

大強度2次ハドロンビームを用いた

精密原子核ハドロン物理の新展開

RCNP 野海博之

装置：運動量整合の取れた2次ビームラインとスペクトロメータ

物理の方向性と目的：

高統計($\times 100$)と高分解能($\times 10$)による

精密原子核ハドロン分光の新しい展開を目指す。

○ $S=-1$ ハイパー核精密分光の新展開

中性子過剰 Λ ハイパー核の精密分光 (Sakaguchi)

Λ ハイパー核の精密分光と弱崩壊分光 (Ajimura)

Σ 核ポテンシャルの精密分光 (Tamura?)

。。。

○中間子原子核精密分光の新展開

ϕ 原子核、 η 原子核の精密分光 (Ohnishi, Itahashi)

○Exotic Hadrons

Θ^+ の構造研究 ($d(K^+, p)\Theta^+, p(\pi^-, K^-)\Theta^+$) (Tanida, Naruki)

$\Lambda(1405)$ ：

OS=-1ハイパー核精密分光の新展開

- 中性子過剰 Λ ハイパー核の精密分光

Lの投入による媒質の変化顕著 → halo原子核コアや共鳴状態に Λ を入れる
Isospin $\gg 0$ Mediaにおける ΛN 相互作用 Λ - Σ coherent coupling effect

- Λ ハイパー核の精密分光と弱崩壊分光
- Σ 核ポテンシャルの精密分光

YN(YY)相互作用:

OBEP: NH-D/F → NSC(89, 97e/f) → ESC(04,...)

YN散乱データ: たったの35点をフィット、 $SU_F(3)$ 、より重い中間子(短距離)
→ハイパー核データが重要(G-Matrixの介在)

しかしまだまだ情報が足りない。とくに、 ΣN 相互作用の情報が足りない

Λ 核構造 \Leftrightarrow YN有効相互作用: $\Lambda\Sigma$ の結合が重要な役割を果たす。

Λ 核から間接的に ΣN の情報も得られるが、十分でない、、、。

中性子星の物性

最大質量 $< 1.44M_{\odot}$

中性子物質では常に見積もりオーバー

ハイペロンは混ざるが今度はやわらかくなりすぎ→三体斥力! ?

Σ の役割: 依然として重要

三、K凝縮

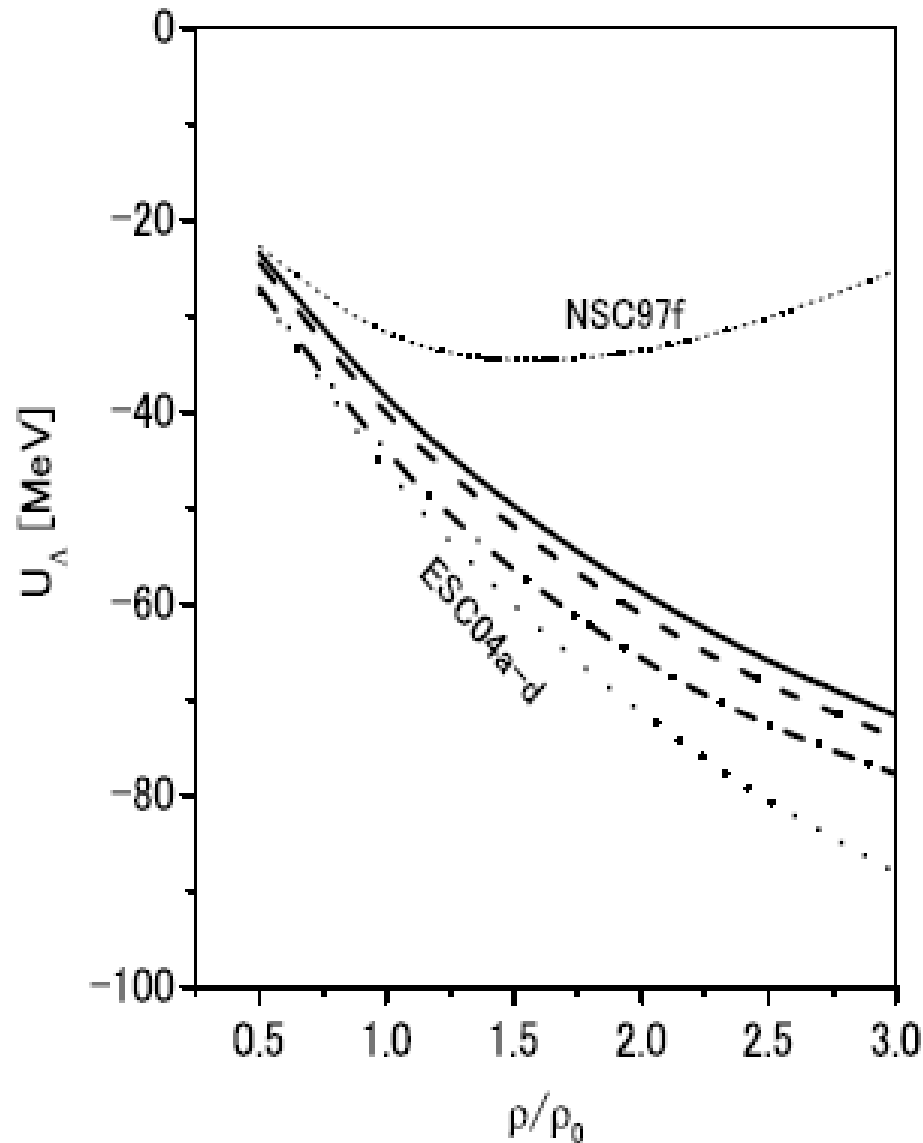
Th. A. Rijken and Y. Yamamoto, Phys.Rev.C73:044008,2006

