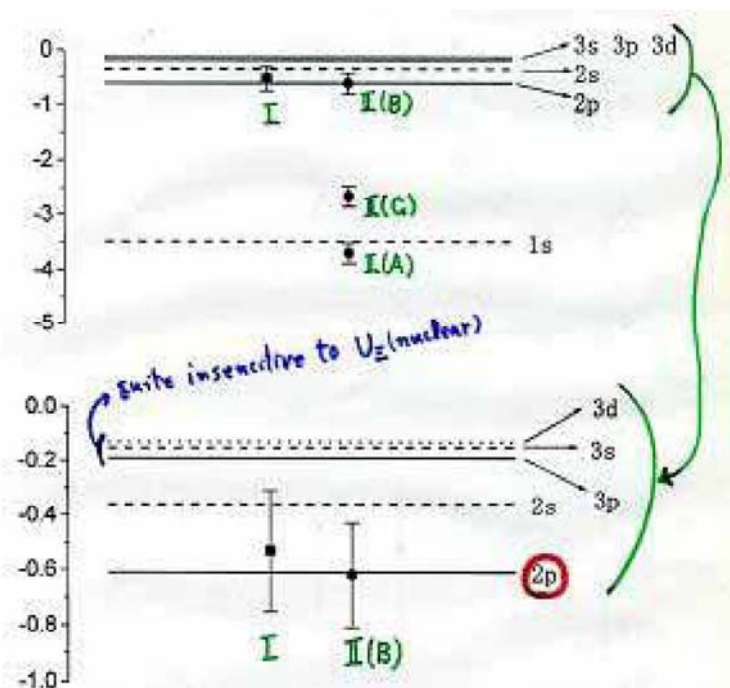
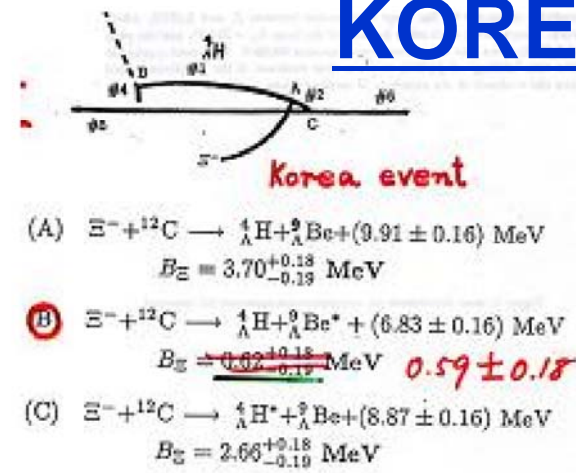
n

p

Λ YOKOHAMA event



KOREA event



If 2p bound states
 $U_0 \sim -16 \text{ MeV}$

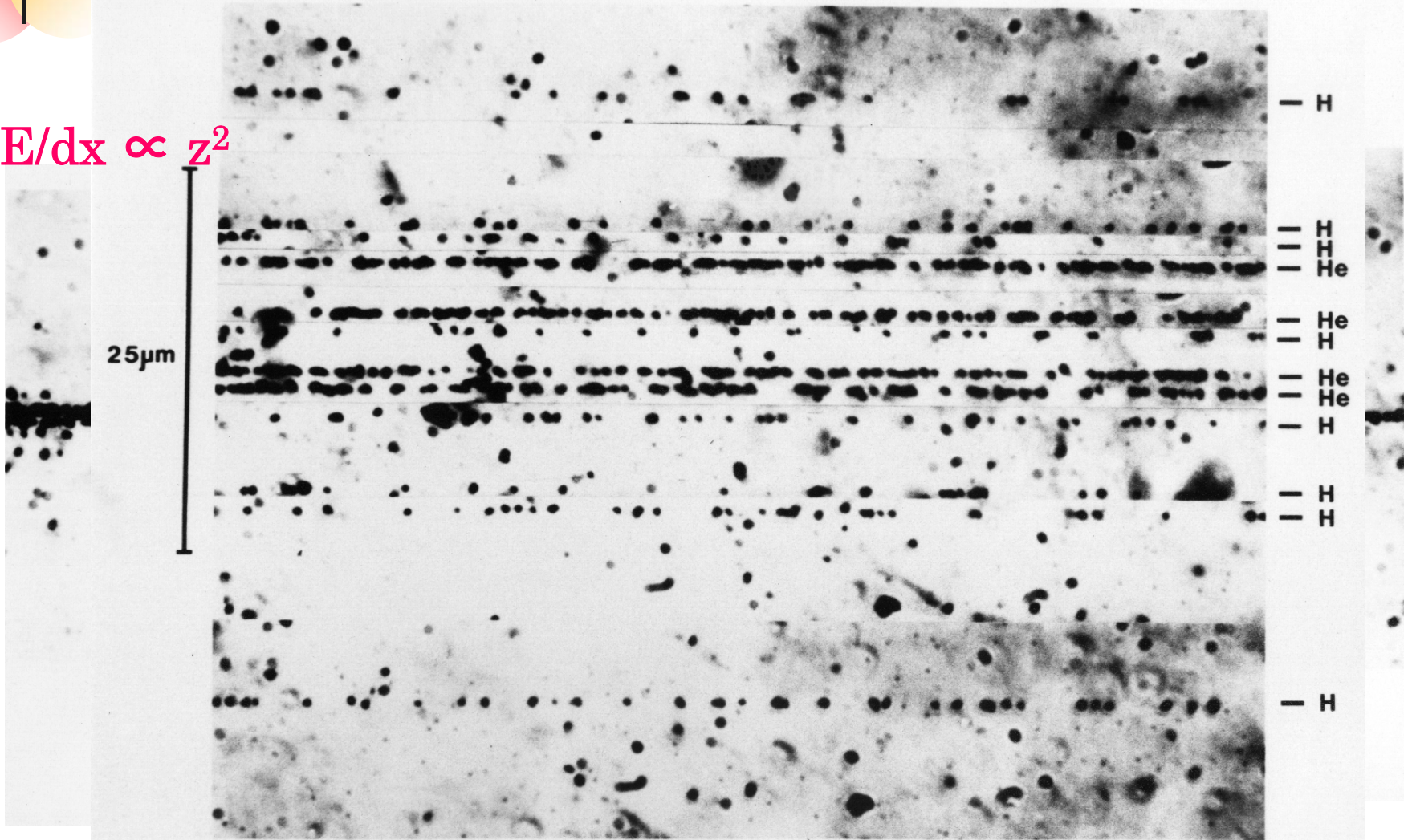
電磁氣的相互作用 [電磁氣的破碎現象]

$$dE/dx \propto z^2$$

25 μ m

20mm from origin

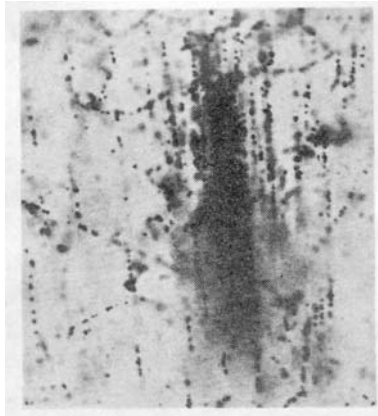
— H
— H
— He
— He
— He
— He
— H
— H
— H
— H



3-1. 原子核乾板取扱い手法の開発

出身 : 東北大・泡箱(ホログラフィー)・・・チャーム粒子

1983 : 弘前・修士・・・宇宙線観測(ECC)



エネルギー決定のためのshower count

大抵熟練者が多くカウントできる

==> 誰でも同じ数になるべき!!

1. 乾板の膨潤(乾燥したトコロテン)

薄くなって“寝た”飛跡を立たせる

・凍結乾燥後、種々の薬品注入

教育学部・家政学科

医学部・内視鏡手術

2. 輝度反転画像の取得

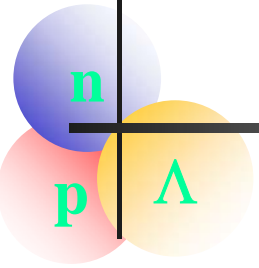
ファイバーによる落射光源

1983 : 名大で発表後、研究室「図書室」の住人となる

1984 : 名古屋へ引越し(委託学生[ただし制度はない])

開発目標の変更

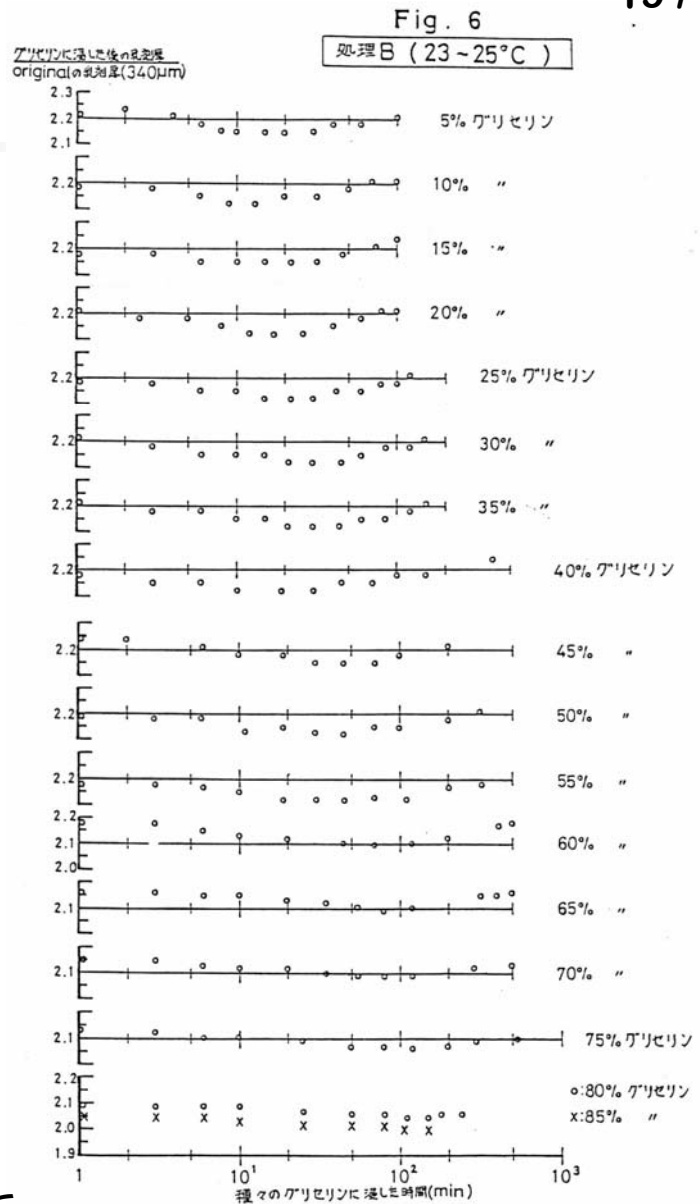
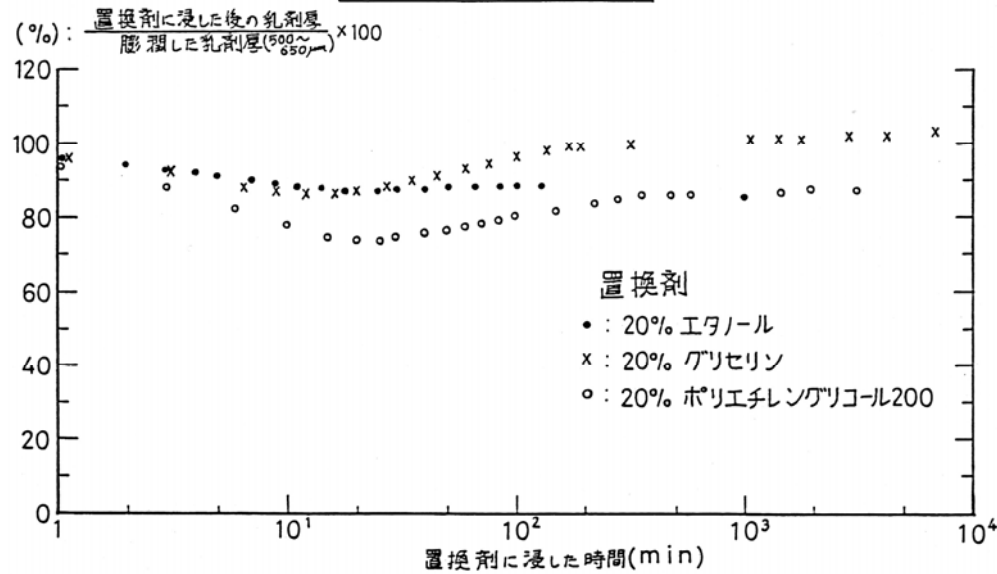
- 縮んで見えなくなった一つ一つの銀粒子の認識 => 膨潤
- 短距離の分岐点の識別 => 銀粒子を削り光らせる
- WA75実験(bottom探査)に適用



1. 膨潤 (静的置換)

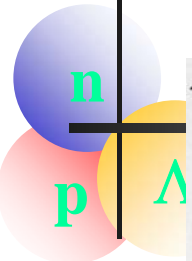
伸縮により飛跡が歪むのでは？

3種の置換剤に浸した後の乳剤の収縮(常温18~24°C)



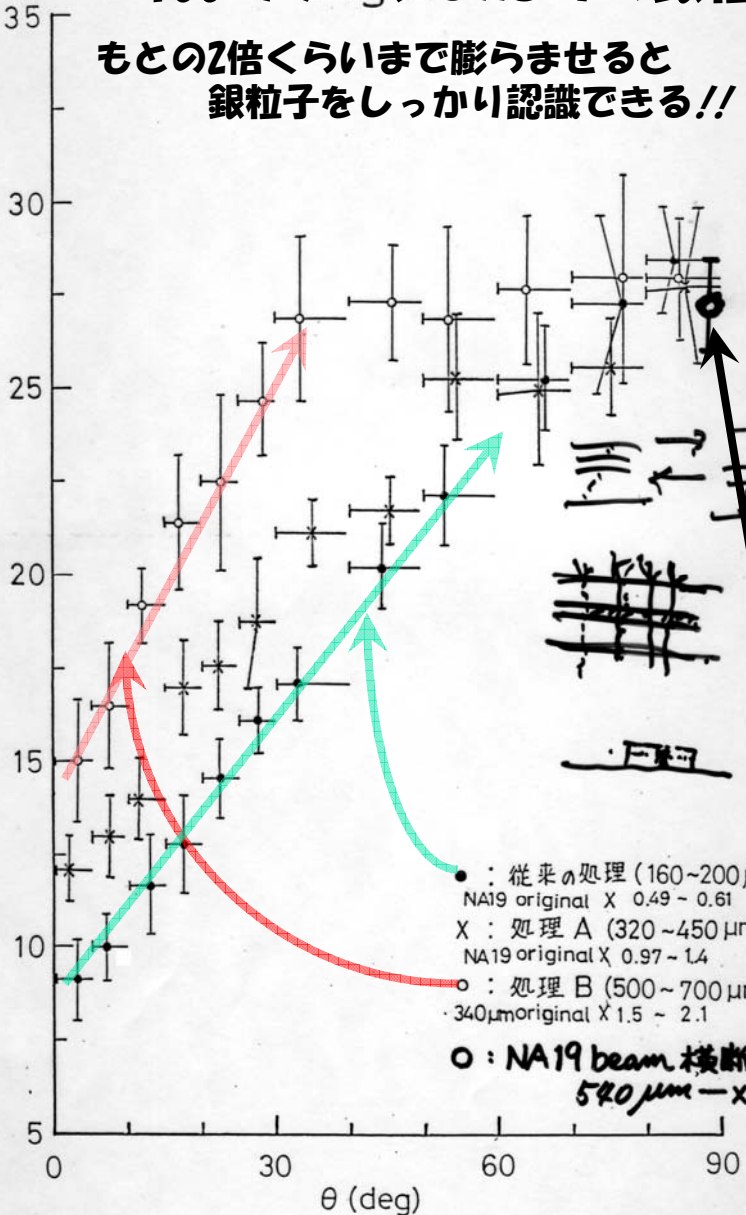
岐阜に着てからも続け約20種類の薬品(?)で試験した。
1997年、修士学生(女性)が完成。

3工程の処理後、グリセリンと砂糖の混ぜ具合で膨潤後の乾き具合を調整する。



No. of blobs
original 100 μ m **100ミクロンあたりの銀粒子数**

もとの2倍くらいまで膨らませると
銀粒子をしっかりと認識できる!!



一度縮むと銀粒子同士がくっつくので
膨らませても離れない!!
=> そんなことはしない!!

