

高エネルギー研における原子核実験

埼玉大・教養 田 辺 孝 哉

高エ研において可能な原子核実験は極めて広範囲にわたる。主リングの8～12 GeV 陽子ビーム、ブースターの500 MeV 陽子ビームを直接用いるか、2次粒子として得られる π 、K中間子と反陽子、又は3次粒子としての μ 粒子ビームを用いることも今や現実のものとなっており、単に可能性について論ずるのであれば、高エネルギーないしは中間エネルギー核物理全般の実験に論及しなければならない。しかし此処では既に建設が進行中であり既に日程表に挙がっている現実的実験計画に限定して論じたい。主リング大実験室に配置されるチャンネル(第1図)のうち原子核物理と関わりが深いものに

- (1) K 2チャンネル：運動量1.0～2.3 GeV/c 領域の K^{\pm} 、 \bar{p} を取り出す中間エネルギー・チャンネル
- (2) K 3チャンネル：運動量1.0 GeV/c 以下の K^{\pm} 、 \bar{p} を取り出す低エネルギー・チャンネル及び energy-loss タイプのスペクトロメーター
- (3) T1チャンネル：低エネルギー又は stopped π^{\pm} を取り出すテスト・チャンネル
- (4) π 1チャンネル：高エネルギー π 中間子チャンネル
- (5) π 、 μ テスト・チャンネル (PHASE 0)：運動量300 MeV/c 以下の stopped π 、 μ を取り出すテスト・チャンネル、1978年10月に新設予定

があり、更にブースター利用施設(第2図)に次の中間子ビームが存在する。

- (6) stopped π チャンネル及び超伝導 μ チャンネル (1978年4月建設開始、1982年3月完成予定の東大理学部施設)

K 2チャンネルでは13 GeV/c の陽子が 10^{12} 個入射するとき、 $1 \times 10^6 K^+$ 、 $5.4 \times 10^5 K^-$ 、 $1.2 \times 10^5 \bar{p}$ が得られる¹⁾ からK中間子と原子核との弾性・非弾性散乱、 \bar{p} 原子及び \bar{p} 消滅等の実験が期待されるが、ビームの運動量が1 GeV/c 以上の領域にあり、現在は分解能の十分なスペクトロメーターが存在しないから、原子核固有の構造研究には、その目的で設計されたK 3チャンネル及びスペクトロメーターの組み合わせの方がはるかに有効である。

π 1チャンネルで得られる数 GeV/c の π の原子核による弾性・非弾性散乱のA依存性や核からの π 生成を伴う反応における核構造研究は興味のあるテーマである。しかしより直接的に核子集団の振舞を検出するためには stopped π^{\pm} の散乱・吸収過程を用いて、生成核の分布、 γ 線の多重度、 π^- 、 μ^- に誘導される核分裂、中性子分布等の測定が有効であるが、その一部は既に T1 チャンネルで実施されており^{2), 3)}その解析が進行中である。特に Ta, Ni, Co, Fe, Pb, C, He 等に π^- を吸収させて発生した中性子分布において evaporation 部分の他に prompt event として nonevaporation の部分 A-依存性が測定されている²⁾。