TABLE XIX: Values of U_A at normal density and partial wave contributions for ESC04a-d and NSC97e/f obtained from the G-matrix calculations with the QTQ intermediate spectra. All entries are in MeV.

	1S_0	3S_1	1P_1	3P_0	3P_1	3P_2	D	U_A
ESC04a	-13.7	-20.5	0.6	0.2	0.5	-4.5	-1.0	-38.5
ESC04b	-13.3	-22.6	0.5	-0.0	0.6	-4.3	-1.1	-40.2
ESC04c	-13.9	-28.5	2.9	0.0	1.3	-6.5	-1.3	-46.0
ESC04d	-13.6	-26.6	3.2	-0.2	0.9	-6.4	-1.4	-44.1
NSC97e	-12.7	-25.5	2.1	0.5	3.2	-1.3	-1.2	-34.8
NSC97f	-14.3	-22.4	2.4	0.5	4.0	-0.7	-1.2	-31.8

P-wave contributionの違い: ESC04はattractive/NSC97はrepulsive

→ESCは、 $U_A=-30\text{MeV}$ を再現するようなrepulsiveが必要



P-wave contribution
の違いが出ているの図

FIG. 12: Calculated values of U_Λ as a function of ρ/ρ_0 for ESC04a (solid curve), ESC04b (dashed curve), ESC04c (dotted curve) and ESC04d (dot-dashed curve). The thin dashed curve is for NSC97f.

Th. A. Rijken and Y. Yamamoto, Phys.Rev.C73:044008,2006

TABLE XXII: Values of U_{Σ} at normal density and partial wave contributions for ESC04a-d and NSC97f (in MeV).

	T	1S_0	3S_1	1P_1	3P_0	3P_1	3P_2	D	U_{Σ}
ESC04a	1/2	11.6	-26.9	2.4	2.7	-6.4	-2.0	-0.8	-36.5
	3/2	-11.3	2.6	-6.8	-2.3	5.9	-5.1	-0.2	
ESC04b	1/2	9.6	-25.3	1.8	1.6	-5.4	-2.1	-0.7	-27.1
	3/2	-9.6	9.9	-5.5	-1.9	5.4	-4.6	-0.2	
ESC04c	1/2	6.4	-20.6	2.4	2.9	-6.7	-1.6	-0.9	-33.2
	3/2	-10.7	6.9	-8.8	-2.6	6.0	-5.8	-0.2	
ESC04d	1/2	6.5	-21.0	2.6	2.4	-6.7	-1.7	-0.9	-26.0
	3/2	-10.1	14.0	-8.5	-2.6	5.9	-5.7	-0.2	
NSC97f	1/2	14.9	-8.3	2.1	2.5	-4.6	0.5	-0.5	-12.9
	3/2	-12.4	-4.1	-4.1	-2.1	6.0	-2.8	-0.1	

U_{Σ} の斥力は実験的に確立されていない
 ...とみられている。

Σ 核ポテンシャルはどうなっているか？

KEK-E438: inclusive (π^- , K^+) spectrumの解析
→どうやらグロスには斥力のようである。

宿題: ではどの程度の大きさか？

もうすこし(かなり)まじめに(細かく)見るには？
→高分解能(大強度ビーム)