複雑な反応など、
切って観察できる

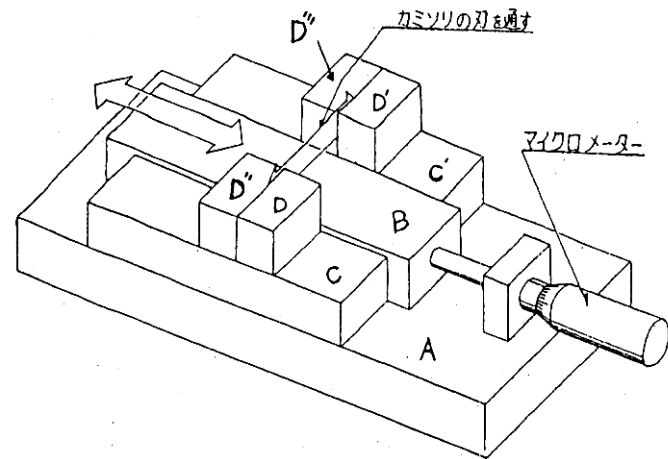


Fig.C14 Slice のジグ

貴重な事象などを含んで
厚み0.3mm以内でスライス
=> 手が震える
一般的に“男”はダメ

2. 銀粒子を削り光らせる

最初のうちは単に漂白剤に浸けた => 乾板表面に析出する銀の除去に利用

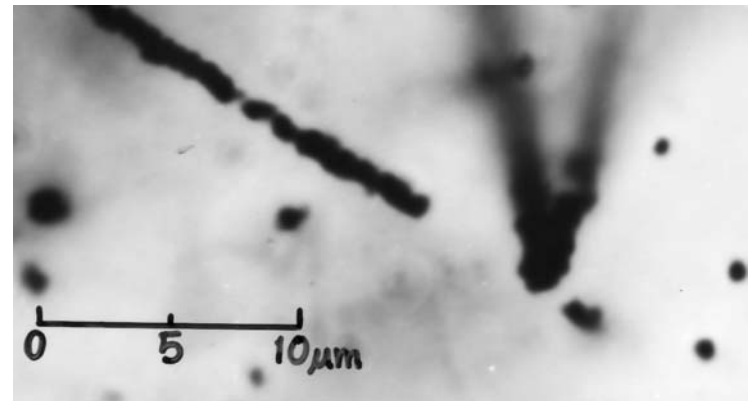


学部頃のホログラム技術を思い出す。

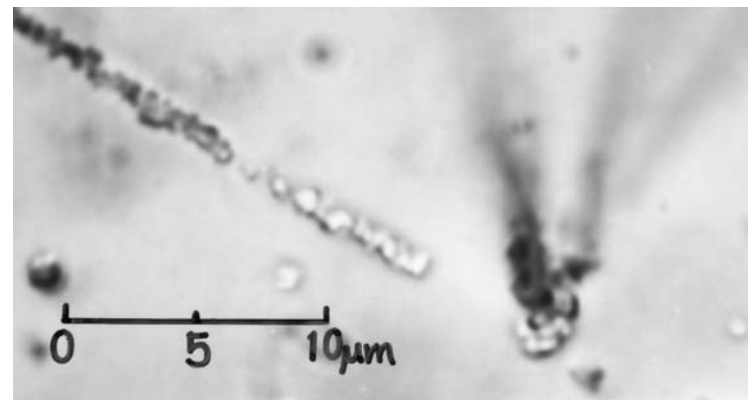
- ・ 塩酸で削り、
- ・ 重クロム酸アンモニウムなどで透明に

まだ、実用化に至っていない……
時間と温度の厳しい管理が必要

処理前



処理後



n

p

Λ

3. WA75実験に適用

未完成ではあったが膨潤技術はおおいに役立った。
1スタック25枚を膨潤

E176ダブルハイパー核実験では

10個以上の貴重な事象を、膨潤・スライス
確かなダブルハイパー核も

初めてのモニターTVでの探索に、涙・・・。



午前8時くらいから午後8時くらいまで顕微鏡に向かう
[中国・山西師範大学院生]

n

p

Λ

3-2. 飛跡探索の自動化

名大 [素粒子実験: straight track]

初代自動飛跡読取装置(1985年)



TS(Track Selector)(1994年)



NTS(New Track Selector)(1996年)



UTS(Ultra Track Selector)(1998年)



S-UTS 開発中
(Super-Ultra Track Selector)

岐大 [ハイパー核実験: dizzy track/半自動化]

1998 30Hz画像処理ボードの利用

2004 100Hz画像処理ボードの利用・超高輝度LED光源

200? 500Hz画像処理ボードの利用

岐阜大のシステム

A new microscope and system

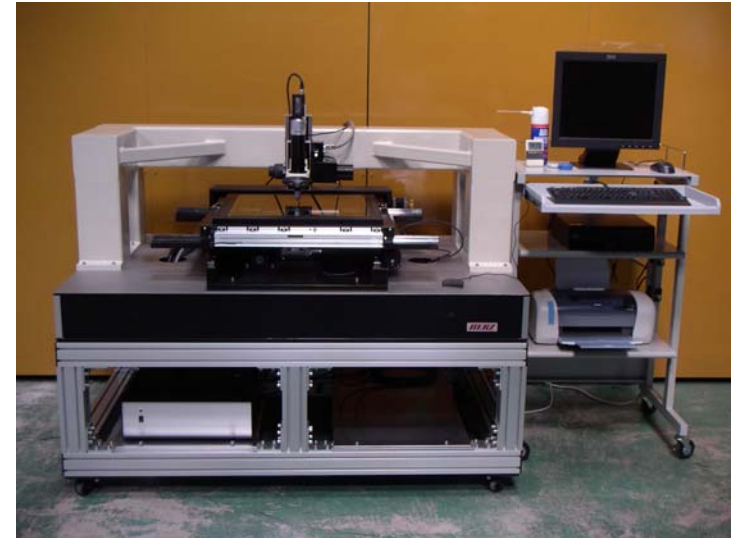
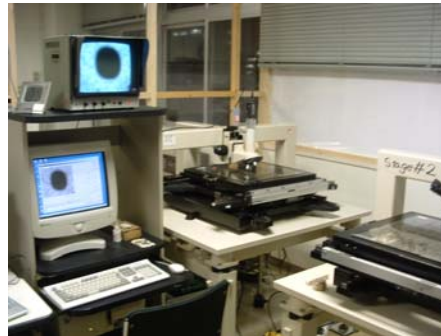
Area: $35 \times 35 \text{ cm}^2 \rightarrow 40 \times 40 \text{ cm}^2$

Light: Halogen Lamp \rightarrow High power LED (5W)

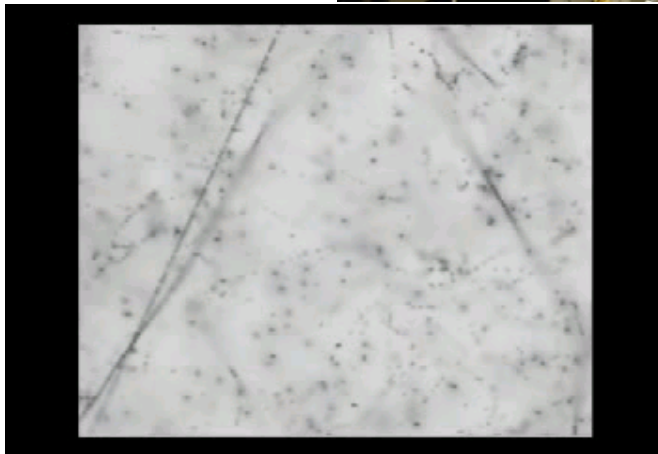
CCD Camera : 30 Hz \rightarrow 100 Hz

Images are shown:

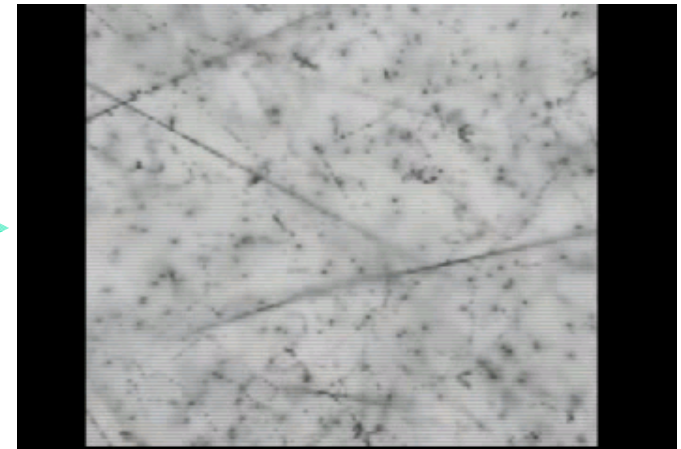
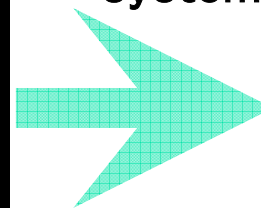
1. Surface detection
=> Grid measurement
for position calib.
2. Track scanning



Old system



Developed system



This system for re-scanning of E373.

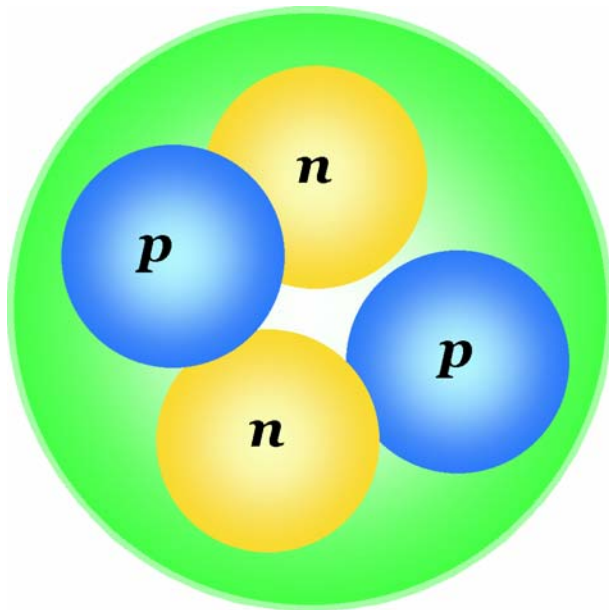
For **J-PARC** experiment : **100 Hz \rightarrow 500 Hz with CMOS Camera**

3-3. ダブルハイパー核実験 開発・成果

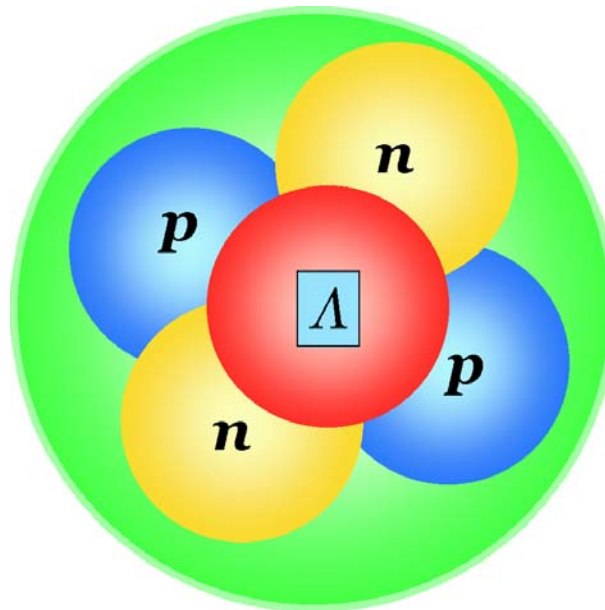
n
p Λ

What can be measured in Emulsion ?

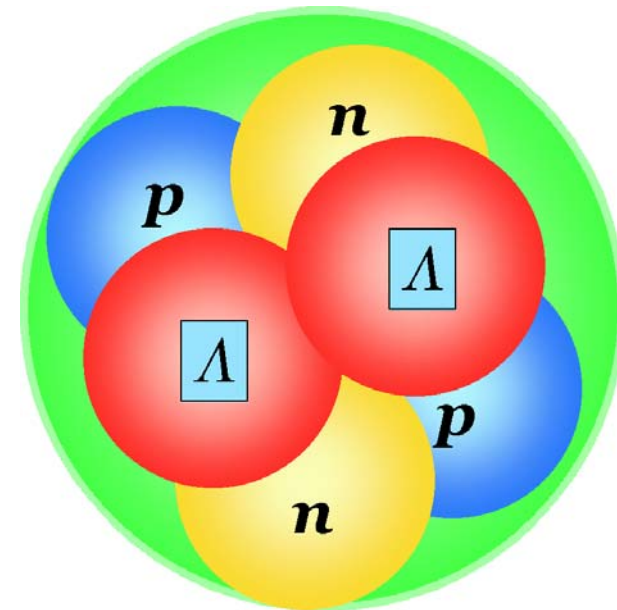
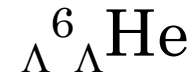
Normal nucleus



Single- Λ nucleus



Double- Λ nucleus



* Mass measurement of the nucleus

$$\rightarrow \Delta B_{\Lambda\Lambda} = B_{\Lambda\Lambda}({}^A_{\Lambda\Lambda}\text{Z}) - 2B_{\Lambda}({}^{A-1}_{\Lambda}\text{Z})$$

$\Lambda\Lambda$ -interaction energy

ex. $B_{\Lambda}({}^5_{\Lambda}\text{He}) \sim 3\text{MeV}$

n

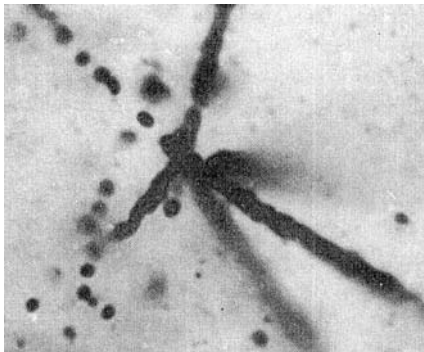
p

 Λ

Systematic Study of Double Strangeness System with an Emulsion-Counter Hybrid Method

KEK-E176

in ~ 80 Ξ stops



Double-Hypernucleus
with sequential decay
surely exists.

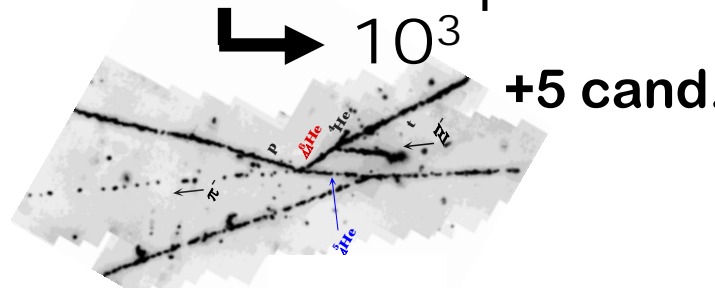
$${}_{\Lambda\Lambda}^{13}\text{B} \quad \Delta B_{\Lambda\Lambda} = 4.9 \pm_{0.8}^{0.7} \text{ MeV}$$

if a daughter ${}_{\Lambda}^{13}\text{C}$ is in excited
 $\Delta B_{\Lambda\Lambda} \Rightarrow \sim 0 \text{ MeV}$

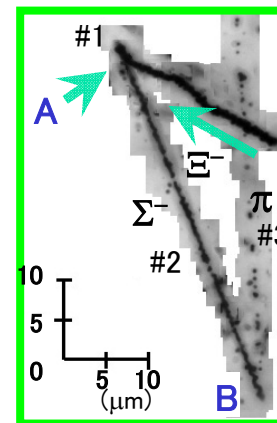
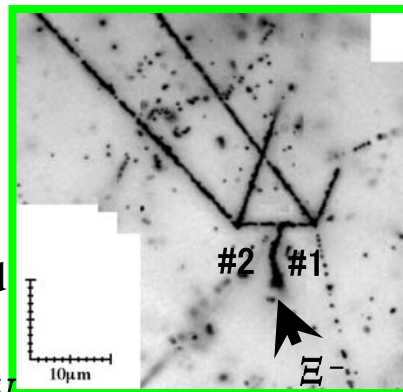
$${}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be} \quad \Delta B_{\Lambda\Lambda} = -4.8 \pm_{0.8}^{0.7} \text{ MeV}$$

KEK-E373

in ~ 600 Ξ stops
 $\hookrightarrow 10^3$
+5 cand.



$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 1.01 \pm 0.20 \text{ MeV}$$



J-PARC:E07

$\sim 10^4$ Ξ stops

1. $\sim 10^2$ $S=-2$ nuclei
 $\Rightarrow S=-2$ nucl. chart
 \Rightarrow Int. energy
mass number dep.
2. Σ^- decay events
 $\Rightarrow S=-2$ mixing
and/or H-state
3. X-nucleus int.
 \Leftarrow Ξ atomic X-ray
 \Leftarrow Twin Hypernuclei
4. new phenomena ?

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)

NP04 The 3rd International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC

Organizing Institutes: High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

Strangeness Nuclear Physics Experiments
Nuclear/ Hadron Physics Experiments
Neutrino Experiments
Kaon Rare Decay Experiments
Muon Rare Decay Experiments
Physics with Low-Energy Anti-Protons

Aug. 2-4, 2004 at Tokai, Ibaraki, Japan
Aug. 24-26, 2004 at KEK (Neutrino session)
<http://j-parc.jp/NP04>

Contact:
toshiyuki.takahashi@kek.jp
takashi.kobayashi@kek.jp (Neutrino)

Local organizing committee
S. Nagamiya (KEK/JAERI, Chairperson)
K. Inai (Kyoto)
J. Imazato (KEK)
T. Kobayashi (KEK)
T. Komatsubara (KEK)
T. Nagae (KEK)
K. Nishikawa (Kyoto)
S. Sawada (KEK)
T. Takahashi (KEK, Scientific secretary)
M. Takasaki (KEK)
T. Yamataka (Osaka)



ブースター部の電磁石



50GeV加速トンネル内電磁石

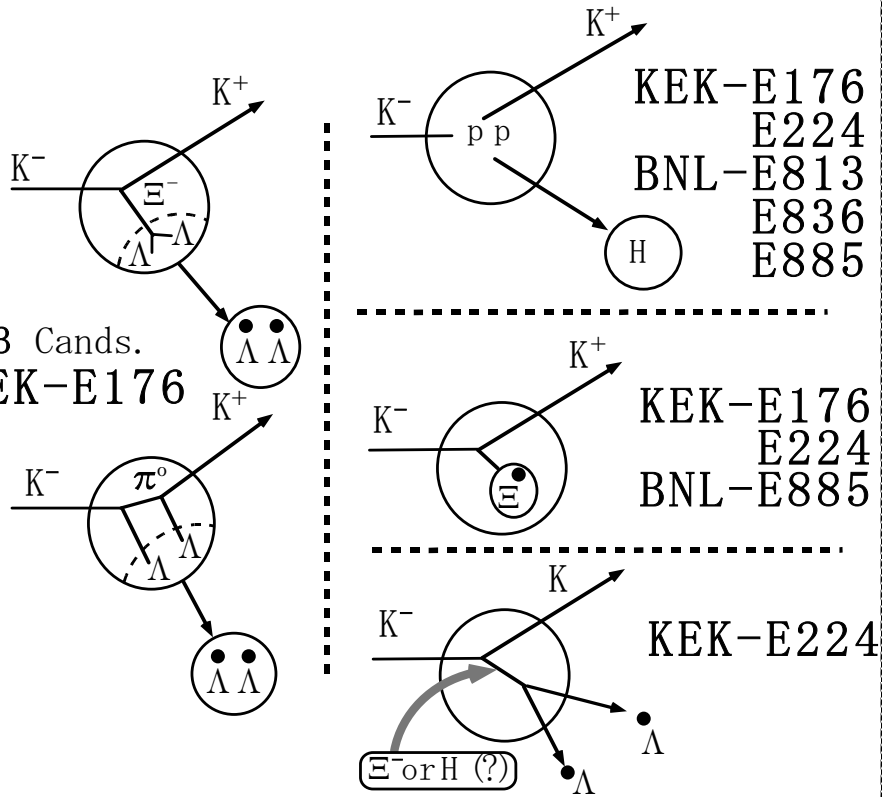
茨城県・東海村に建設中(2008年完成予定)

- $s=-2$ Ξ nuclei, $\Lambda\Lambda$ nuclei, ...
- $s=-3$ Ω nuclei, $\Xi\Lambda$ nuclei, ...
- $c=+1$ Λ_c^+ nuclei, ...
- penta-quark (s, c)

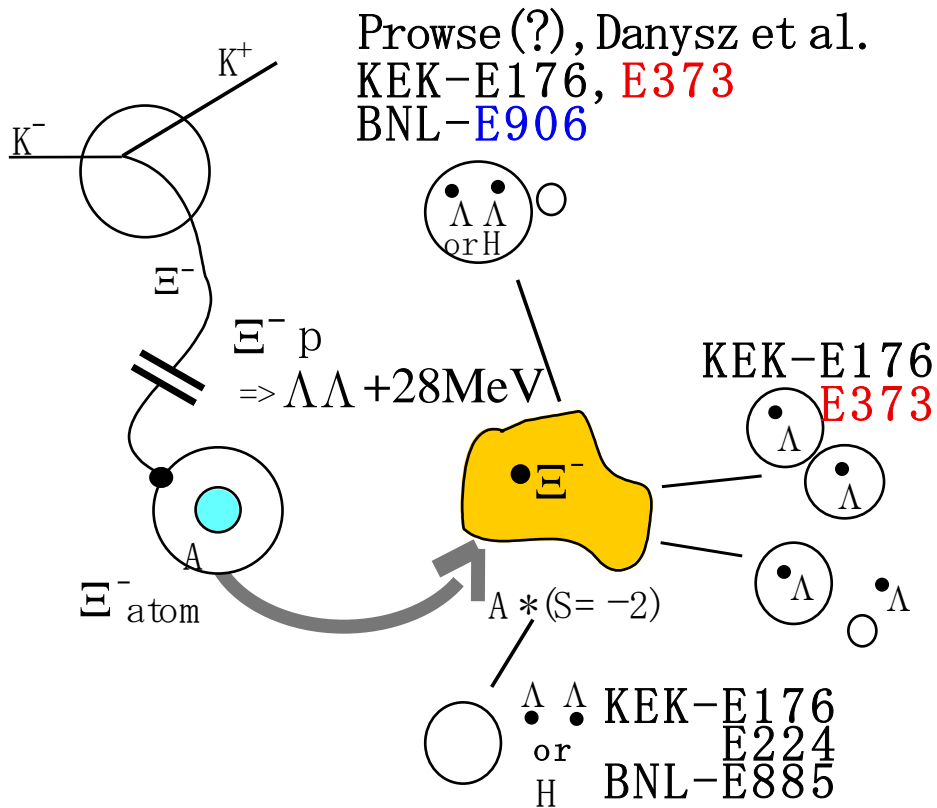
n How to produce S=-2 Systems

p Λ

Direct process



via Ξ atom



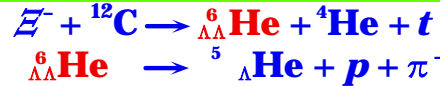
Observation of a Lambpha

Success of Emulsion detector with micro-meter accuracy

NAGARA event

${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ double-hypernucleus
Unique interpretation!!