今後の高エ研の核物理実験計画として準備が着実に進行しており、物理的にも相当の成果が期待される3つの計画を以下に取り挙げる。

「中間子と核の相互作用」

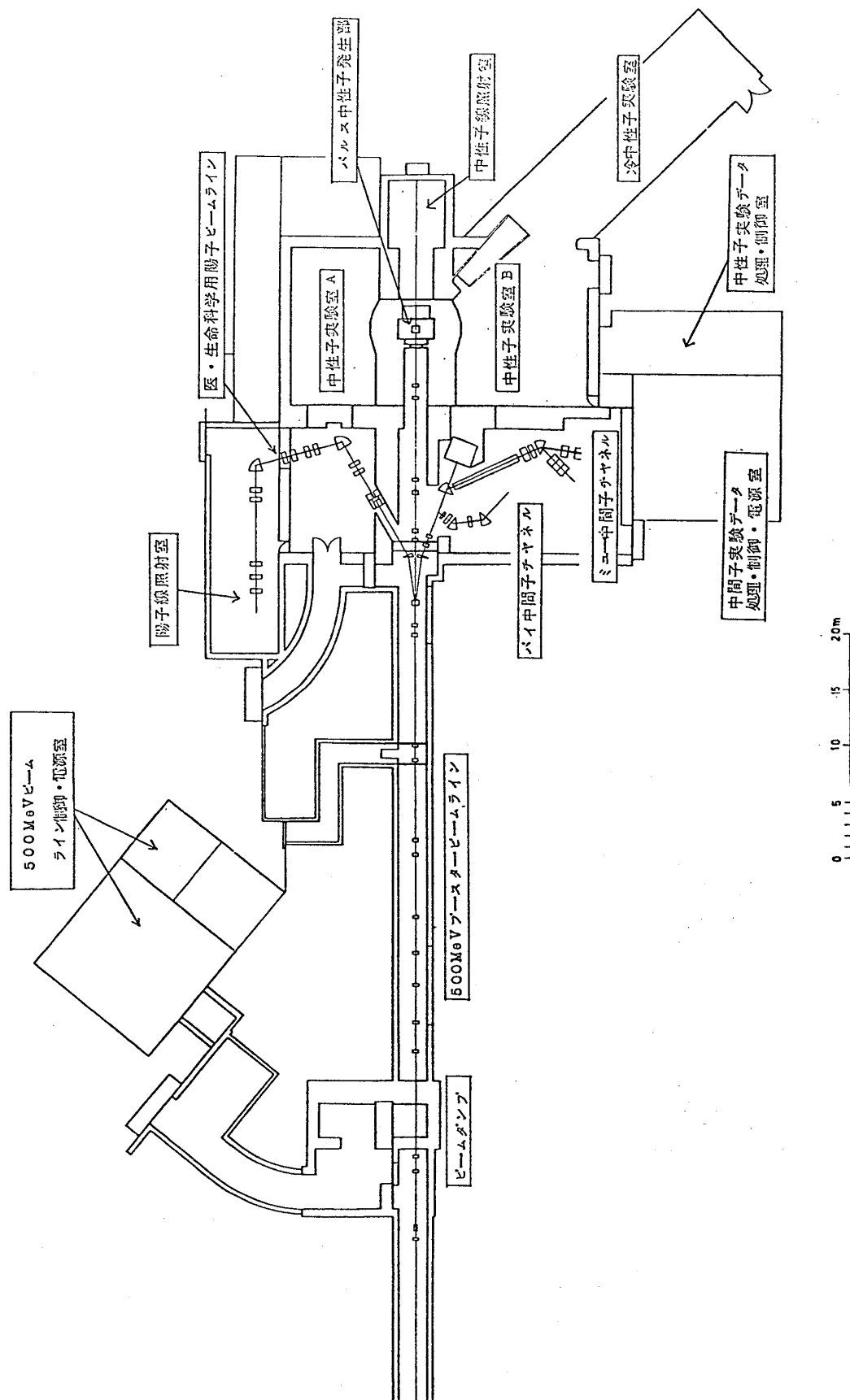


図 1 ブースター利用施設

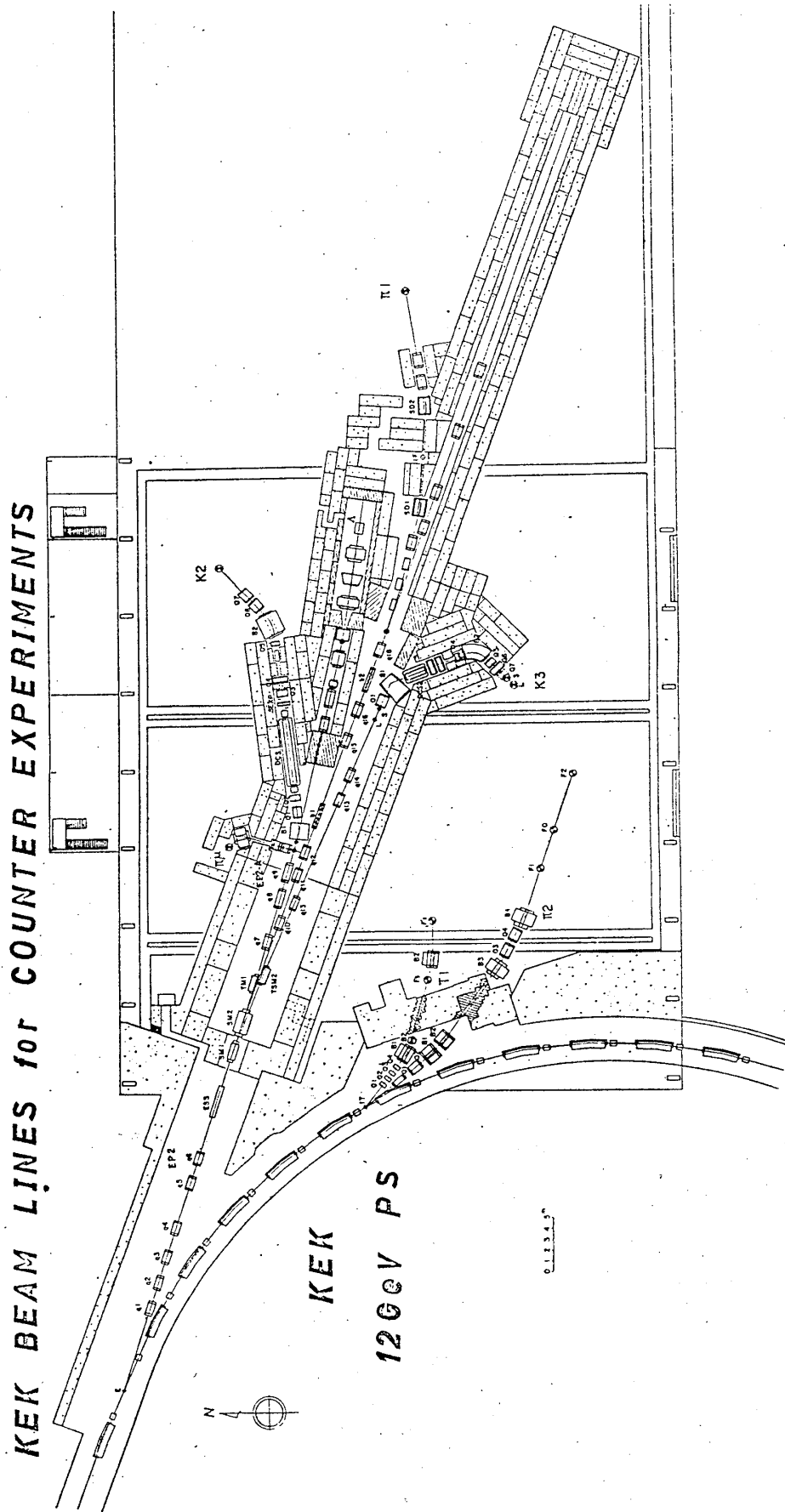


図 2 主リング大実験室ビームライン

- (1) Hypercharge 交換反応を利用した Hypernucleus の系統的⁴⁾研究：K3 チャネルに 12 GeV の陽子が 10^{12} 個入射した場合期待されるビーム強度は次の通りである。⁵⁾

K3-S (High Intensity Mode)

$$\begin{aligned} K^+/K^- & 1.1 \times 10^5 / 2.2 \times 10^4 (0.6 \text{ GeV/c}), \quad 3.3 \times 10^5 / 5.5 \times 10^4 (0.8 \text{ GeV/c}) \\ \bar{p} & 3.5 \times 10^3 (0.8 \text{ GeV/c}), \quad 1.1 \times 10^4 (1.0 \text{ GeV/c}) \end{aligned}$$

K3-L (High Resolution Mode)

$$\begin{aligned} K^+/K^- & 7.2 \times 10^4 / 1.2 \times 10^4 (0.8 \text{ GeV/c}) \\ \bar{p} & 8.0 \times 10^2 (0.8 \text{ GeV/c}) \end{aligned}$$

K3-B (\bar{p} Mode)

$$\bar{p} \quad 2.7 \times 10^3 (0.8 \text{ GeV/c}), \quad 8.0 \times 10^3 (1.0 \text{ GeV/c})$$