方向性:

① 重い核へ

→low lying atomic state (Coulomb Assisted State)

分解能 $\sim 200\text{keV}$ が必要

標的厚くできない、断面積小さい、で大強度ビームが必要

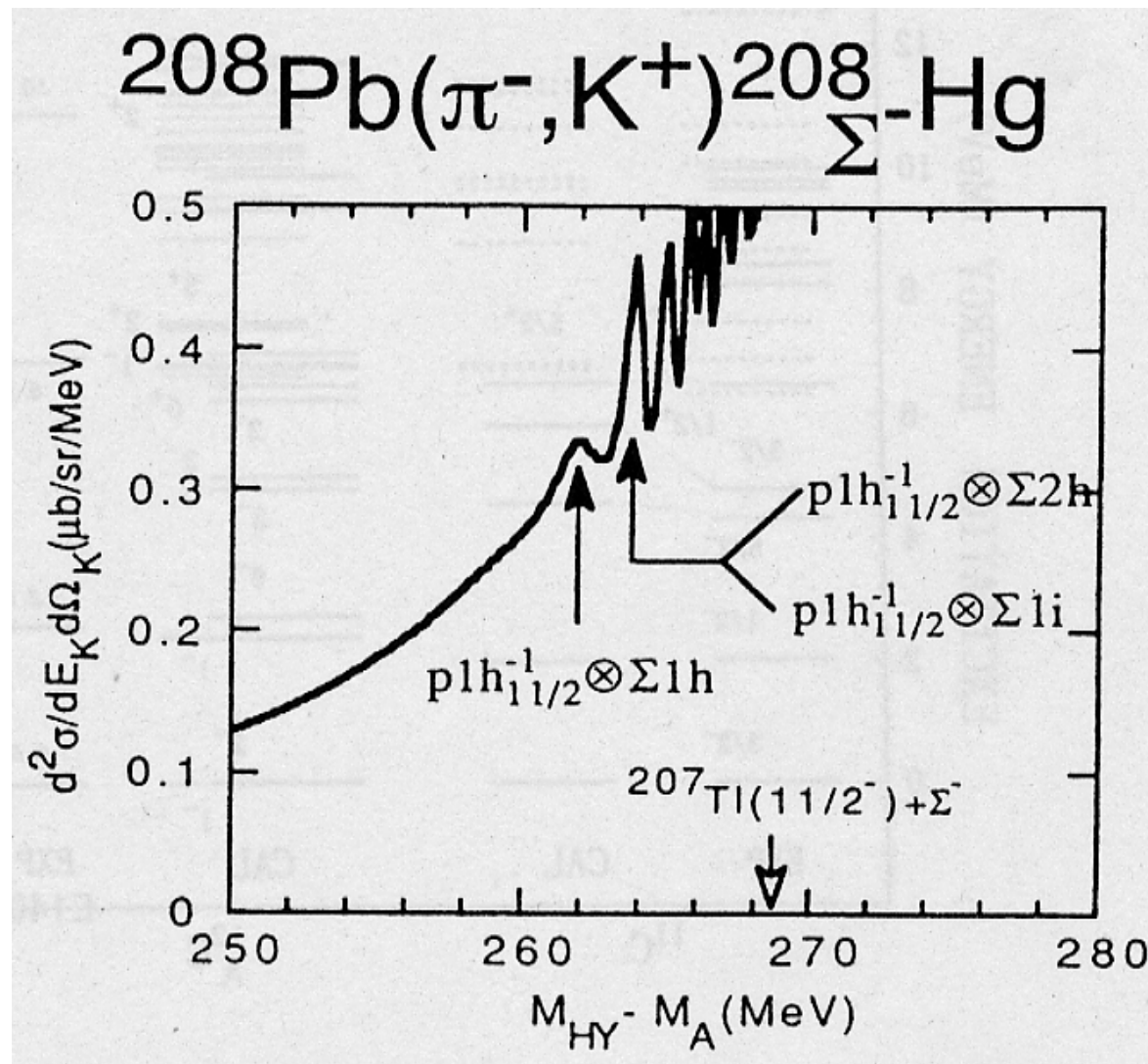
② 軽い核では仕事はある(残っている)か

→田村さんのアイデア 3体系

もし、 10^9ppp ($\sim 1\text{GHz}$)のビームが使えたら、、、

Coulomb Assisted Hybrid Bound State

引力ポテンシャルの場合の計算



S. Tadokoro and Y. Akaishi, PLB282, 19(1992)

Yield Estimation

もし、 10^9 ppp(~ 1 GHz)のビームが使えたら、、、

^{208}Pb : 100 nb/sr, 0.6 g/cm²

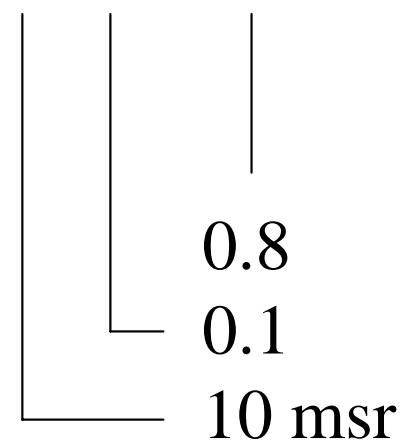
Production Rate (cps)

$$= 10^9 * 0.6 / 208 * 6.022 \text{E}23 * 0.1 \text{E}-30 * \Delta\Omega * \varepsilon_{\text{K}^+} * \varepsilon_{\text{all}}$$