2001



H. Takahashi et al.,
P. R. L. 87, 212502(2001)

Lambpha

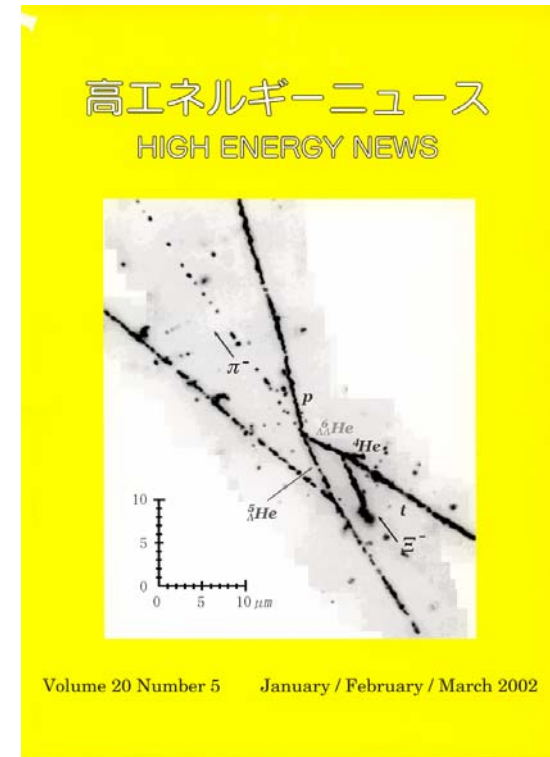
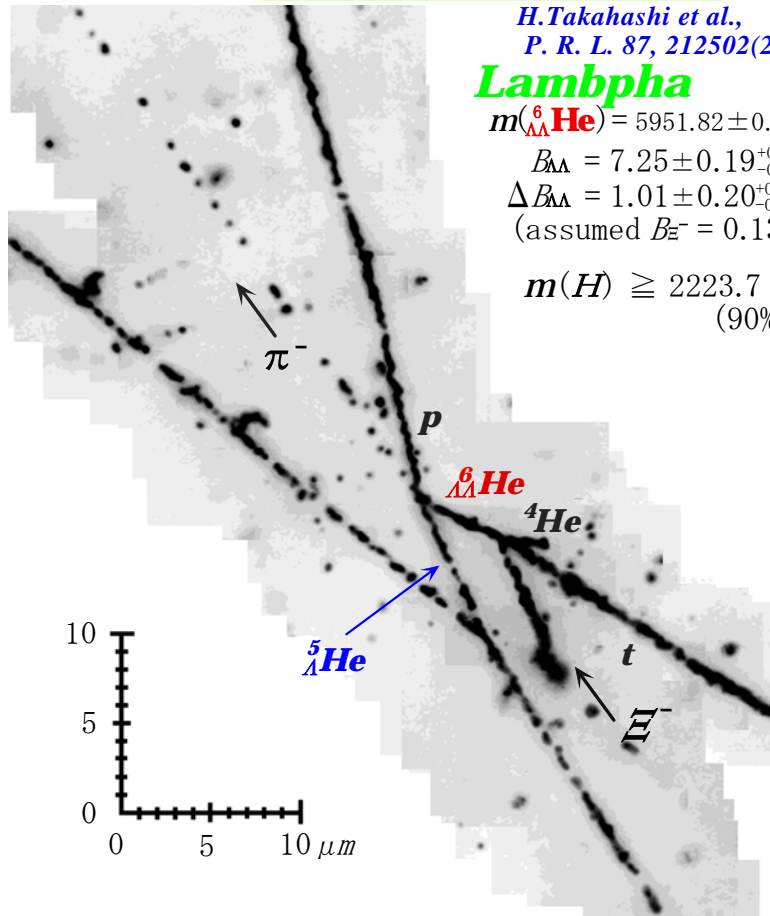
$$m({}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}) = 5951.82 \pm 0.54 \text{ MeV}$$

$$B_{\Lambda\Lambda} = 7.25 \pm 0.19^{+0.18}_{-0.11} \text{ MeV}$$

$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 1.01 \pm 0.20^{+0.18}_{-0.11} \text{ MeV}$$

(assumed $B_{\Xi^-} = 0.13 \text{ MeV}$)

$$m(H) \geq 2223.7 \text{ MeV}/c^2 \quad (90\% \text{ C.L.})$$

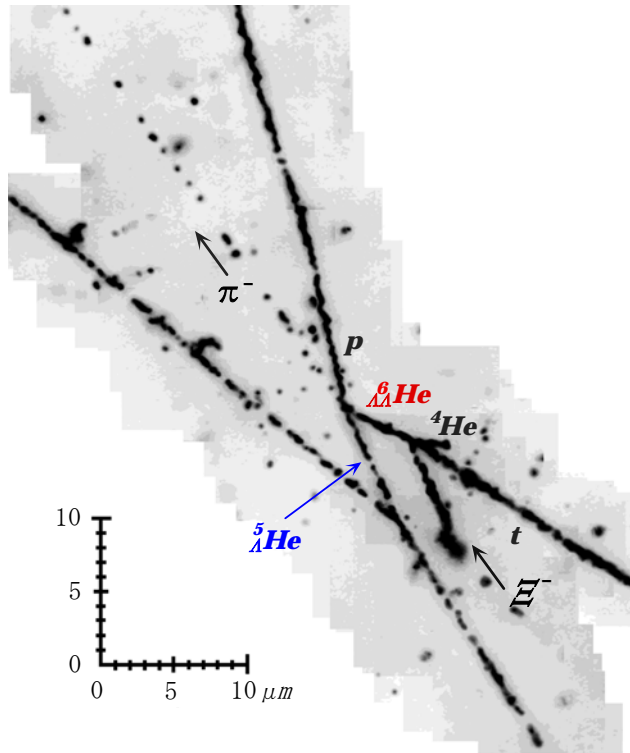
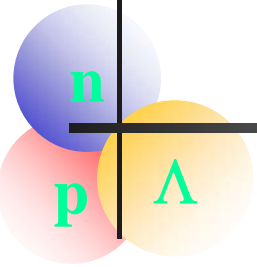


“ the most significant result of the past 5 years in hypernuclear physics. ”

Final Report of the 2004 KEK PS

External Review Committee (August 30, 2004), p5.

NAGARA event



n
p
A

平成14年1月10日(木)読売新聞朝刊 岐阜地域[24面]

(第三種郵便物認可) 2002年(平成14年)1月10日(木曜日)



学長表彰を受ける岩田陽助さん

超原子核の質量計測に成功 大学院生を学長表彰

岐阜大教育学部の仲沢和学(わづなわづな)らのグループが超原子核の質量計測に成功し、研究チームの員として、研究に貢献した同大学院教育学研究科一年の岩田陽助(ひろたひろた)さん(24)が九日、黒木登志夫学長から学長表彰を受けた。研究成果は昨年十一月に米物理学会の専門誌「フィジカル・レビュー・レター」に掲載された。

超原子核は通常、陽子と中性子でできている原子核にラムタ粒子と呼ばれる素粒子を二つ入れた特殊な原子核。ラムタ粒子の間に働いた力を調べると、星の進化の

雪のけが61人、停電3160戸

県は九日、正月寒波以降の雪の被害状況をまとめた。白鳥、八幡町を中心に三十三ヶ所、道路が通行止め。傷者十二人のうち八件は同県で深刻な被害が出た。孤立世帯も美山、八幡町で二六世帯も孤立している。また、道路も郡上地方を

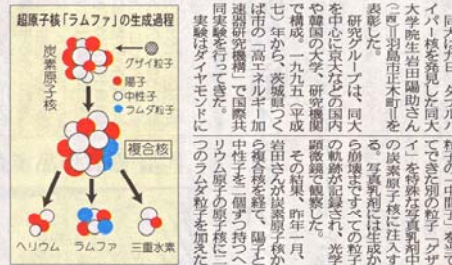
最終過程でできる中性子星の解明に役立つことが期待される。同大学院チームは一九九五年から東京や韓国の大学などのチームと合同で、高いと激励。岩田さんはエネルギー加速器研究機構「物理の最先端の研究が(茨城県つくば市)の実験まで大変うれい。これからは実験中、超原子核ができたらを最初に見つけるなど、中心的役割を果たした。

3社を指名停止
9社を入札停止
岐阜市興など

平成14年1月10日(木)岐阜新聞朝刊 社会面[26面]

14年1月10日 木曜日 岐阜 岐阜 岐阜 岐阜

超原子核の質量測定に成功 岐阜大の研究グループ



発見者の院生を表彰

同は九日、ラムファ粒子の中間子を使ってイオン核を捉えた。この中間子を使って超原子核をつくりだす。その質量を測定し、その結果を公表した。星の成り立ちの解明に重要な役割を果たす。その質量を測定し、その結果を公表した。星の成り立ちの解明に重要な役割を果たす。

星の寿命解明へ新たな光

星の寿命の解明に重要な役割を果たす。その質量を測定し、その結果を公表した。星の成り立ちの解明に重要な役割を果たす。

拍手でイレブン出迎え



生徒や教諭らが拍手で出迎える中、堂々とした姿で歩く選手たち。9日午後4時13分、羽島郡笠松町常盤町、岐阜工業高校



発行所 岐阜新聞社
岐阜市今小町10番地
電話058-264-1151(代)
FAX058-8377(専用番号)
©岐阜新聞社 2002

救急指定
河村病院
●内科 ●整形外科 ●皮膚科
●泌尿科 ●産婦人科 ●小児科
●眼科 ●耳鼻咽喉科 ●歯科
●消化器科 ●泌尿器科 ●脳神経外科
●リハビリテーション科
岐阜市河原大橋町
TEL058-241-3311

きょうの紙面
超原子核の質量測定に初成功
27 23 18 3

n

p

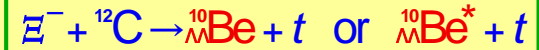
 Λ

Double- Λ hypernuclei from E373(KEK-PS)

2001

Demachi-yanagi event

* **two body** case at point A

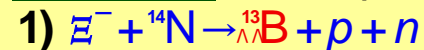


$$\Delta B_{\Lambda} : -1.14 \pm 0.19 \text{ or } +1.86 \pm 0.19 \text{ MeV}$$

$$B_{\Lambda} : 12.29 \pm 0.17 \text{ (excited) MeV}$$

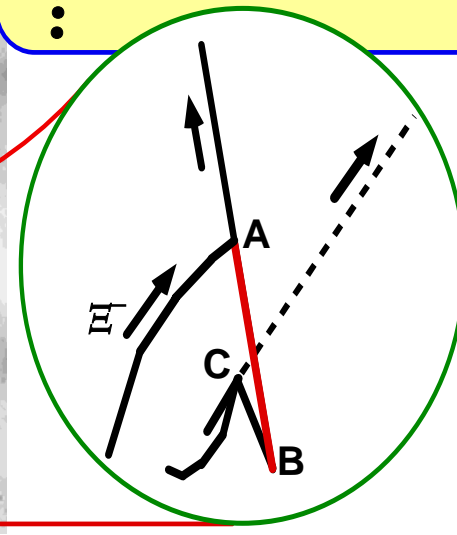
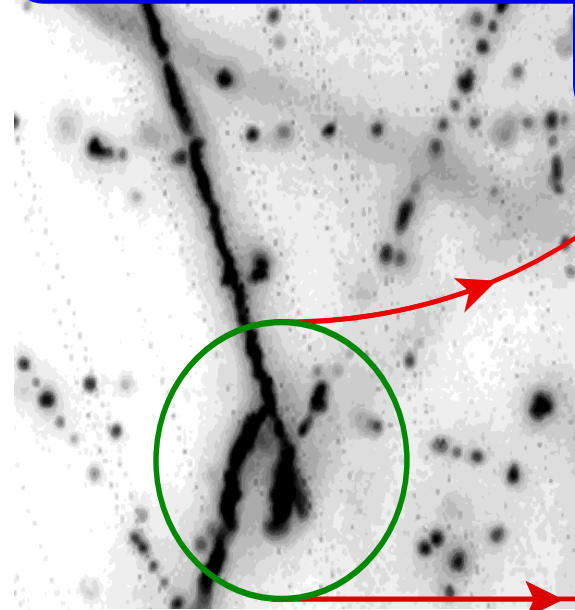
$$15.29 \pm 0.17 \text{ (ground) MeV}$$

* **three body** case at point A



$$\Delta B_{\Lambda} : +1.47^{+2.4}_{-0.7} \text{ MeV}$$

⋮



n

p

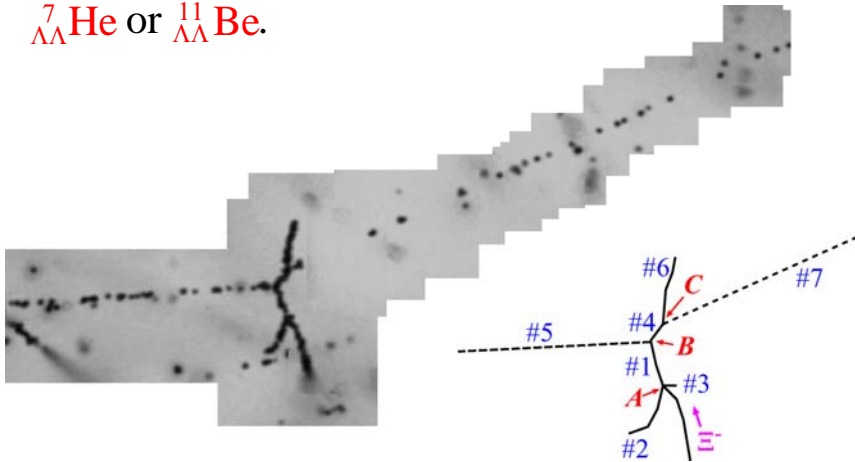
 Λ

Candidate events of double-hypernucleus from E373

2002

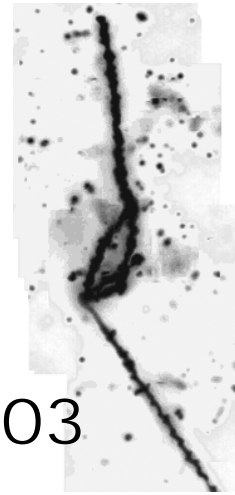
3rd double- Λ hypernucleus

Nuclear species of the double- Λ can be ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$,
 ${}^7_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ or ${}^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$.