K3 ビームと π 中間子スペクトロメーターを用いて Hypernucleus を生成する反応 ${}^A_Z(K^-, \pi^-) {}^A_Z^*$ から生ずる π^- のスペクトルを精密測定して Hypernucleus の励起準位 (Strange Analogue State), もし存在すれば巨大共鳴 (Strange Giant Resonance) の準位と幅及び生成断面積測定を行なう。 ${}^A_Z^*$ からの γ 線測定により, Hypercharge 交換反応では直接は励起されない準位の検出を行ない Strange Analogue State の崩壊様式を決める。Hypernucleus の内部の様な 10^{16} Gauss にも達する強磁場中で, 自発的対称性の破れからの回復がある場合⁶⁾ A の崩壊や弱相互作用による散乱 $AN \rightarrow NN$ にその効果が現われ, 奇-偶と偶-偶核の間に差が見出されるかも知れない。

- (2) K^\pm 中間子-原子核超前方散乱微分断面積の測定⁷⁾： K^\pm と原子核の前方散乱を精密に測定して, 微分断面積 e^{bt} のスロープ b , 振幅の Re/Im 比, 全断面積 σ_T の測定を行なう。分散式を用いて $K^- - {}^{12}\text{C}$ の振幅の極 (Hypernucleus) を決定する。 $K^- - {}^{12}\text{C}$ 散乱長は K 中間子原子と比較すべきものである。 K^- 核は表面の核子分布がデリケートに反映するであろうが, K^+ はエキゾチックチャンネルであるから多重散乱理論との比較に好適である。Glauber 近似の計算では,⁸⁾ $K^- - {}^{12}\text{C}$ では σ_T は 2 回散乱以上の効果が効いて impulse 近似より 30% 位小さく, Re/Im 比も低エネルギーで impulse 近似から大きくずれる。