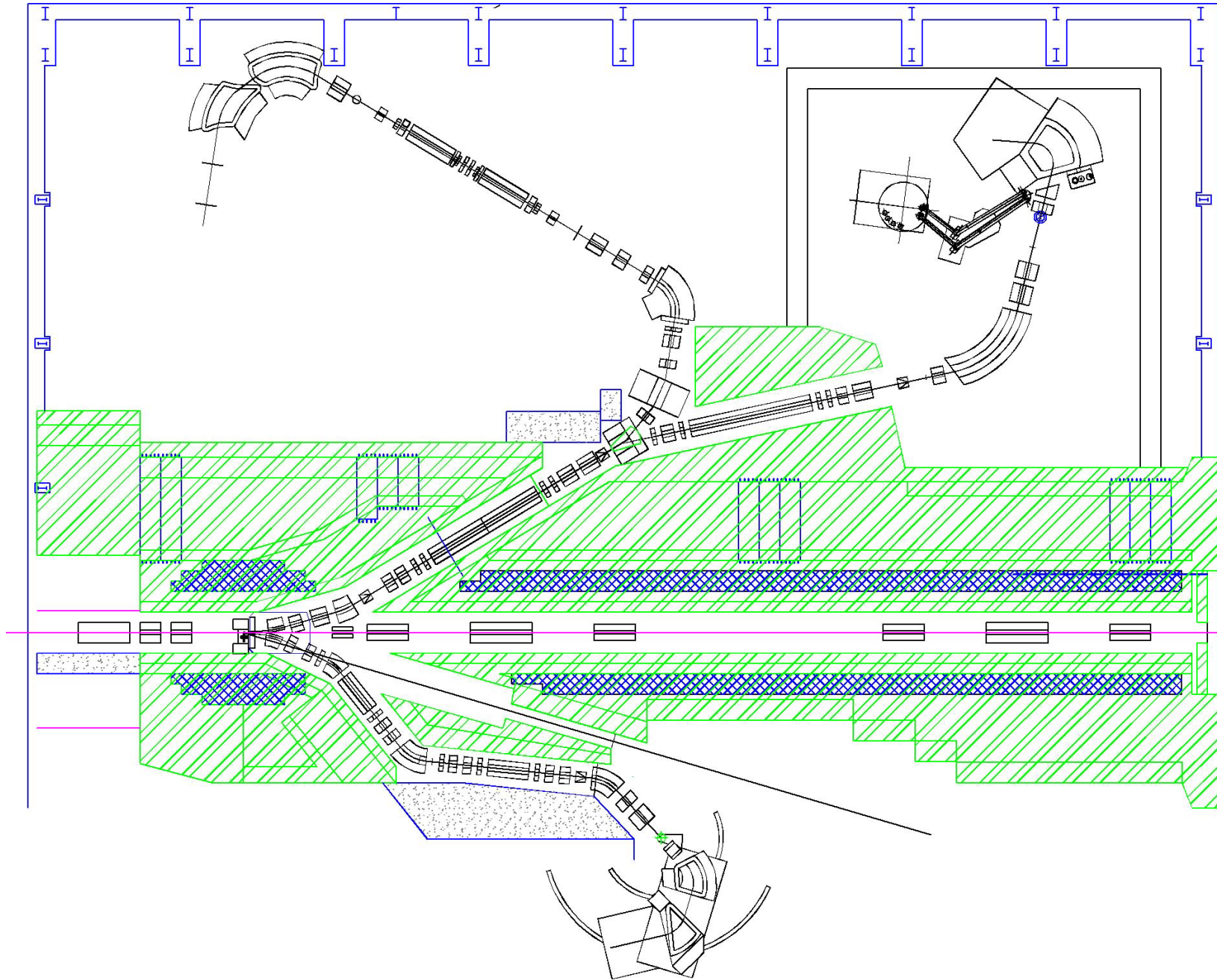
$$= 0.0001$$



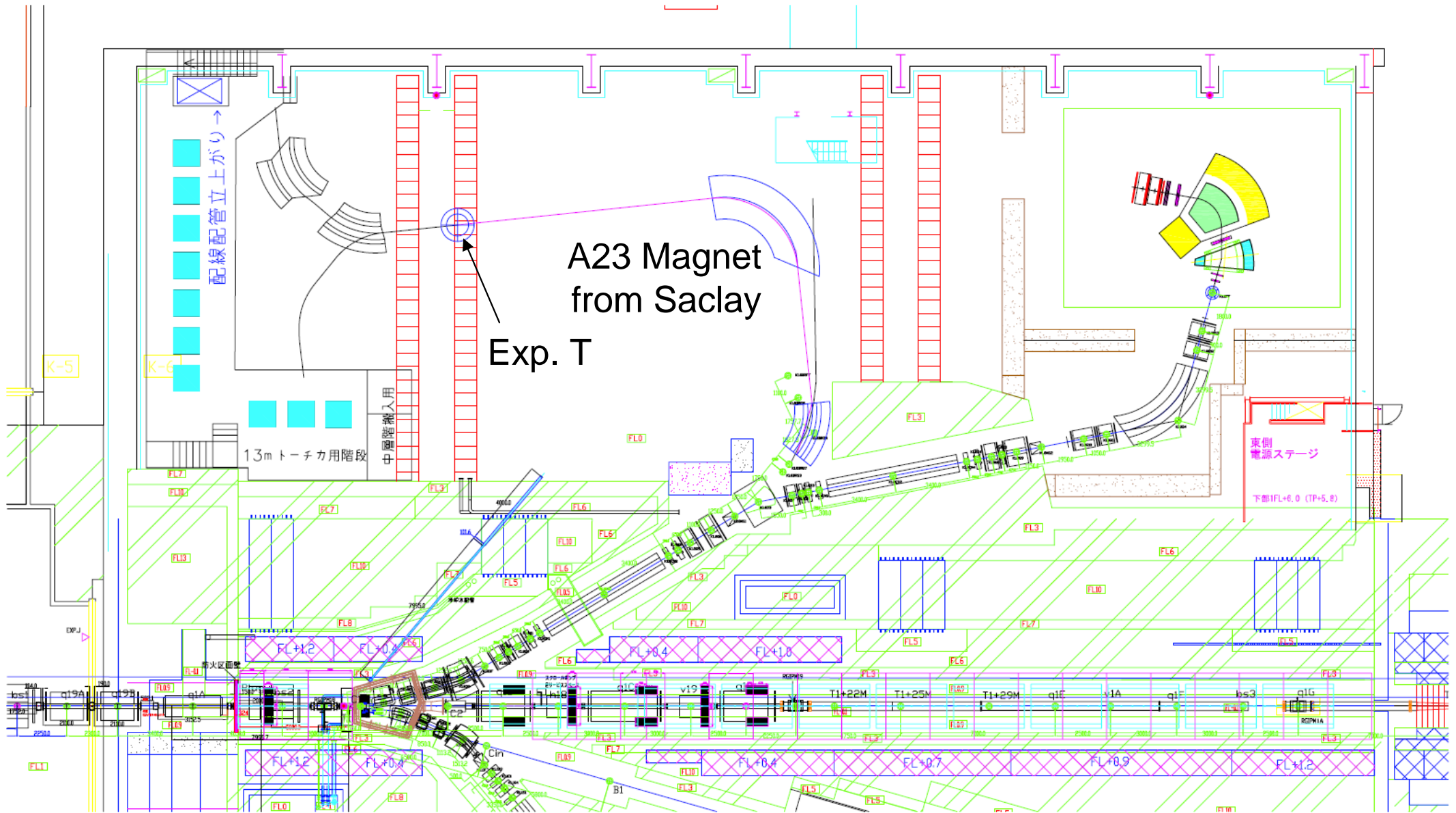
120 counts/10 days



NPFCのときは、、、