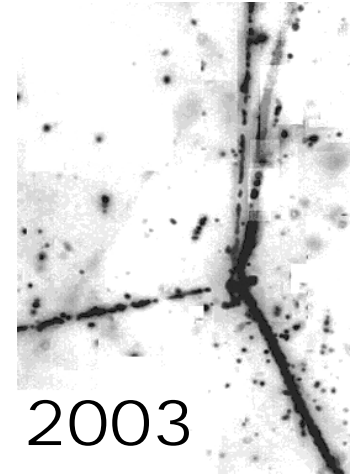


Analysis in progress

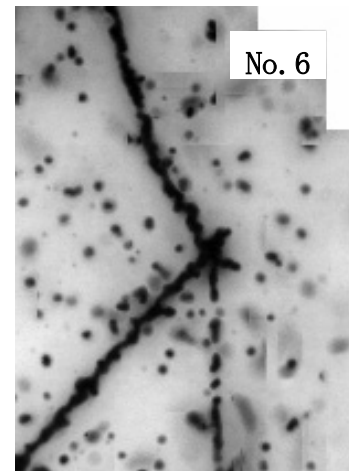
2003



2003



2004

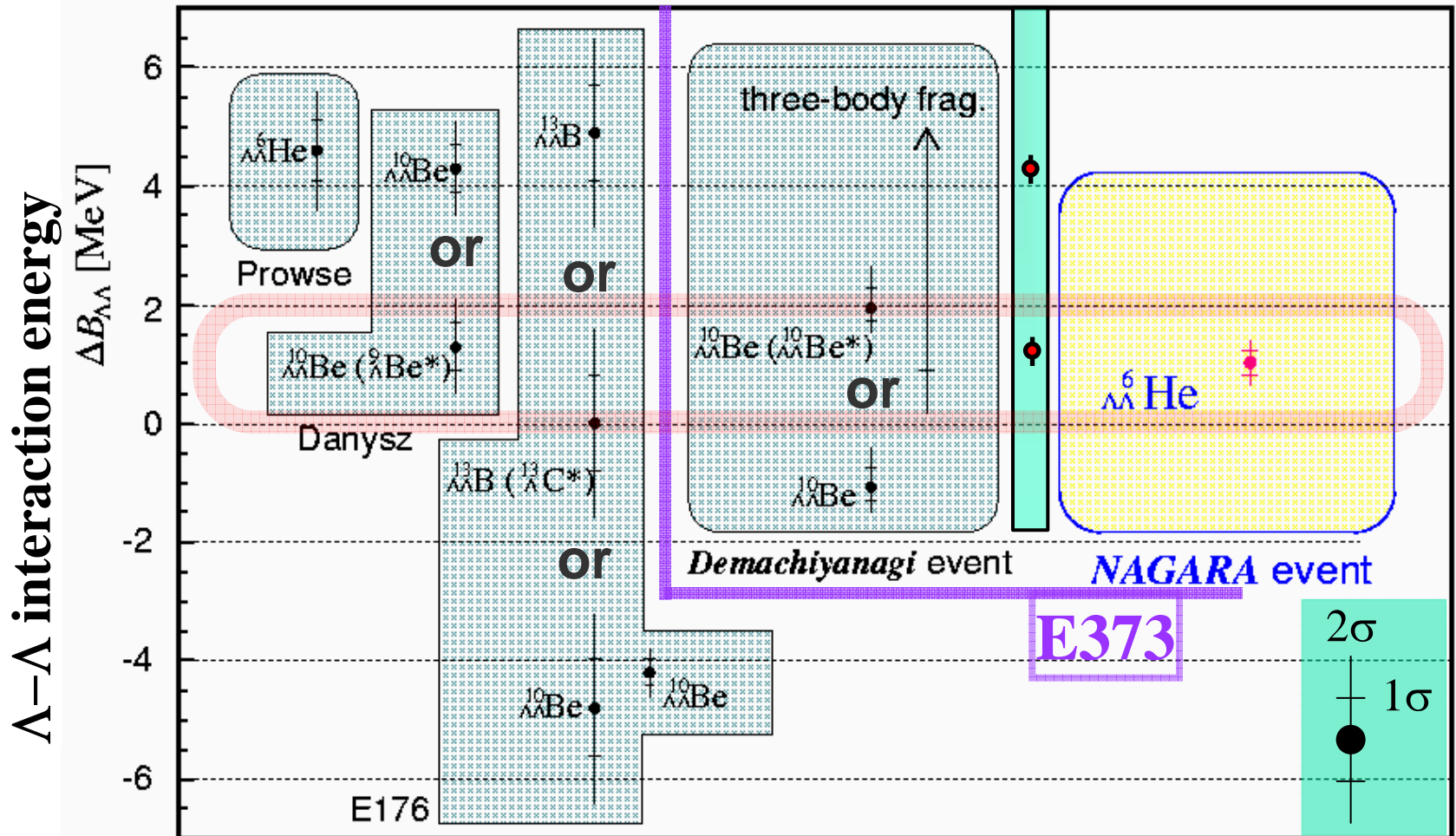


	Reaction	$B_{\Lambda\Lambda}$ (MeV)	$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ (MeV)
(I)	$\Xi^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He} + p + {}^{10}\text{Be}$ track : (#1) (#2) (#3)	7.45 ± 0.21	$+1.21 \pm 0.21$
(II)	$\Xi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^7_{\Lambda\Lambda}\text{He} + {}^4\text{He} + p + n$ track : (#1) (#2) (#3)	12.65 ± 1.32	$+4.29 \pm 1.32$
(III)	$\Xi^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be} + {}^4\text{He} + p + n$ track : (#1) (#2) (#3)	25.48 ± 4.50	$+7.26 \pm 4.50$

Comparison with past results

Our knowledge for $\Lambda\Lambda$ int. until now.

$\Lambda\Lambda$ interaction is weakly attractive.



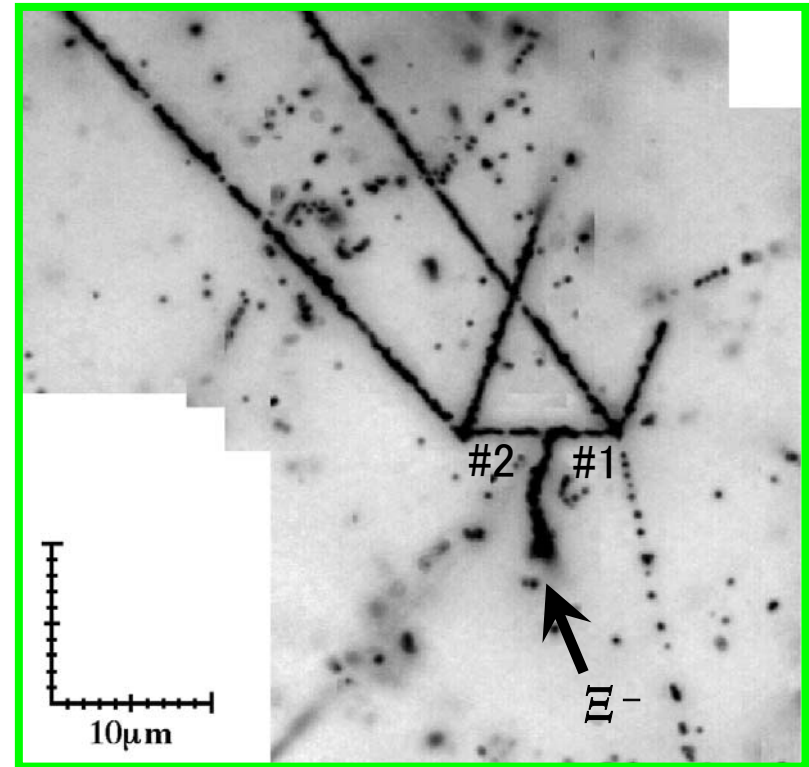
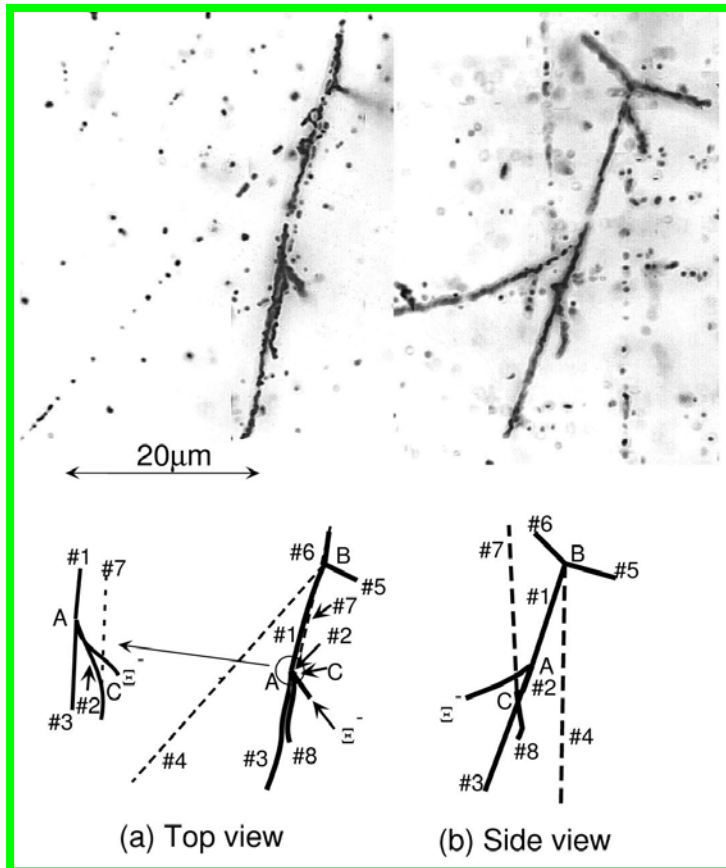
n

p

 Λ

Twin single- Λ hypernucleus

Xi- potential in nucleus can be obtained



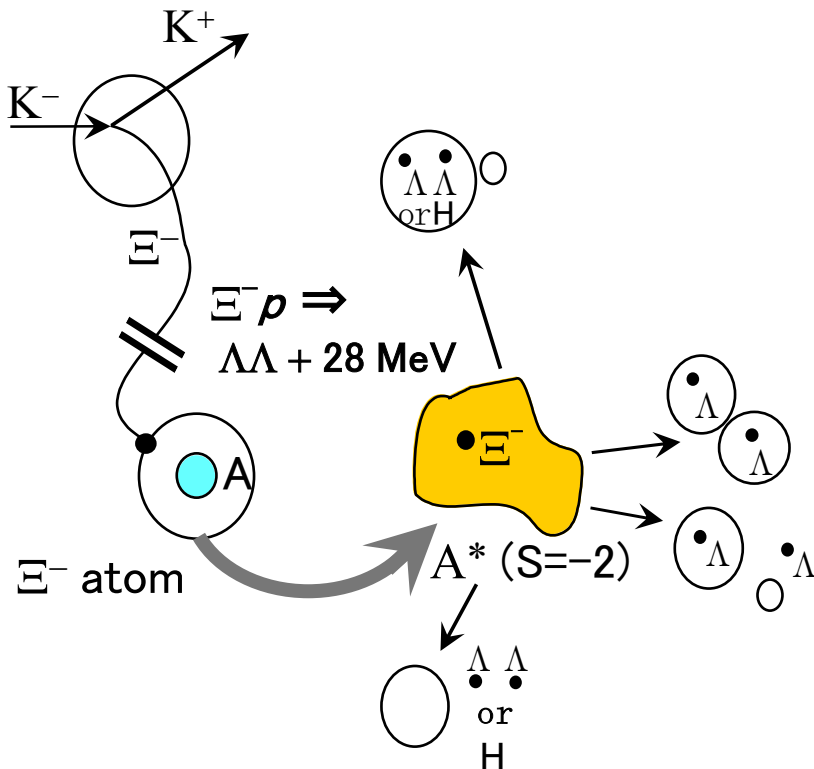
A.Ichikawa et al., Phys. Lett.B (2001)

Status of KEK-E373 experiment

[KEK-E176]

Ξ stop : 77.6 events,
single- Λ hypernuclei : 7 events

↔ • Double $-\Lambda$ hypernucleus (cand.) : 7
(• Twin single- Λ hypernucleus : 2)



Exp.	Single- Λ	Ξ -stop
E176	7	77.6
E373	46 (83%data)	??

Ξ^- capture at rest

570 (± 100) events

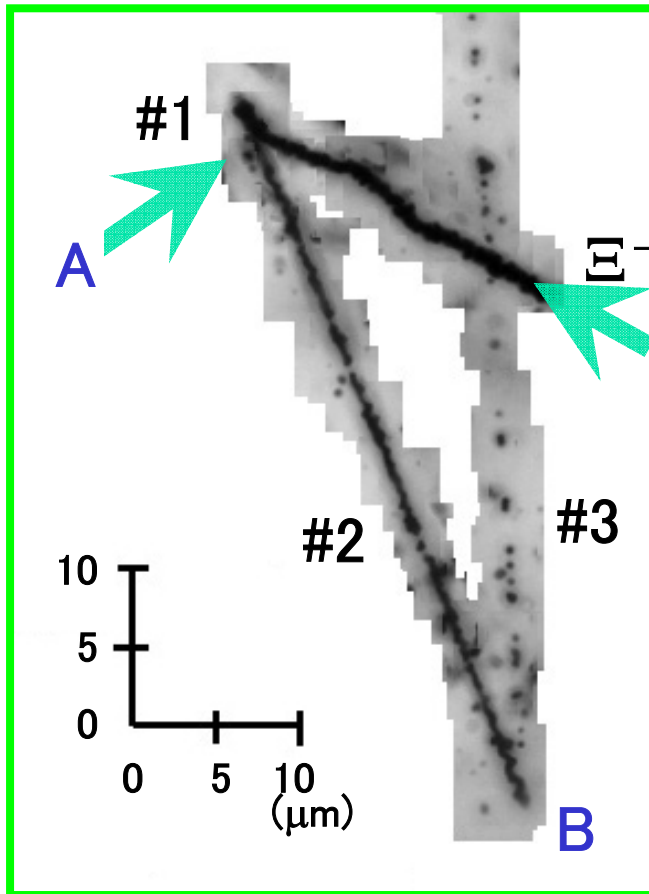
[preliminary]

Designed $\sim 10^3$ events

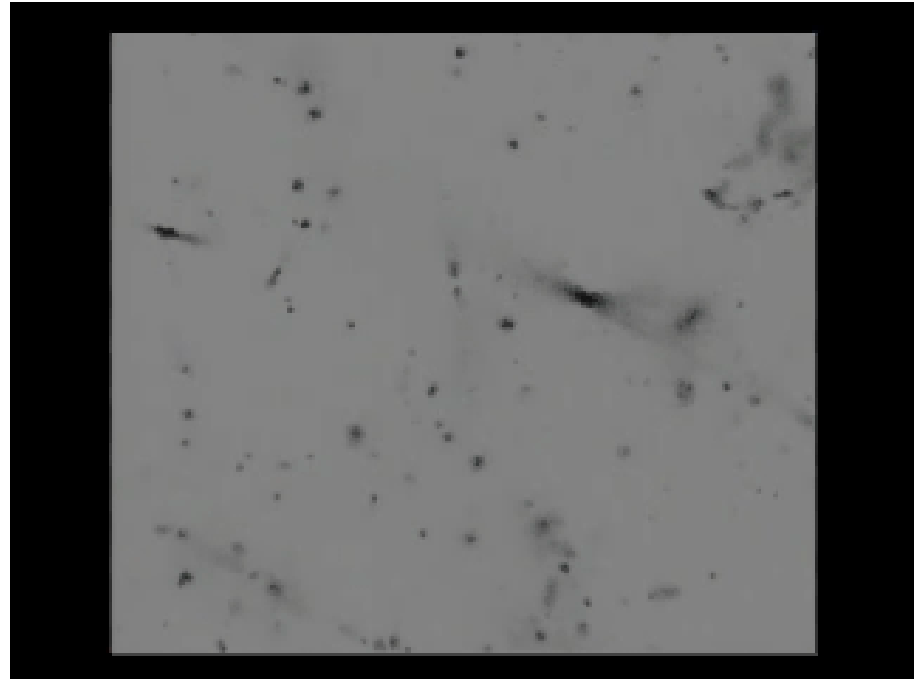
the difference comes from
the Automated Scanning Method.

\Rightarrow Rescan new candidate tracks
with the new system,
within two years.

A New-type event



#1	5.3 μm	
#2	56.6 μm	Decay angle #2 \rightarrow #3: $\theta = 153.48 \pm 0.43^\circ$
#3	15539 μm	Escaping from emulsion



Discussion

- The first observation of an event



Ξ^- capture at rest : 570 (± 100) events

\rightarrow **several tens'** S=-2 nuclei (estimated from KEK-E176)

Theoretical approach

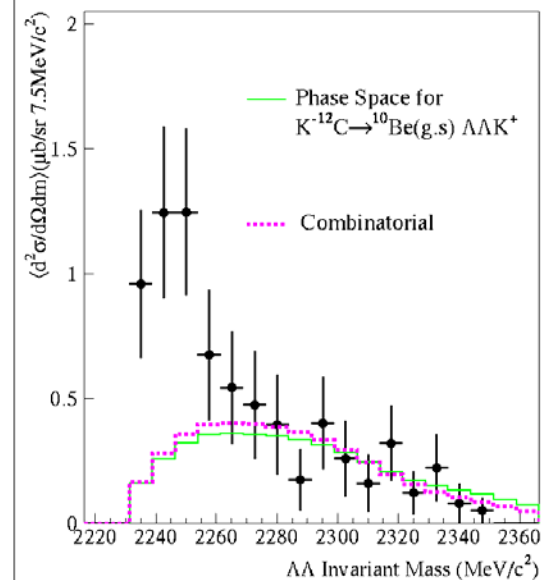
Decay rate ($\Lambda\Lambda \rightarrow \Sigma^- p$) for ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ [unit Γ_{Λ}].
 (NOT H-dibaryon)
 $\sim 10^{-3}$

References:

- 1) K. Itonaga, T. Ueda and T. Motoba; NP. A691 (2001) 197
- 2) A. Parrreno, A. Ramos and C. Bennhold; PRC65 (2002) 015205
- 3) K. Sasaki, T. Inoue and M. Oka; NP. A726 (2003) 349
- [4] H. Nemura, S. Shinmura, Y. Akaishi and K. S. Myint PRL94 (2005) 202502]

Decay rate ($\text{H} \rightarrow \Sigma^- p$) : sveral $\times 10\%$ (?)

?? H-dibaryon resonance ?? (KEK-E522)



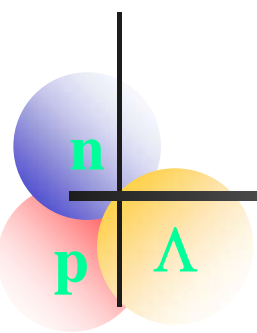
Invariant mass of $\Lambda\Lambda$ produced by
 (K^-, K^+) reaction in Scifi target.
 A peak is seen at the threshold.

E07

E07 Collaborators List

Kyoto: E.Hayata, M.Hayata, M.Hirose, K.Imai, S.Kamigaito, N.Saito, K.Tanida, M.Togawa, T.Tsunemi, C.J.Yoon
Gifu: M.Kawasaki, H.Nakamura, K.Nakazawa, K.T.Tint, T.Watanabe, K.Hosomi, T.Koike, Y.Ma, K.Shirotori, H.Tamura, M.Ukai
Tohoku: R.Hasan
AMU: R.E.Chrien
BNL: Y.Y.Fu, C.P.Li, Z.M.Li, J.Zhou, S.H.Zhou, L.H.Zhu
CIAE: J.Y.Kim
Chonnam: M.Y.Pac
Dongshin: T.Yoshida
Fukui: K.S.Chung, S.H.Kim, J.S.Song, C.S.Yoon
Gyeongsang N.: M.Ieiri, H.Noumi, M.Sekimoto, H.Takahashi
KEK: K.Hoshino, T.Kawai, B.D.Park, T.Sato, T.Watabe
Nagoya: N.Yasuda
NIRS: K.Yamamoto
OsakaCity: J.K.Ahn, S.Y.Ryu
Pusan: D.H.Zhang
Shanxi N.: C.Fukushima, M.Kimura, S.Ogawa, H.Shibuya
Toho: D.H.Davis, D.Tovee
UCL: Ed.Hungerfold
U.Houston: B.Bassalleck
U.New-Mexico:

20 Inst.
58 phys.



collaboration 20 Inst.