- (3) 低エネルギー π, μ による核物理及び物性物理：ブースター利用施設⁹⁾における研究目標の一つは中間子をプローブとする物理学¹⁰⁾である。ブースター・ビームはくり返し 20 Hz, 従って 50 msec 毎に時間幅 50 nsec の鋭いパルス・ビームが来る。瞬間的な強度は極めて高く 4.5×10^{11} p/pulse (平均すると $1.5 \mu\text{A}$) に達する。パルス状であるというユニークな特徴を生かし $1 \mu\text{sec}$ から 1msec 位の寿命の β 崩壊, アイソマーの検出, 稀少な events の検出, 外場等の条件下における μSR 等応用範囲は広い。 $1 \mu\text{A}$ のブースター・ビームを用いるとすればパルス π ビームは 200MeV/c ($\pm 10\%$) において 10^6sec^{-1} 程度, 超伝導 μ チャンネルにより得られる偏極 μ ビームは, $1.8 \times 10^6 \mu^+ \text{sec}^{-1}$, $0.6 \times 10^6 \mu^- \text{sec}^{-1}$ 程度になるであろう。他方, 生リングの $\pi\mu$ チャンネル (PHASE 0) は, 主リングから遅い取り出しによって得られる 12 GeV の連続陽子ビームが EPA-2 の点に 10^{12} p に達したとき, 得られる中間子強度は $10^6 \pi^\pm$, $10^4 \mu^\pm$ ($150 \text{MeV/c} \pm 10\%$) になる。強度は低い, 連続ビームであるから中間子原

子, μ SR による物性研究等その適用範囲は極めて広く, ブースターのパルス・ビームでは不可能な実験を補うものとして極めて重要なものとなるだろう。

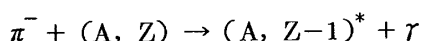
参 考 文 献

- 1) S. Kurokawa et al., KEK Report KEK-77-12 (1977).
- 2) 柳父琢治他, 高エ研研究会「 π , μ 中間子を用いる原子核実験」(1978年3月13-14日)
- 3) 伊藤栄彦他, 同上。
- 4) 釜江常好他, 高エ研共同利用実験提案(1976)。
- 5) Y. Takada et al., KEK Report KEK-76-15 (1977).
- 6) A. Salam et al., Nature 253 (1974), 569.
- 7) 鷺見義雄他, 高エ研共同利用実験提案(1977)。
- 8) H. Fukuma et al., Hiroshima Univ. preprint (HUPD-7803, 1978).
- 9) 田辺孝哉, KEK Report KEK-77-7 (1977), p. 1.
- 10) 山崎敏光, 応用物理 45 (1976), 373; KEK Report KEK-77-7 (1977), p. 27.

Radiative Pion Capture on ^{12}C and ^{16}O

阪大・理 大塚 登
大坪 久夫

原子核における高エネルギー ($\sim 100\text{MeV}$) 光子発生を伴う π 中間子吸収



は radiative pion capture と呼ばれている。¹⁾ この反応においては, 吸収される π 中間子の運動量が小さい場合には, Gamow-Teller 型の演算子 $\sigma\tau$ が主に寄与するため, 特に spin-isospin mode の巨大共鳴が選択的に励起される事が期待される。実際, 実験で得られた photon spectrum には, 準弾性過程による smooth な background の上に, 巨大共鳴と考えられる顕著な peak が見られる。²⁾

反応を引き越す有効相互作用は素過程の π 中間子光発生の振巾のしきい値付近の振舞いから得られ, 原子核における, 原子軌道 ($l_\pi m_\pi$) からの radiative pion capture に対する相互作用 Hamiltonian は impulse 近似の下で次の様に表わされる。³⁾

$$H_{\text{int}} = \sum_{i=1}^A e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}_i} H_{\text{eff}}^{(i)} [\phi_{l_\pi m_\pi}(\hat{\mathbf{r}}_i)]$$

$$H_{\text{eff}} = 4\pi i \tau_- [c_1 (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{e}_\lambda) + i c_2 (\mathbf{q} \cdot \mathbf{k} \times \mathbf{e}_\lambda) + c_3 (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{e}_\lambda) (\mathbf{q} \cdot \mathbf{k}) + c_4 (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{k}) (\mathbf{q} \cdot \mathbf{e}_\lambda)]$$