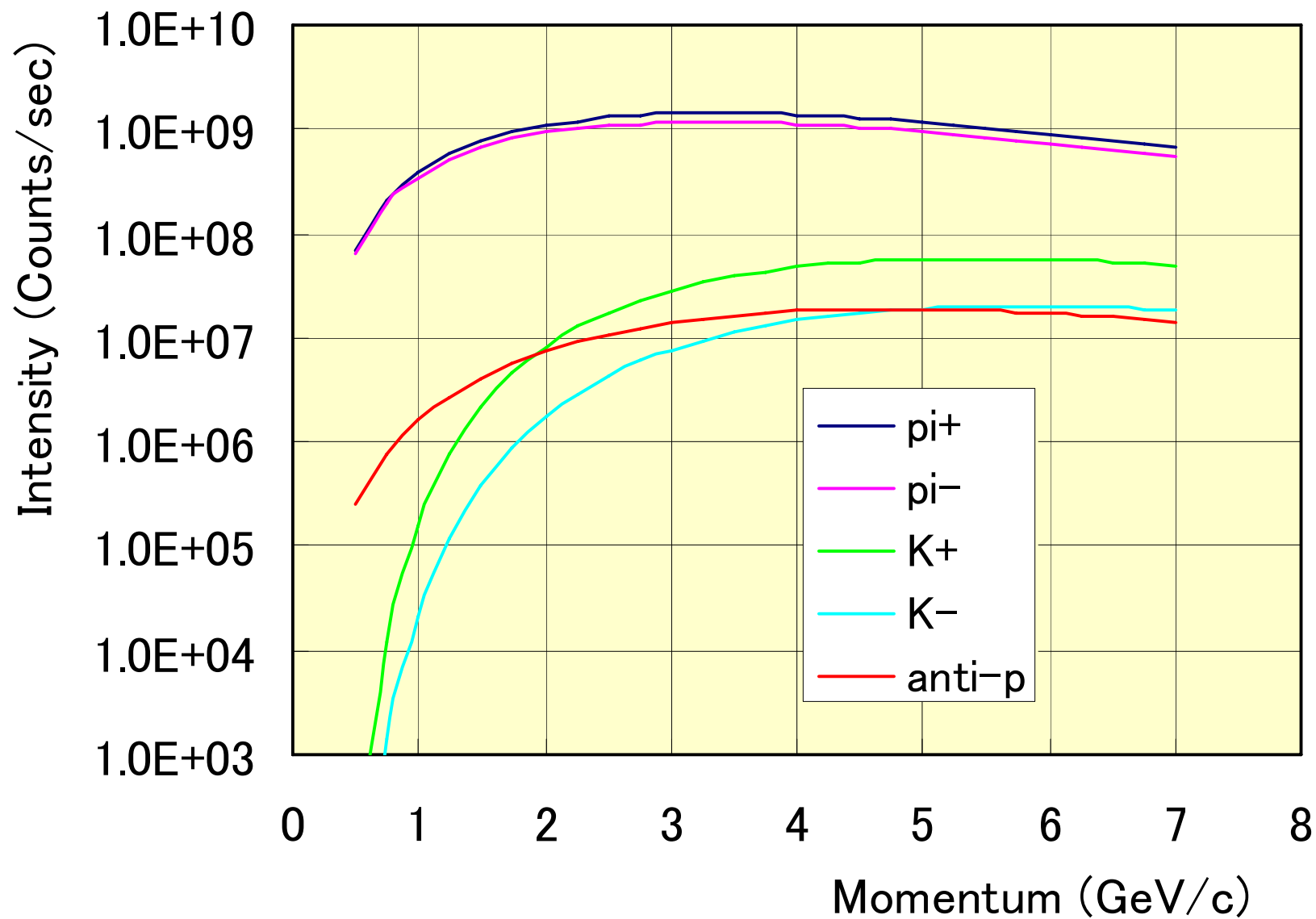
Layout Plan (under develop)



...connected to K1.8BR. It can also be designed to be connected to T2

Specification (to be designed)