- **Emulsion** (making · development)
Gifu · Nagoya · NIRS · Toho · Aligarh Muslim ·
Chonnam · Dongshin · Gyeongsang · Sanxi ·
(KEK)
 - **Chamber & Counter**
Kyoto · Tohoku · Fukui · Osaka-City · KEK · Pusan ·
CIAE · Huston · New-Mexico · BNL
 - **Hyperball-J**
Tohoku · Kyoto · CIAE · KEK
- + U.C.L



Beam time & Emulsion treatment

(K⁻, K⁺) trigger

3×10^5 K⁻/spill (2sec.)

with **$K^-/\pi^- > 6$** at **K1.8 beam-line** (~20% of 9μA)

150 hours for detector tuning

and for beam exposure ... **600 hours** [KURAMA]

... **1200 hours** [SKS]

Emulsion plates' making

KURAMA 4 months // SKS 8 months

Emulsion plates' development (depends on *KAKENHI*)

KURAMA 6 months // SKS one year

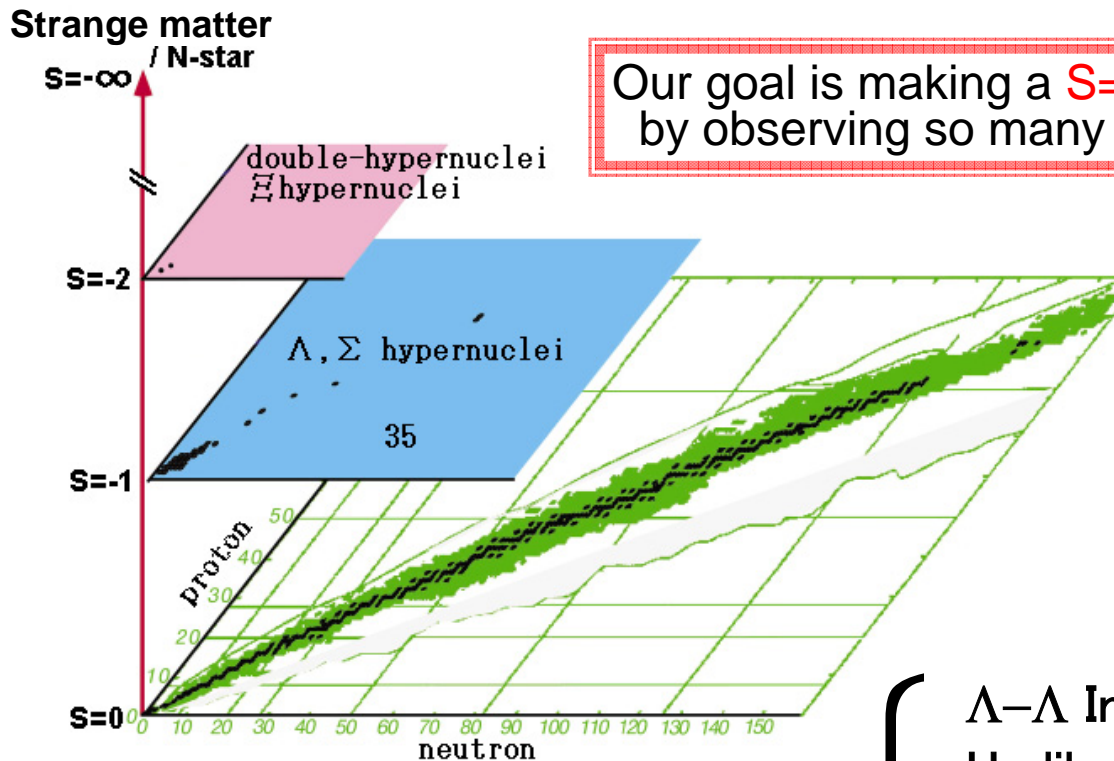
(one year)

(two years) <<== at ICRR

==> [SKS] It is suitable that beam time be separated in each year?

Motivation of the proposed experiment

- * detection of **10^2 or more candidate events** with $S = -2$,
 → identification of them in **at least 10** or more nuclear species.



Our goal is making a **$S = -2$ nuclear chart**,
 by observing so many nuclei with $S = -2$ as possible.

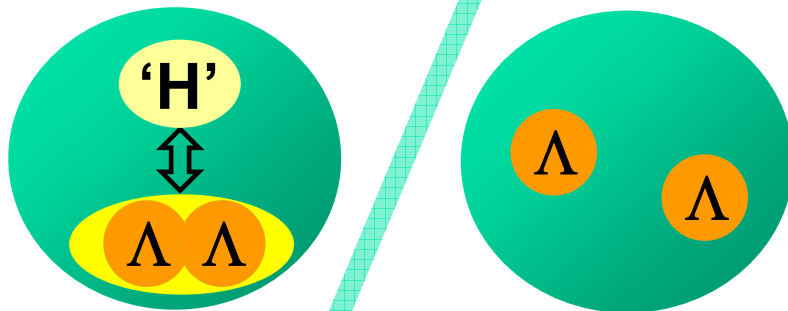
Λ - Λ Interaction,
 H-dibaryon,
 Ξ -Nucleus Interaction,
 Inside Neutron Stars (Quark-star?)

$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ & nuclear medium effect

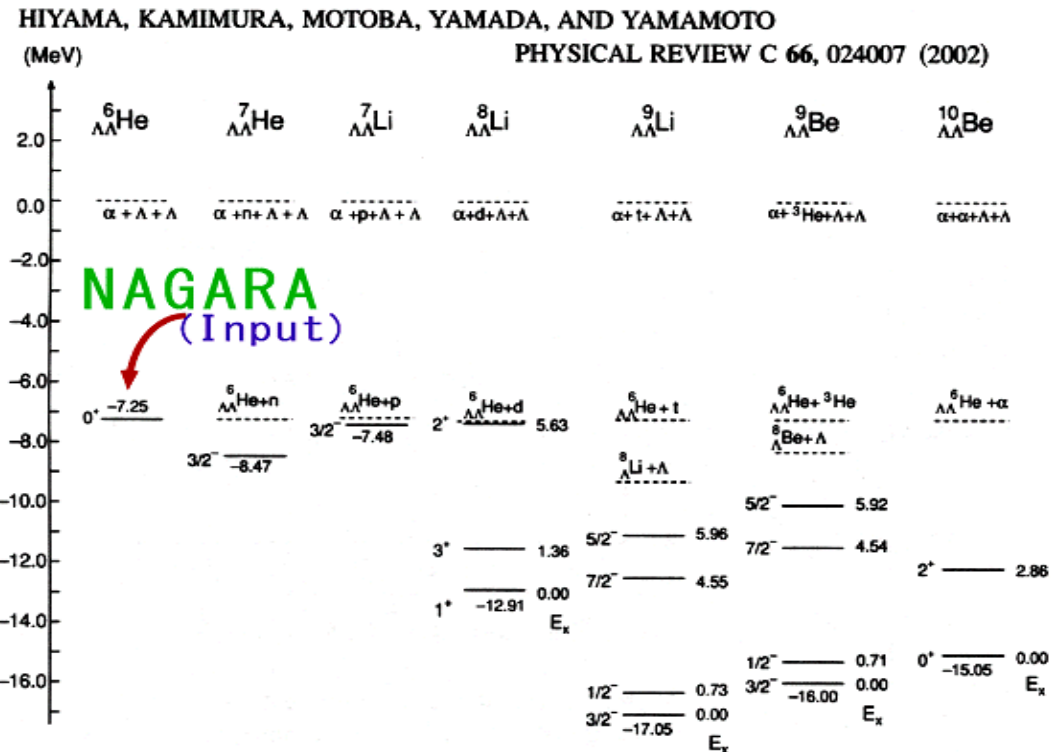
S=-2 nuclear system

Theoretical prediction

$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$
may NOT depend on A



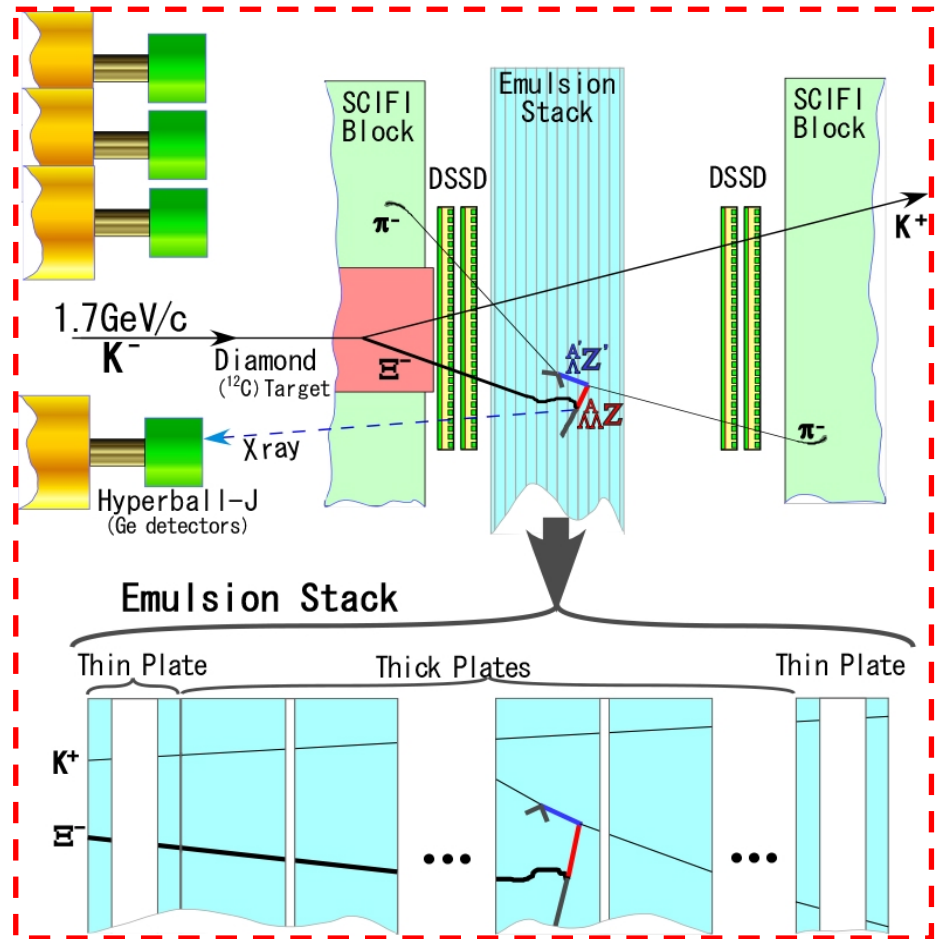
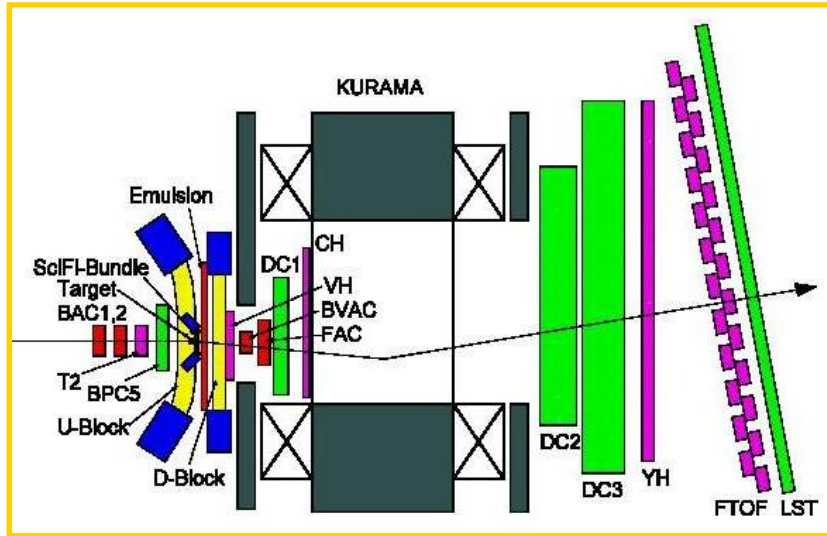
$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$
depends on A



To know $\Lambda\Lambda$ int. independent on the nuclear medium effect,
we have to measure **A-dependence** of $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$.

E07

Setup around the Target (proposal)



(K-, K+) trigger ==> 10^4 E-stop

3×10^5 K-/spill (2sec.) with $K^-/\pi^- > 6$ at K1.8 beam-line (~20% of $9\mu\text{A}$)

beam exposure ... 600 hours [KURAMA] with 190L emulsion

+ 150 hours for detector tuning

beam exposure ~ mid 2009(?)

開発1.

Scintillating-fiber blocks (KEK-E373)



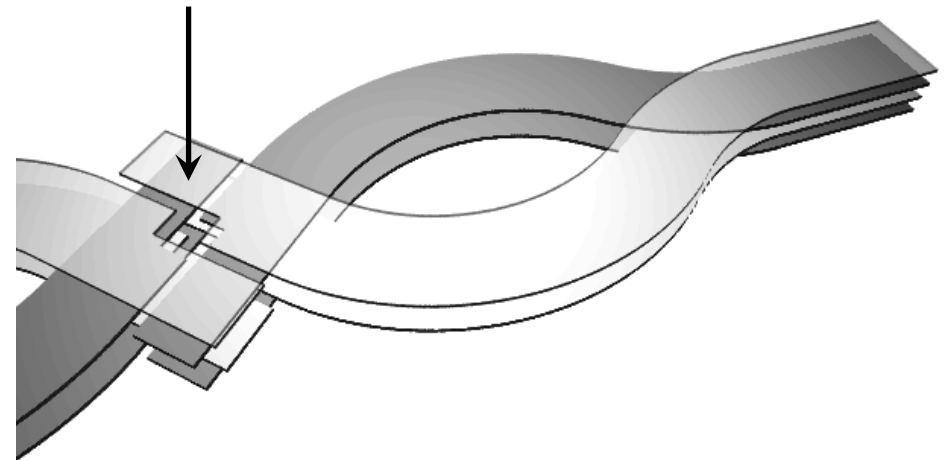
Readout with Image Intensifier Tube and CCD

Cross section of a fiber : **0.3 x 0.3 mm²**

Cross section of a block : **10 x 10 x 10 cm³**

There is almost NOT dead area.

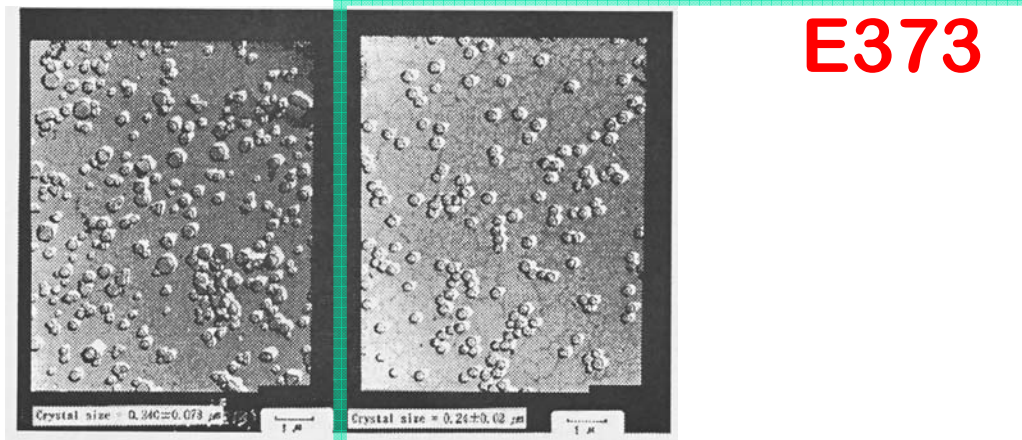
 **Diamond Target (2 x 2 x 3 cm³)**



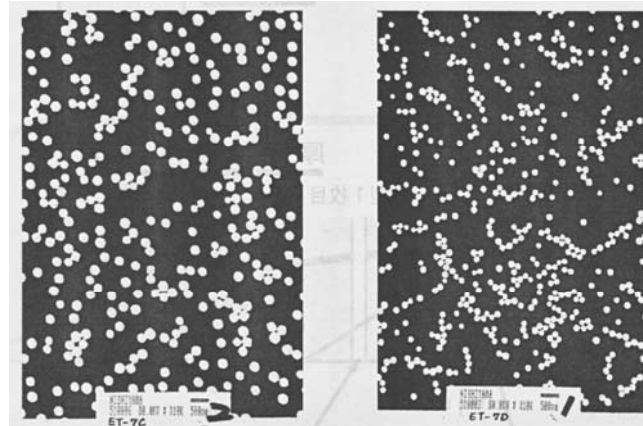
開発2.

Nuclear Emulsion (itself and treatment)

ET-7B (left) and ET-7C (right)



$0.24 \pm 0.078 \mu\text{m} \Rightarrow 0.26 \pm 0.023 \mu\text{m} \Rightarrow 0.176 \pm 0.015 \mu\text{m}$



ET-7C (left) and ET-7D (right)

n

p

A

Development of Emulsion Techniques

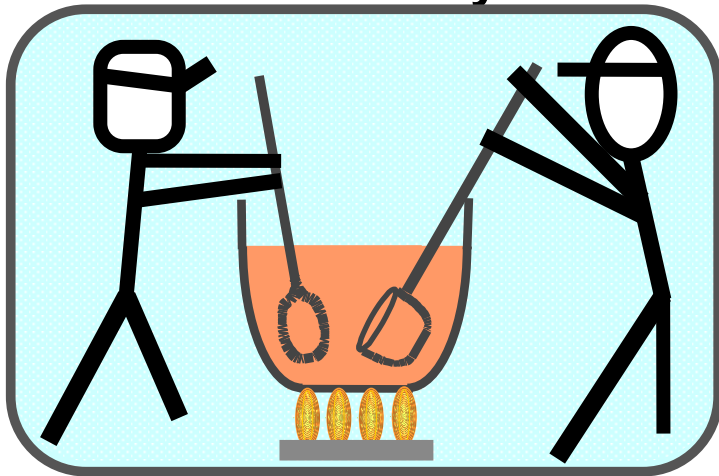
Production method of emulsion

Production method of Emulsion gel will be changed.

For E07, amount of emulsion gel => **2.6 tons**

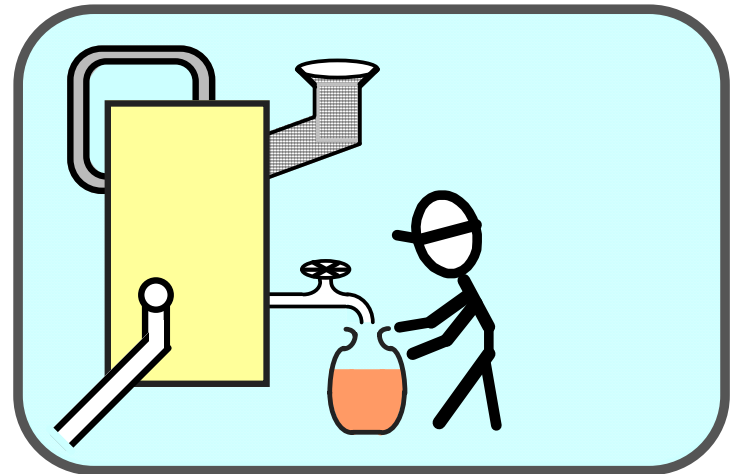
Fuji-film needs **one year** or more by conventional way.

**Conventional way
by hand**



Stopping power and physical
characteristic has been tested,
and the result showed no problem.

**Using the production lines
for commercial films**



**Emulsion cost
will be saved
50%**

R&D shall be continued !!

開発3.

n

p

Λ

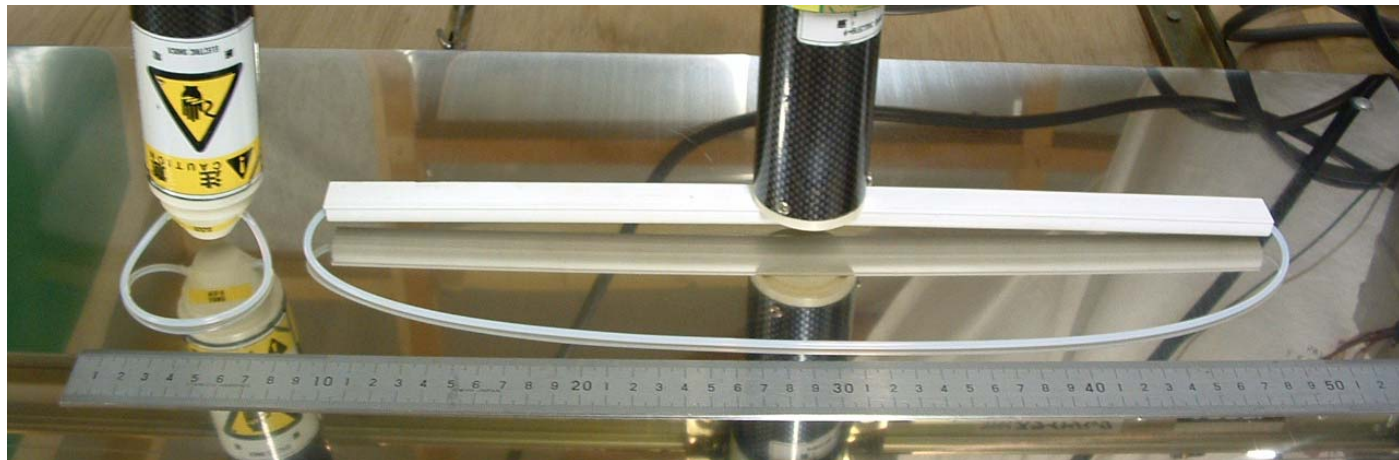
Surface pre-processing of PS-film

PS-film ($t = 200$ and $40 \mu\text{m}$) : support of the plate
size of film : $70 \times 70 \text{cm}^2$ [E373] $\Rightarrow 90 \times 90$ [J-PARC]

To get well wet surface of PS-film,
Corona Discharge was applied.

E373

J-PARC



開発4.

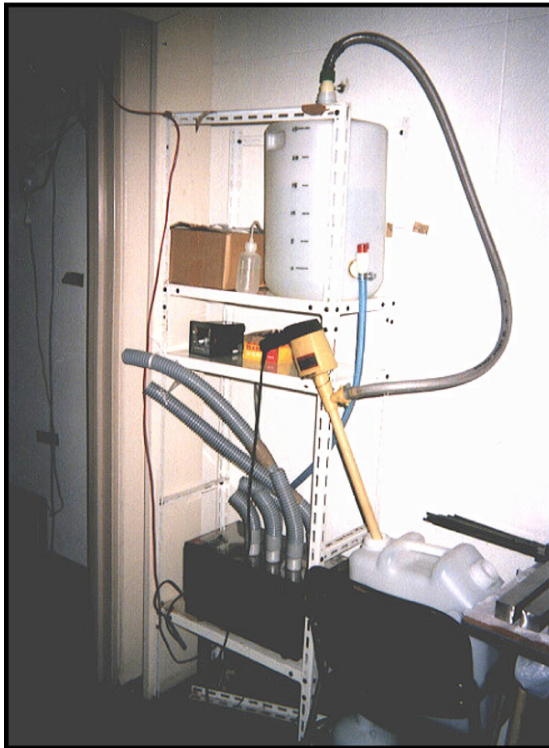
Pouring of the Gel

△ Poured area : $51 \times 51 \text{ cm}^2$ [E373] \Rightarrow $72 \times 72 \text{ cm}^2$ [J-PARC]

Thickness of dried emulsion : 0.1mm and 0.5mm[E373] or 0.45mm [J-PARC]

Puring room of Nuclear Emulsion

Humidifier



R.H. $75 \pm 5\%$



Emulsion gel, like pudding, is melted in the hot bath ($40 \pm 2^\circ \text{C}$) and poured on thin PS film on the stone bed.

開発5. Drying Cabinet of Poured Gel

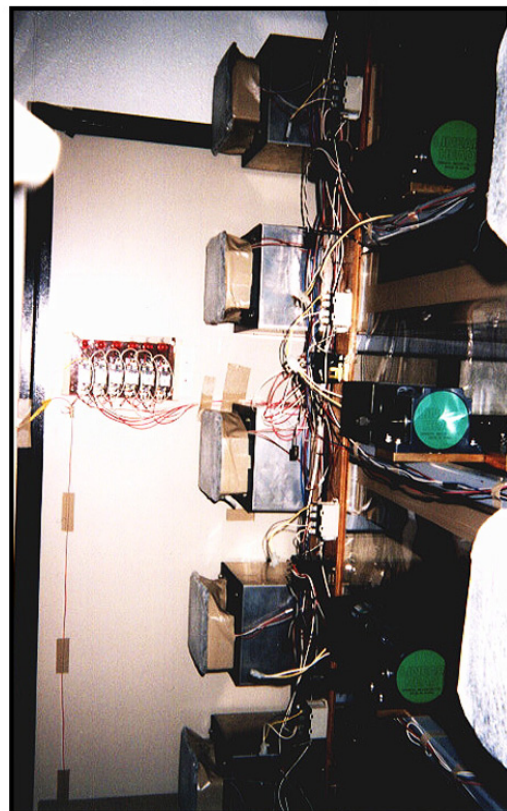
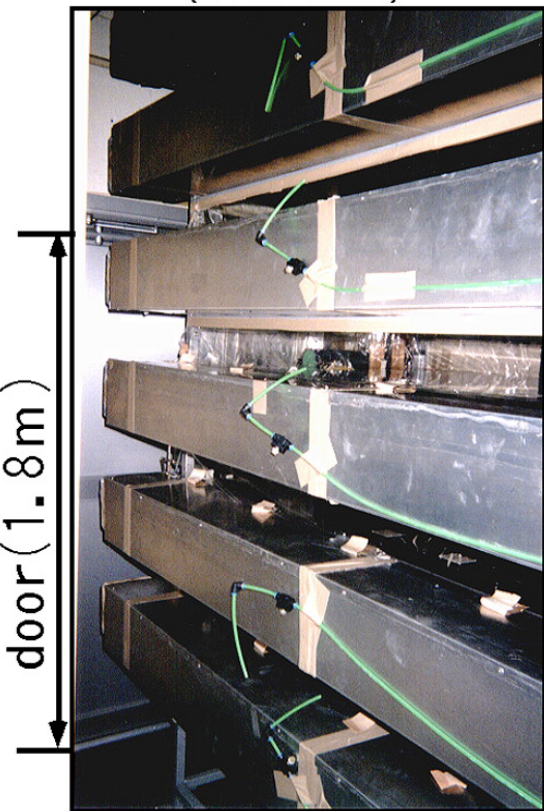
n

Vacuum Emulsion Cassette

Drying cabinet

(side view)

(front view)

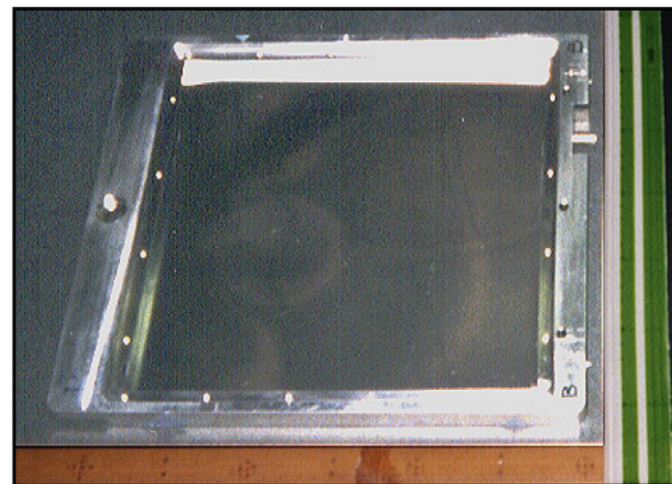


Emulsion Plate

72x72cm²

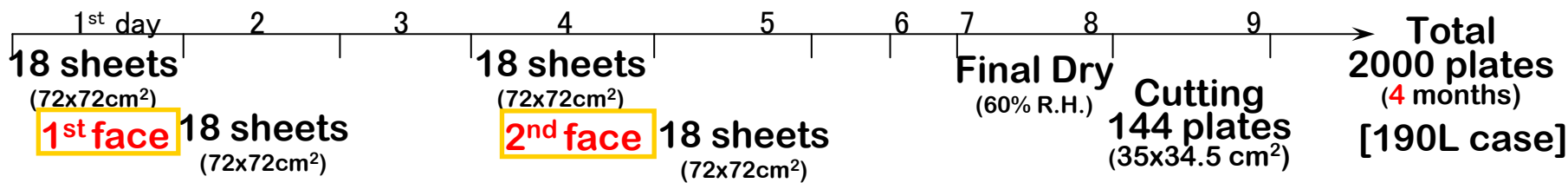
= cut => 35x34.5 cm²

Vacuum emulsion cassette to expose beams



The room is controlled on R.H. 75±5%, 30~33°C

schedule



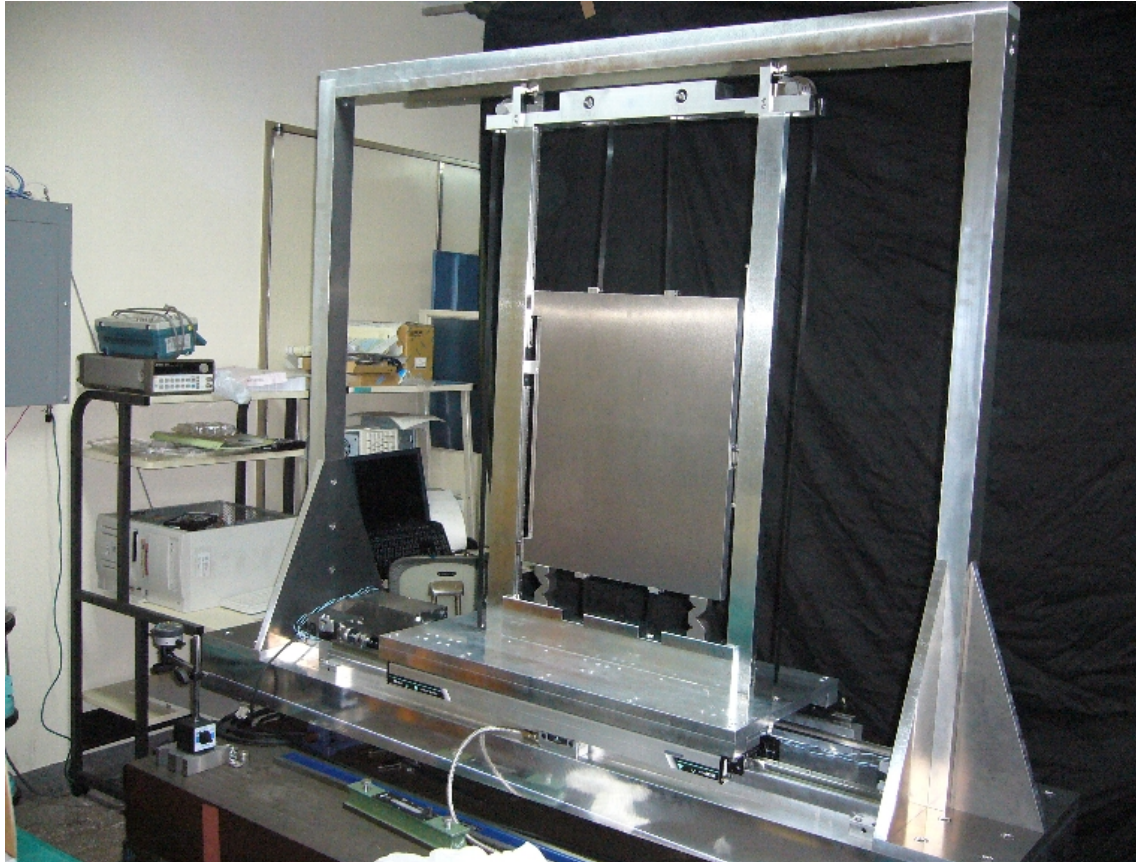
開発6.

n

p

Λ

Emulsion mover



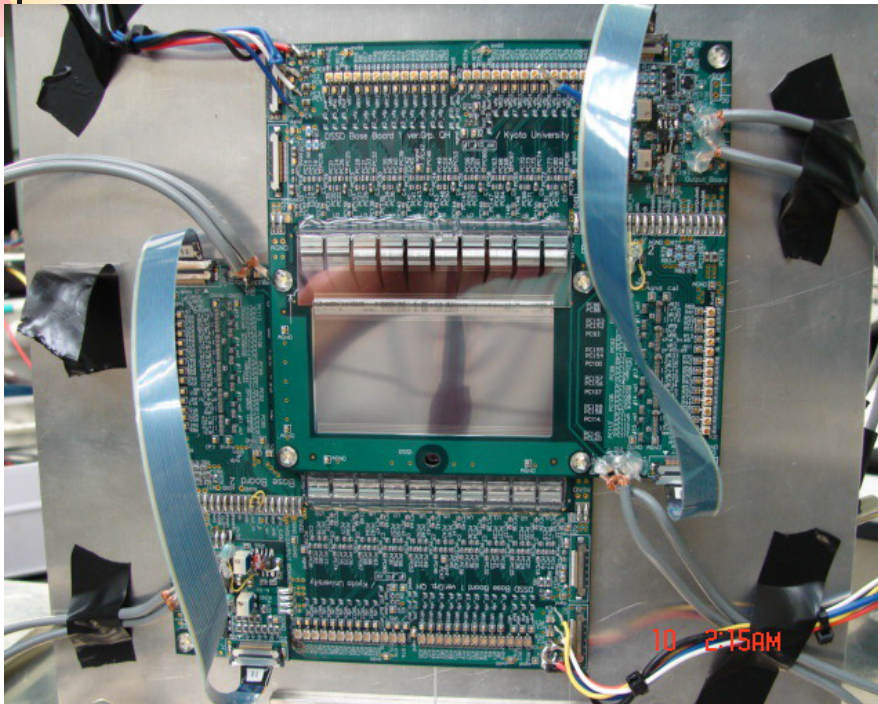
position accuracy
<math><10\mu\text{m}</math>

steel belt

max. speed
~5mm/sec

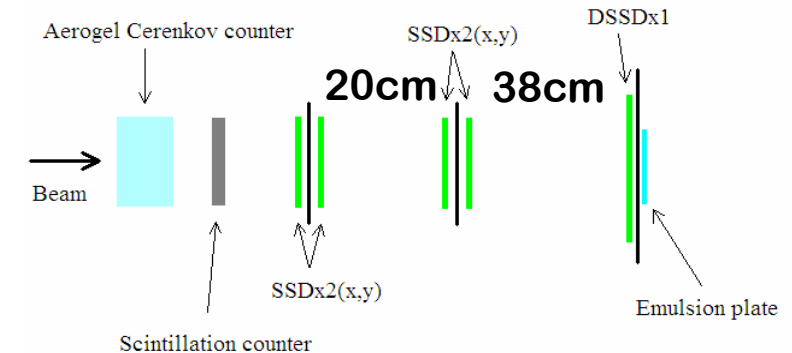
開発7.

Double-sided Silicon Strip Detector (DSSD)

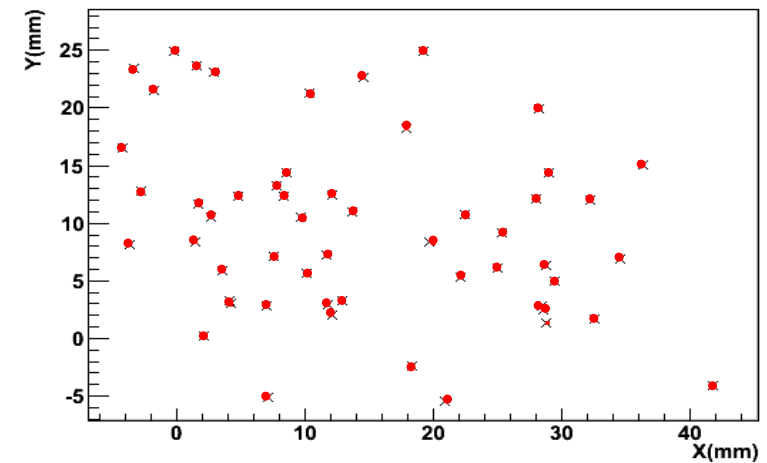


Silicon; 32 x 64mm area, 300 μ m thick
 50mm strip pitch \rightarrow 16 μ m resolution
 2DSSDs in 4 mm gap

Test experiment of Hybrid-Emulsion
 2006.3 KEK-PS T594
 ==> Next at RCNP (Dec.11~13)



0.5GeV/c proton 20deg



×: predicted position
 ●: found position in the emulsion

Preliminary result

	E373	T594
Δ position (μ m)	(200,110) \Rightarrow	(60,30)
Δ angle (mrad)	(44, 25) \Rightarrow	(34,23)

開発8.