- Max. Beam Momentum: 2 GeV/c
Dispersion: $b_{16} = -10\text{m}$, x-magnification: $b_{11} = 1$
Acceptance: $\sim 2\text{msr}^*\%$
- Max. Scattered Momentum: 1.6 GeV/c
Dispersion: $s_{16} = -10\text{m}$, x-magnification: $s_{11} = -1.2 \sim -1.5$
Solid Angle: $\sim 10\text{msr}$, Mom. Acc.: $\sim \pm 10\%$
- (Almost) Full Momentum Matching Condition can be realized for...
 - ① (π, K^+) at $p_\pi = 1 \sim 1.2\text{ GeV}/c$, $dq \sim 0.4 \sim 0.5\text{ GeV}/c$
 - ② $N(\pi, N)\phi$ at $p_\pi \sim 2\text{ GeV}/c$, $dq \sim 0.4 \sim 0.5\text{ GeV}/c$
 - ③ $p(\pi^-, K^-)\Theta^+$ at $p_\pi \sim 2\text{ GeV}/c$, $dq \sim .1\text{ GeV}/c$
- Intrinsic Energy Resolution at the matching condition (1st order):
 $\Delta E \sim 100\text{ keV}$ for ① and ③
 $\sim 200\text{ keV}$ for ②,
in the case of $\Delta x = 1\text{ mm}$ (expected rms beam size at T1).