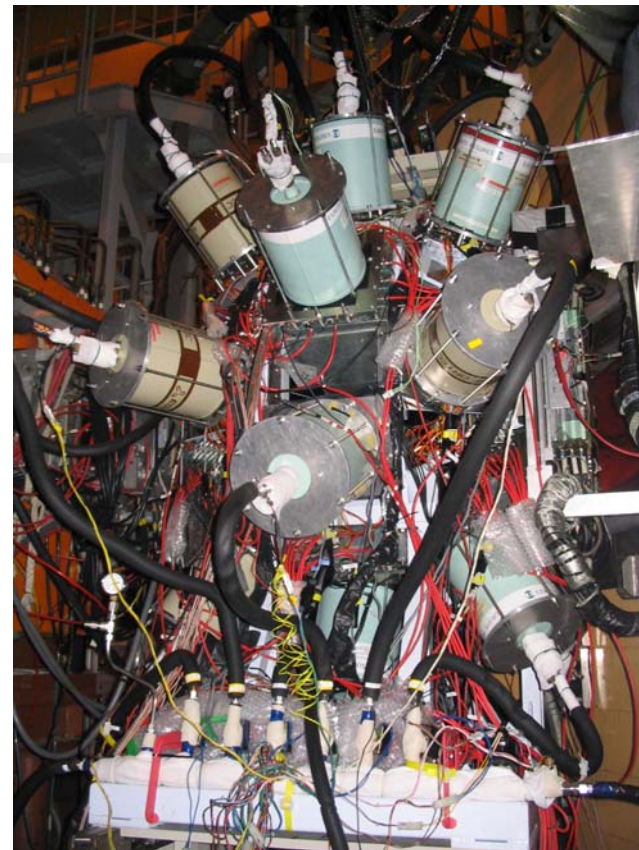
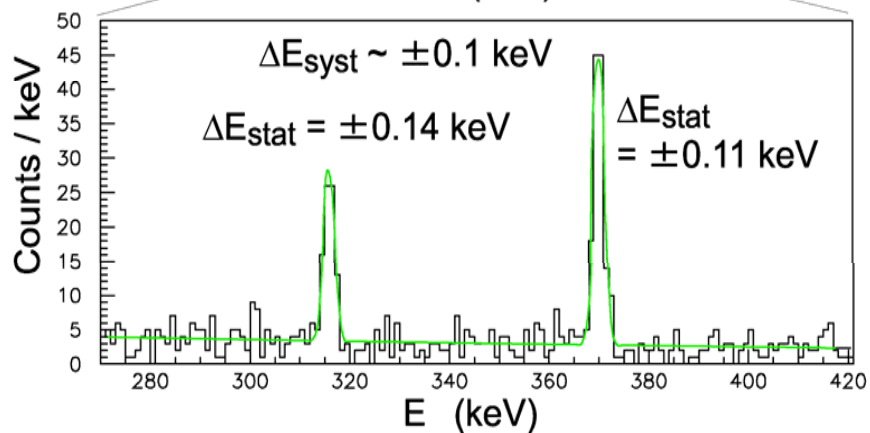
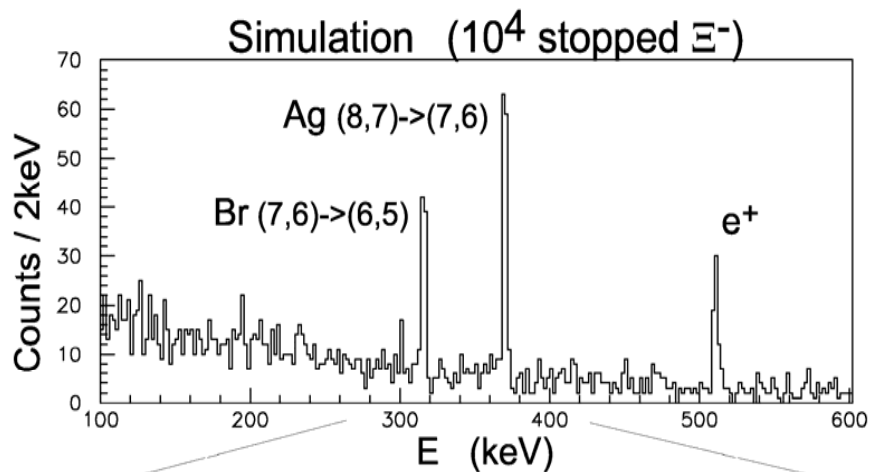
n
p

Upgraded Hyperball-J

Λ

Peak efficiency: $\times 2$

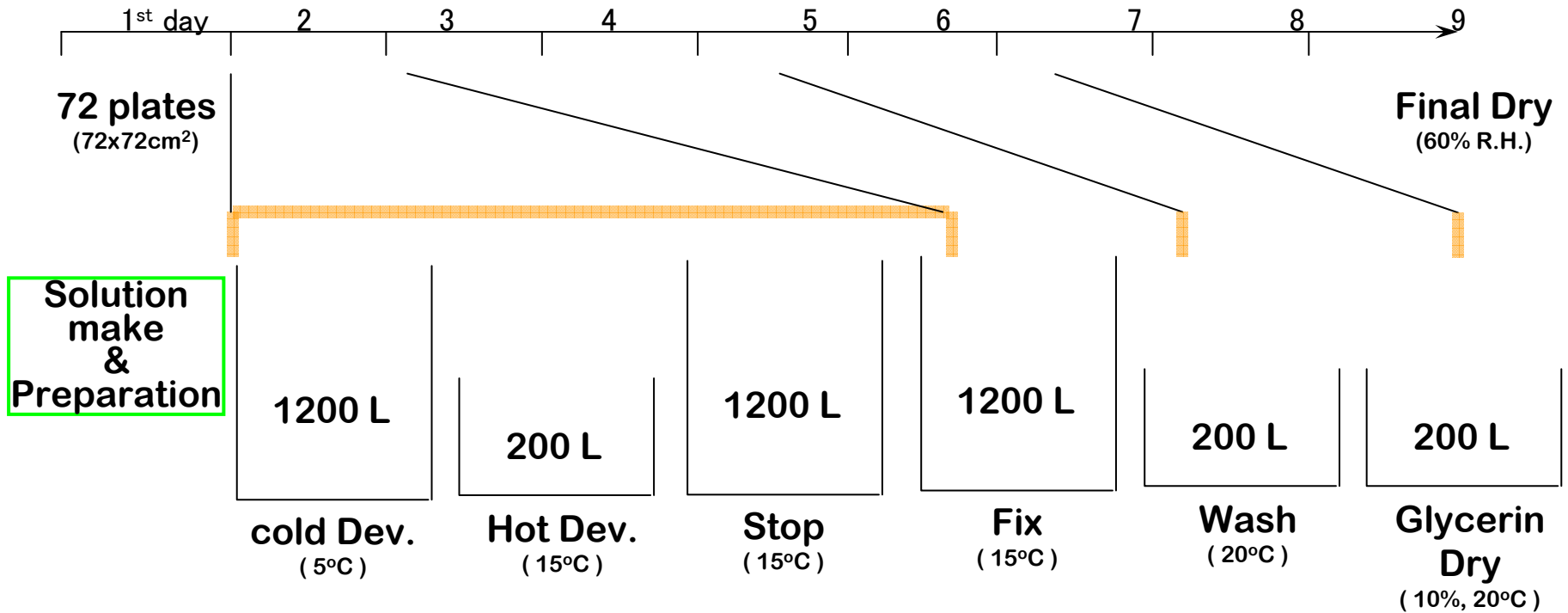
Ξ^- atomic X-ray



開発9.

Development of exposed Emulsion plates

schedule of development



開発10.

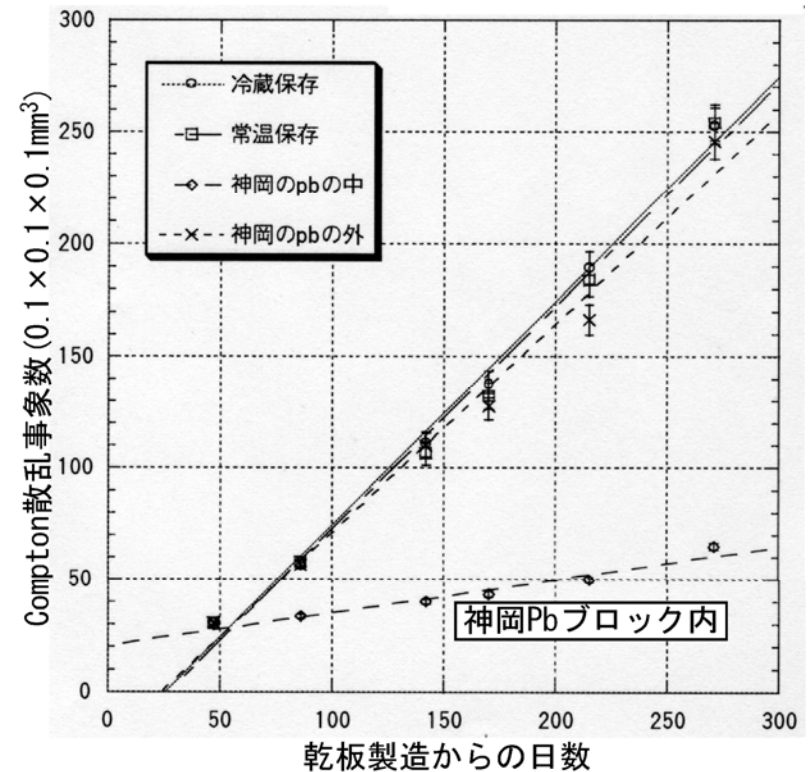
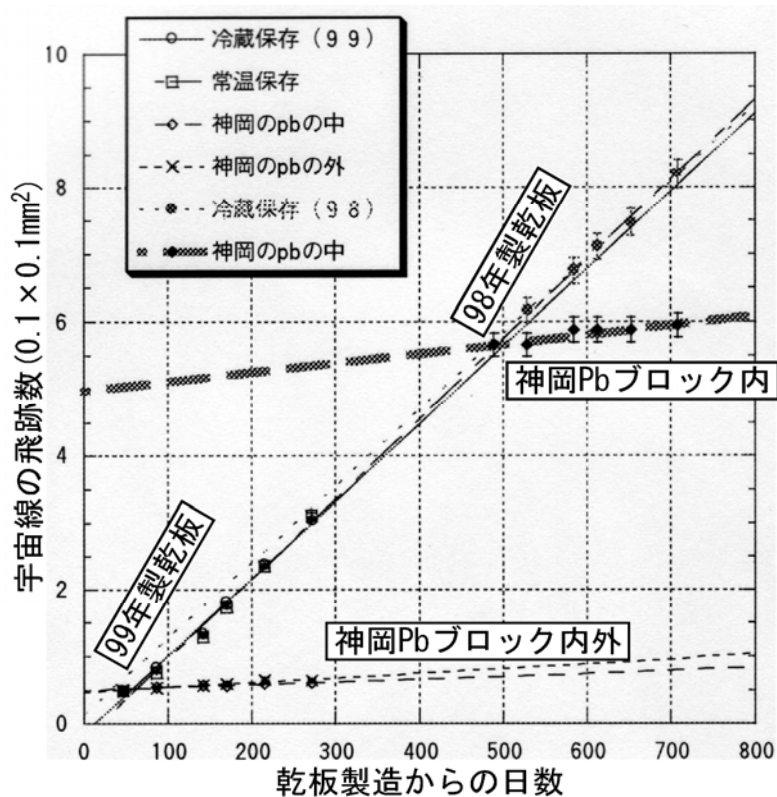
長期保存乾板の性能

Result from E373

Max. exposed track density $1 \times 10^6 / \text{cm}^2 \Leftrightarrow 100 / (0.1 \times 0.1 \text{mm}^2)$

Cosmic radiation

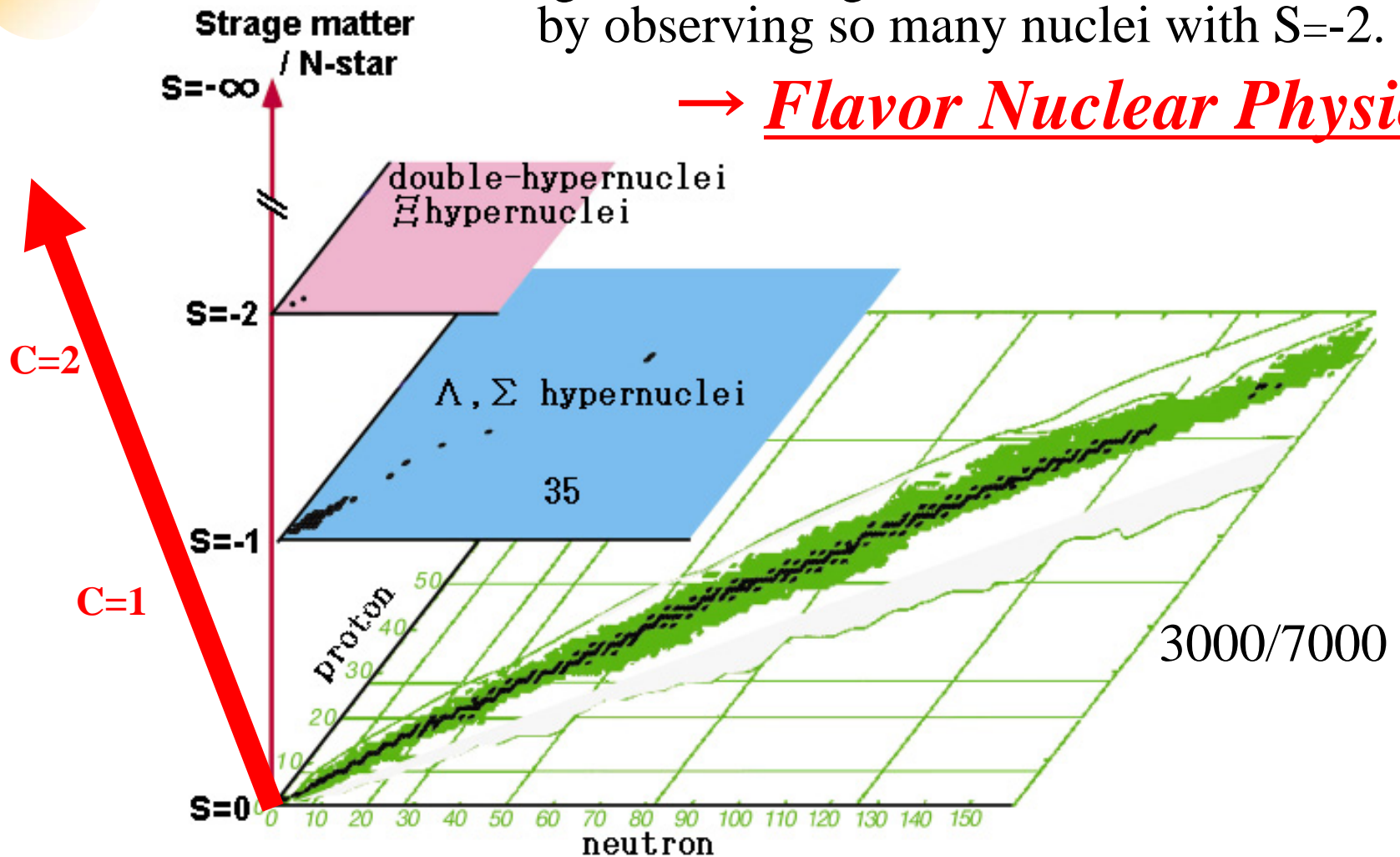
Compton radiation



将来計画(岐阜大)

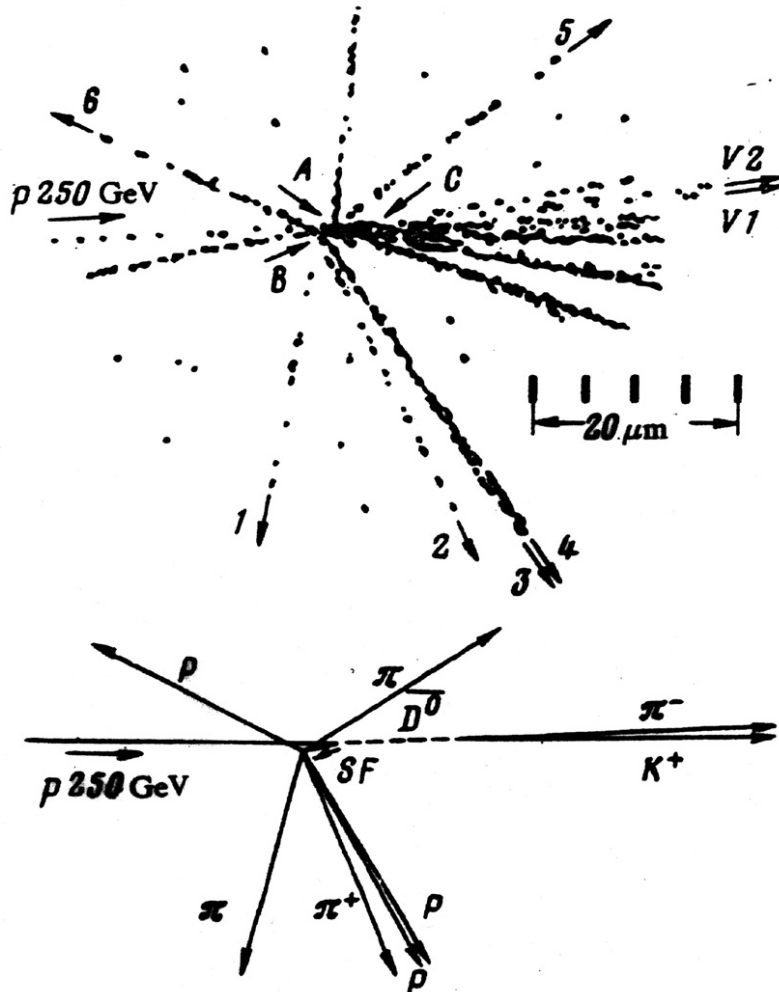
Our goal is making a $S=-2$ nuclear chart, by observing so many nuclei with $S=-2$.

→ Flavor Nuclear Physics



Charmed nuclei (Experiment)

A.A.Tyapkin Yad.Fiz 22('75)181
250GeV/c proton → emulsion
at FNAL



$p + \text{Emulsion} \rightarrow \text{“Charmed HY”} + \bar{D}^0 + X$
 $|\rightarrow K^+\pi^-$

Interpretations

- ① ${}^4_{\Lambda_c^+}\text{Be} \rightarrow \Lambda^0_s \pi^+ \pi^+ \pi^- p p p$
 $(\Lambda^+_c \rightarrow \Lambda^0_s \pi^+ \pi^+ \pi^-)$
 $B_c = 0 \sim 10 \text{ MeV}$
- ② ${}^4_{\Lambda_c^+}\text{He} \rightarrow \Lambda^0_s \pi^+ \pi^+ \pi^0 p p p$
 $(\Lambda^+_c n \rightarrow \Lambda^0_s p \pi^+ \pi^+ \pi^0)$
 $\oplus \pi^0 n \rightarrow \pi^+ p$
 $B_c = 0 \sim 10 \text{ MeV}$
- ③ ${}^{6+k}_{\Lambda_c^+}\text{C} \rightarrow \Lambda^0_s \pi^+ \pi^+ \pi^+ p p p n n + k n (k \geq 1)$
 $(\Lambda^+_c p \rightarrow \Lambda^0_s n \pi^+ \pi^+ \pi^0)$
 $\oplus \pi^0 p \rightarrow \pi^+ n$
 $B_c = ?$

将来計画2.

Charmed pentaquark(?)

- Discovery of the $S=+1$ Θ^+ pentaquark.

- ← Chiral soliton model

T.Nakano et al., PRL91('03)012002

D.Diakonov et al., Z.Phys A359('97)305

- Contradictions in predictions of Spin & Parity

- Chiral soliton model

D.Diakonov et al., Z.Phys A359('97)305

- QCD sum rules & lattice QCD

M.Oka PTP112 ('04)1

S.Takeuchi, K.Shimizu hep-ph/0410286

J.J.Dudek, F.E.Close PL B583('04)278

A new qualitative information ← Charmed pentaquark

Exp.1 H1 ep collider at HERA

$|uudd\bar{c}\rangle \rightarrow D^{*-}p$

$|\bar{u}\bar{u}\bar{d}\bar{d}\bar{c}\rangle \rightarrow D^{*+}p$

H1 collaboration, PL B588('04)17

Table 2

Results of the fit as described in the text for opposite-charge D^*p combinations. The fitted position and Gaussian RMS width of the peak are given, together with the total number of signal events (N_S). The statistical uncertainties quoted take account of the correlations between the variable parameters in the fit

Sample	Mass (MeV)	Gaussian width (MeV)	N_S
$D^{*+}\bar{p} + D^{*-}p$	3099 ± 3	12 ± 3	50.6 ± 11.2
$D^{*-}p$	3102 ± 3	9 ± 3	25.8 ± 7.1
$D^{*+}\bar{p}$	3096 ± 6	13 ± 6	23.4 ± 8.6

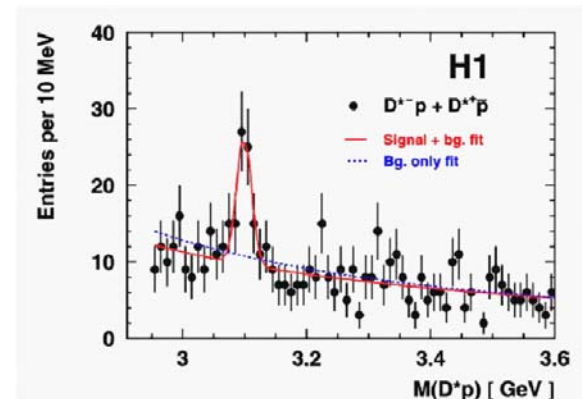


Fig. 7. $M(D^+p)$ distribution from opposite-charge D^+p combinations in DIS, compared with the results of a fit in which both signal and background components are included (solid line) and with the results of a fit in which only the background component is included (dashed line).

fail to observe the signal by several other experiments

名大1.

NIT shows us WIMP directionality

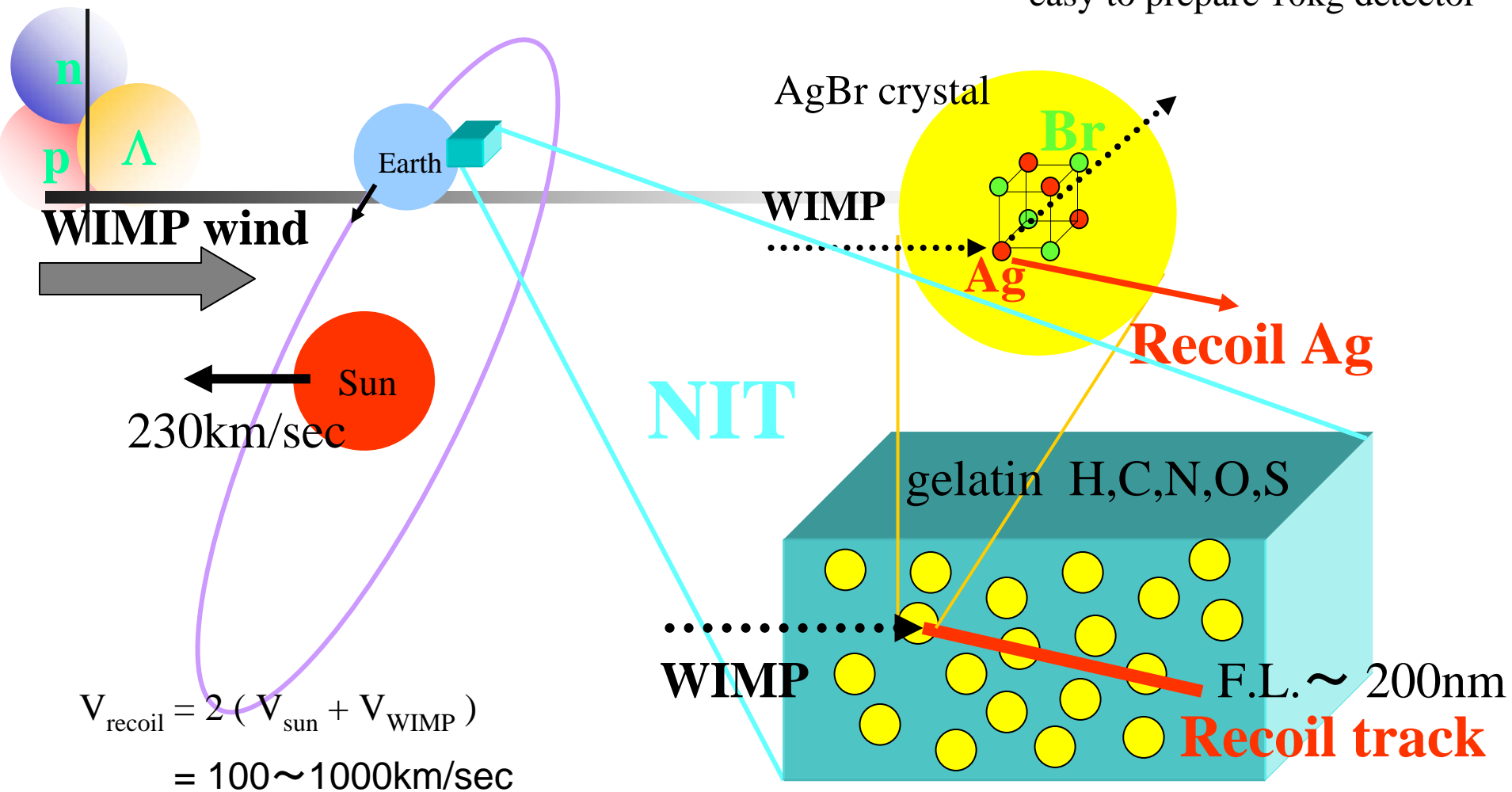
Targets

$^{107,109}\text{Ag}$ ($J=1/2$)

$^{79,81}\text{Br}$ ($J=3/2$)

^{12}C ^{14}N ^{16}O ^{32}S

easy to prepare 10kg detector



n
p Λ

Fine grain emulsion crystal to get better position resolution at J-PARC

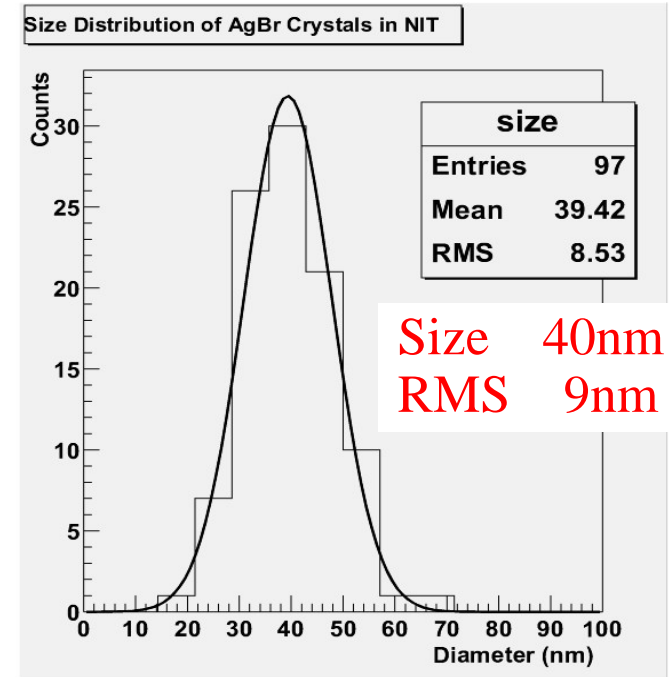
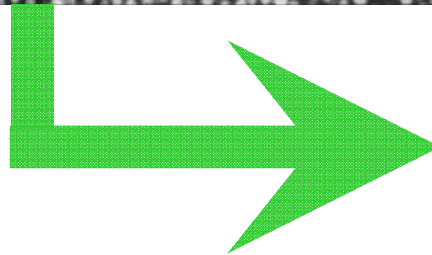
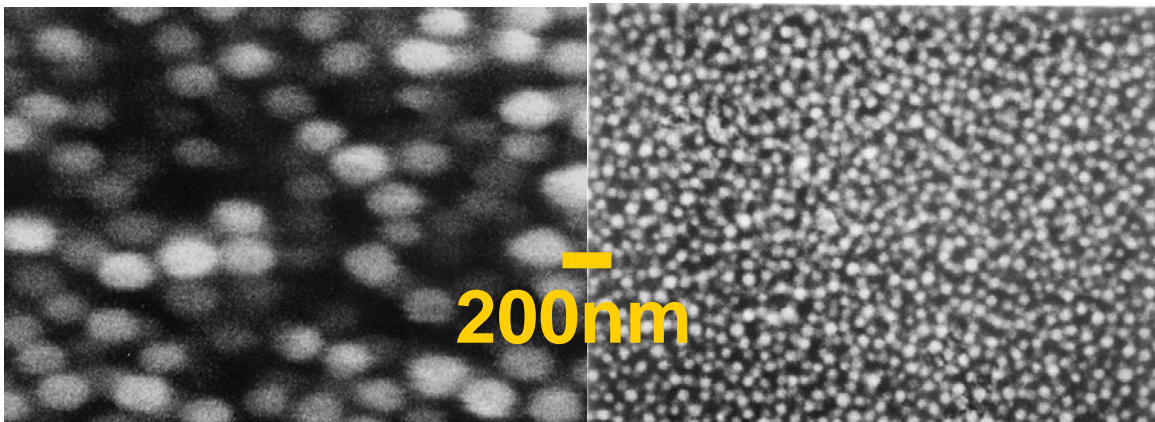
SEM Micrographs of AgBr Grains

SEM : scanning electron microscope

NIT(Nano Image Tracker
developed by Nagoya

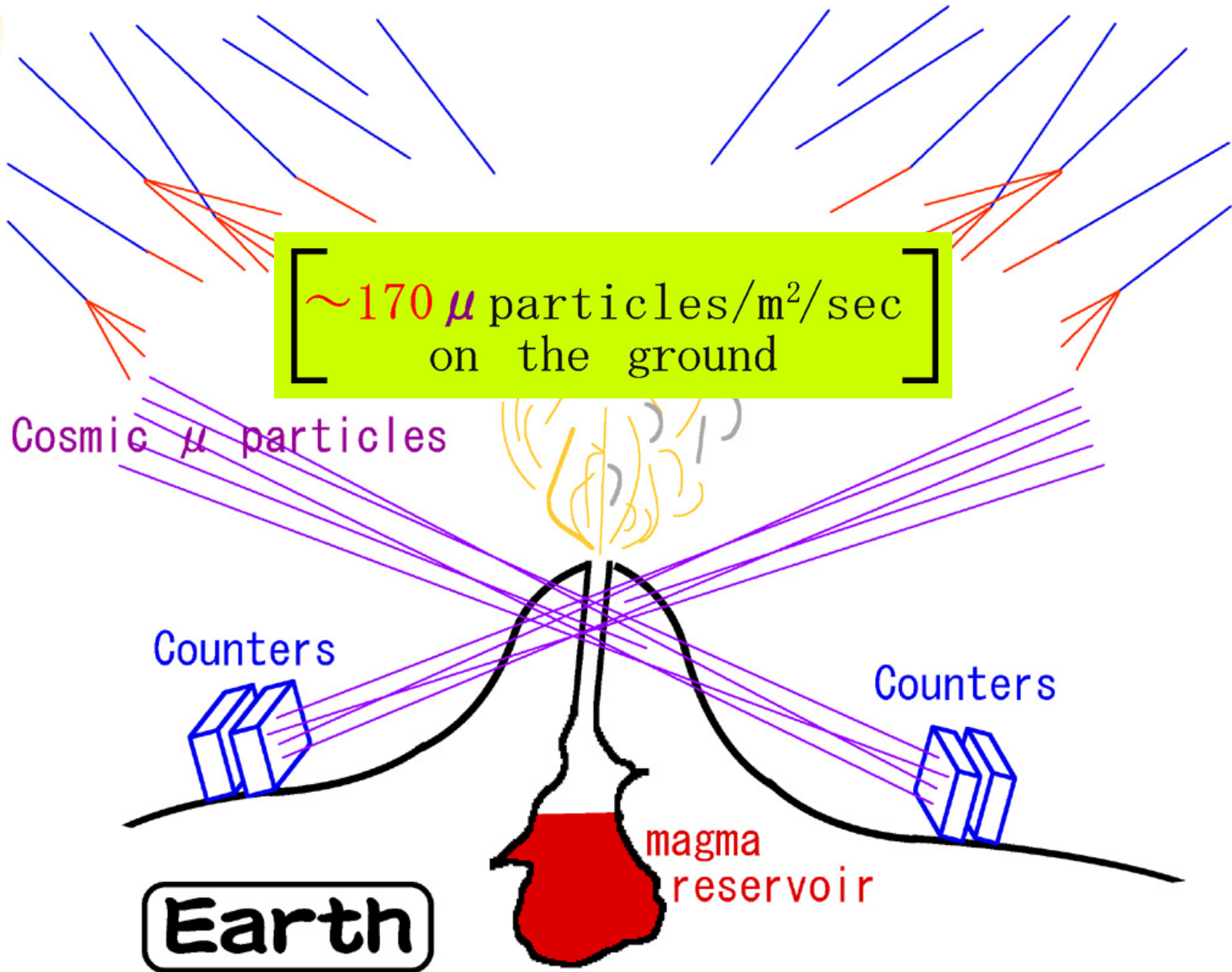
E373 emulsion (ET-7C,D)

Size of AgBr Grains



名大2.

火山の噴火 I

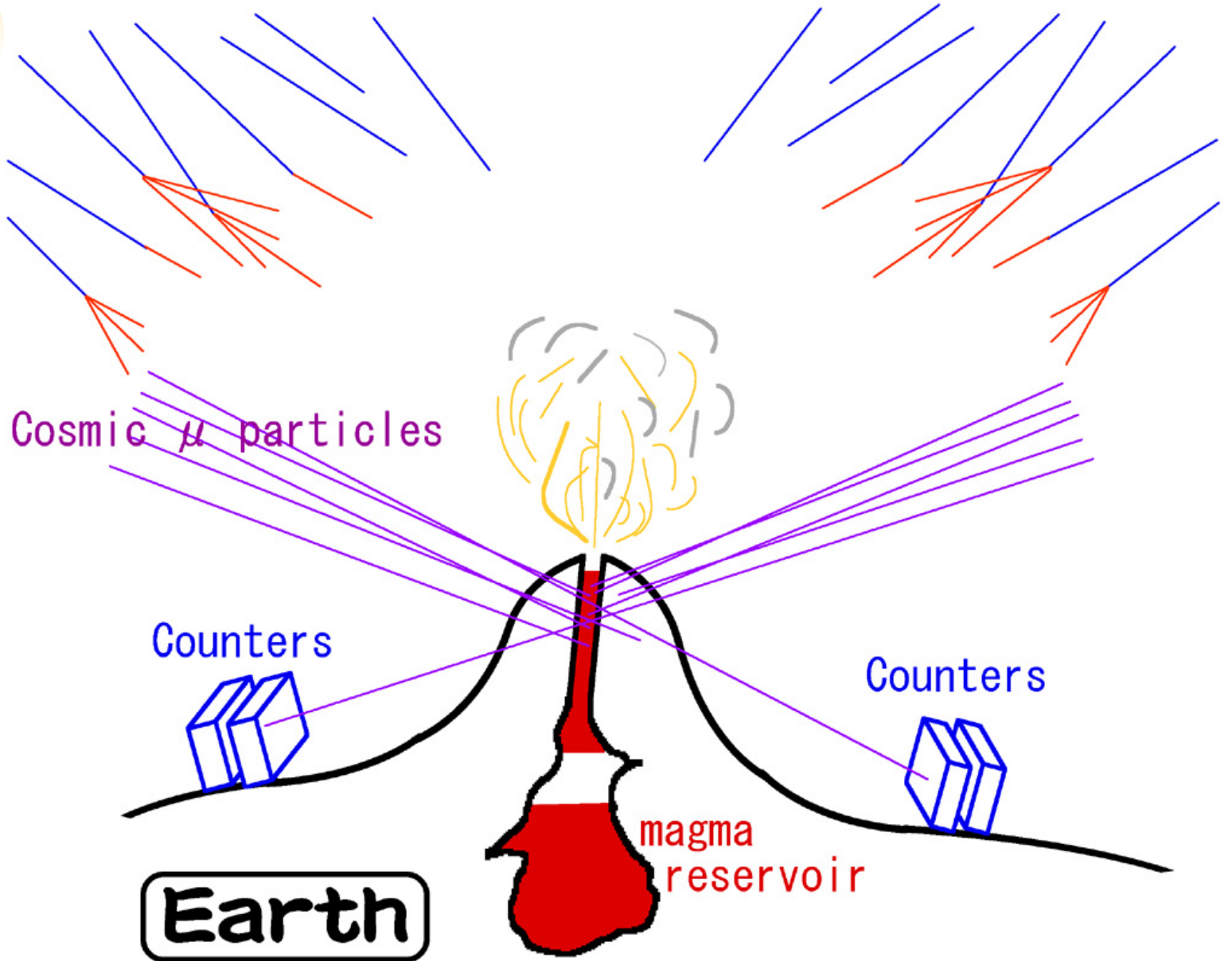


n

p

Λ

火山の噴火 II





4. まとめ

道後にて：山本 安夫 氏

2005年3月31日

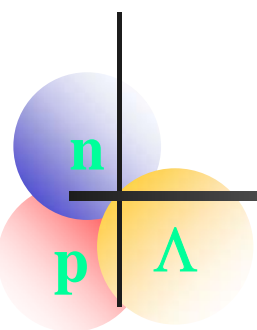
「地方の物理」とは・・・

洗練されたスマートさや天才的きらめきには欠けても、粘り強く営々とオリジナリティを磨きあげる、そういう泥臭い研究（集団）のあり方かもしれない

Nijmegen に体现されてるような、文化のあり方のひとつなのかもしれない

「地方から中央へ」「ゲリラ戦から正規戦へ」という権力奪取的発想は不適切かと思う

多様で個性ある「地方」の充実こそが、科学文化の土壌ではなかろうか



Extra slides