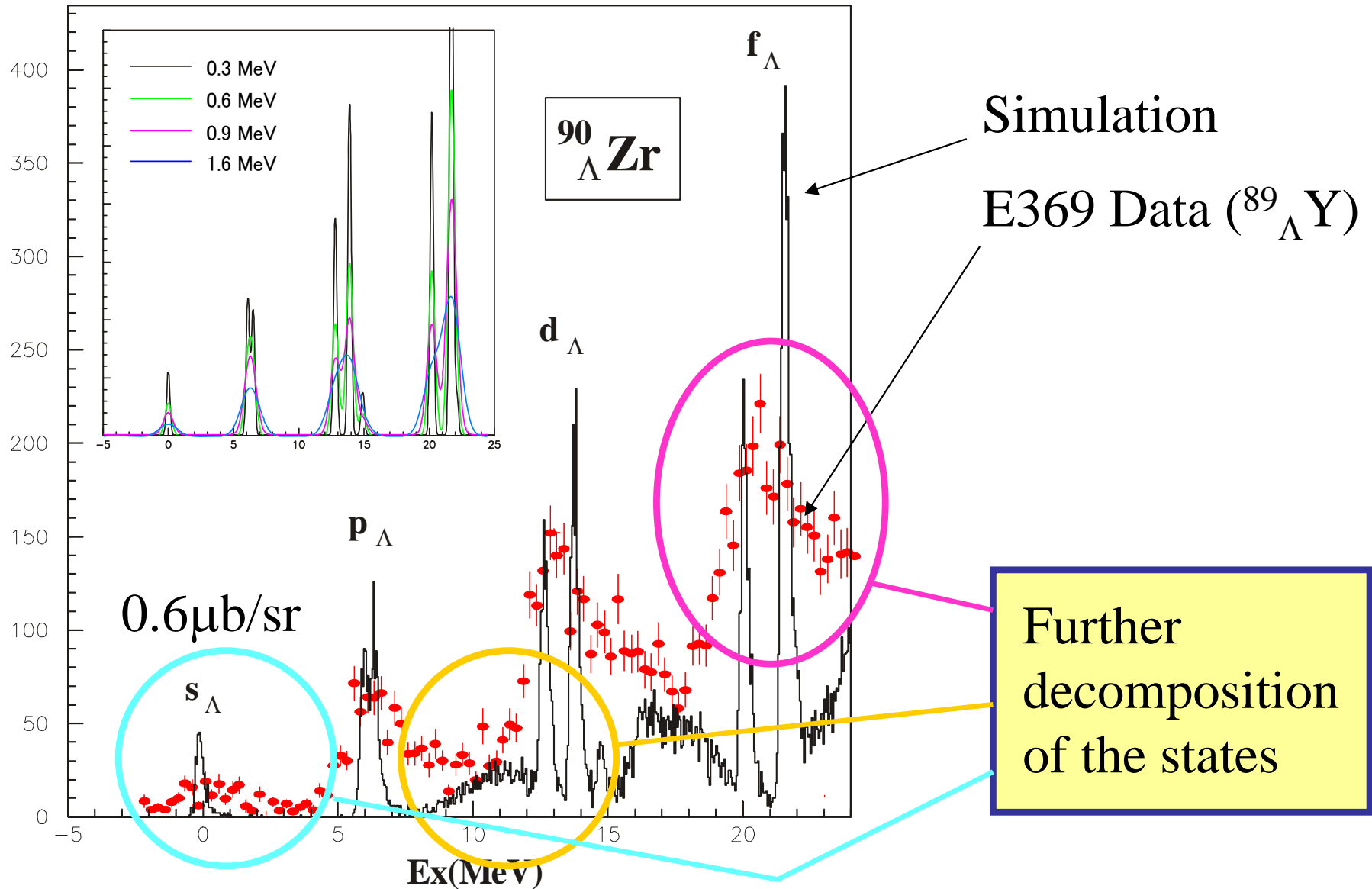


50GeV-15 μ A, Ni-54mm, BL-Length=50 m, Acceptance:2msr%

デモンストレーション

Superfine Structure of Λ hypernuclei

World of $\Delta E=0.2$ MeV



Yield Estimation

Λ ハイパー核 $^{89}_{\Lambda}Y$ -g.s. ($0.6\mu\text{b}/\text{sr}$), 1mm target

Production Rate (cps)

$$= 10^9 * 0.635 / 89 * 6.022 \times 10^{23} * 0.6 \times 10^{-30} * \Delta\Omega * \epsilon_{K^+} * \epsilon_{\text{all}}$$

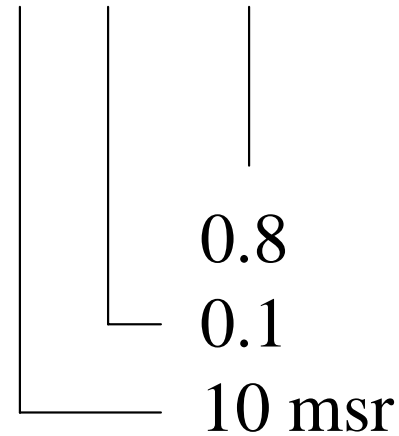
$$= 0.002$$



170 counts/day



300 counts/10days



中性子過剰 Λ ハイパー核 $^{12}_{\Lambda}Be$ ($0.01\mu\text{b}/\text{sr}$), $0.6\text{g}/\text{cm}^2$ target

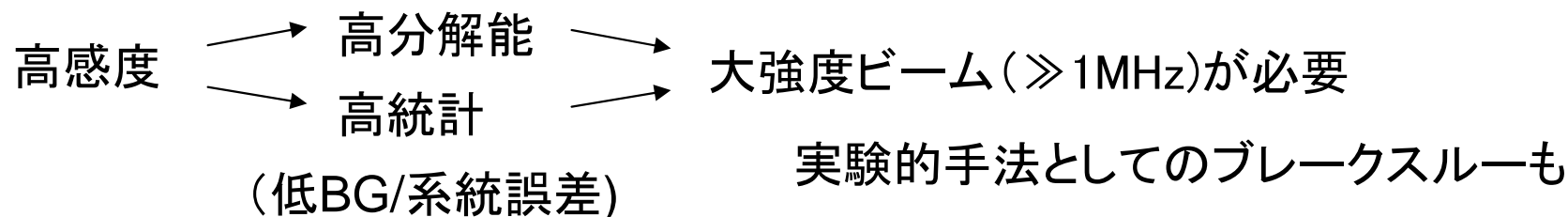
20 counts/day

十分戦える！

まとめと今後の課題:

- S=-1ハイパー核で遣り残された仕事はまだたくさんある。
 - とくに、YN相互作用の解明がなされていない、というべき。
 - S=-2核のシステムの(理論的)解析にも支障をきたす恐れも。
 - $U_{\Sigma}(>0)$ が確立されていない。(少なくとも理論屋は懐疑的!?)
 - 以上は、コンパクト星内部のEOSの議論に大きな影響を与える。

○ より高感度の実験が必要



- 運動量整合の取れた2次ビームライン-スペクトロメータの整備が必要
 - 2GeV/cまでの $\pi(\bar{p})$ ビームラインと1.6GeV/cまでのスペクトロメータ
 - 真に大強度2次ビームの利用を開拓: $10^9 \pi/\text{pulse}$ ($10^7 \bar{p}/\text{pulse}$)
 - 多彩な利用の検討
 - 高分解能実験 → 最大限の分散
 - 中分解能、高統計実験 → 分散はそこそこで厚い標的と大口径分光器