

3. 原子炉のための核データ (国際会議) (ヘルシンキ工科大学)

西村 和明 (原研)

「原子炉のための核データ」というテーマで、第1回国際会議が1966年10月パリで開かれた。今回、同じテーマで第2回国際会議がヘルシンキで開かれた。この会議でのトピックスは次の項目に分かれ、総計約100件の論文発表、約20件の招待論文の発表があつた。

- a. General Aspect of the Needs and Uses for Nuclear Data
- b. Cross Sections and Techniques for High Precision Neutron Nuclear Data Measurements
- c. Nuclear Data in the Thermal and Resonance Energy Regions
A > 220
- d. " " " "
A < 220
- e. Nuclear Data above the Resonance Energy Regions A > 220
- f. " " " "
A < 220
- g. Relationships of Microscopic and Integral Data
- h. Evaluation Problems and Methods

会議内容の詳細については、個々の発表論文を見なければならぬが、ここでは内容の概略を紹介すると共に、特に印象に残つたものについて述べる。

aのトピックスでは、中性子核データに対する炉物理側からの要求、原子炉の設計に影響を及ぼす核データの不確かさ、天体物理における核データの重要性と必要性、熱核融合炉に対する核データの要求について講演があつた。

核データの測定技術は、要求される測定精度がきびしくなるにつれ、それに見合うよういくつかの改良、進歩があつた。しかし、重要な核データに関する信頼度はまだ充分でなく、第1表のような現状であることが明らかになつた。

動力炉の経済性の面、すなわち現在の電力コストの不確かさが ± 0.13 (mill/KW(e)h)であるが、1975年の努力目標として ± 0.03 (mill/KW(e)h)とした場合、どのような核データをどの位の精度で測定すればよいか。という研究報告もあつた。

核融合関係の核データとしてはトカマク型の例をあげて、

${}^6\text{Li}$ の σ_T , $\sigma(n, n)$, $\sigma(n, n'd)$, $\sigma(n, t)$,

${}^7\text{Li}$ の σ_T , $\sigma(n, n) + \sigma(n, n')_{0.48\text{MeV}}$, $\sigma(n, n't)$
 $\sigma(n, n'\gamma)_{0.48\text{MeV}}$

Nb の σ_T , $\sigma(n, n)$, σ_{ne} , $\sigma(n, 2n)$, $\sigma(n, \alpha)$

の核データの現状が、ソ連から紹介された。これらの反応のうちで、tをつくる源になるという意味で、 ${}^7\text{Li}(n, n't)$ 反応は最優先で大事な核データである。

従来の核分裂型原子炉では、thermal-5 MeVの核データが重要な役割を果たしてきているので、比較的よく測定されている。しかし5-14 MeVの核データに対する要求はあまり強くなかったので、とくに8-13 MeVの領域の核データは殆んどない。例えばNbの $\sigma(n, n)$ のデータはわずか3-15 MeVの間で5点しかない。 ${}^7\text{Li}$ の $\sigma(n, n) + \sigma(n, n')_{0.48\text{MeV}}$ にしても13点(そのうち3点は14 MeV)である。融合炉におけるこのエネルギー領域の核データの重要性が強調された。

このほか全エネルギーの約 $1/2$ は γ 線で放出されるので、ブランケットにおける(γ, f)のデータの必要性、非弾性散乱による2次中性子の角度分布データの重要性も報告された。

bの高精度の中性子核データに対する断面積と技術の項目では、標準核断面積の測定データおよびそれらの評価の現状が述べられた。具体的には ${}^6\text{Li}(n, \alpha)$ 、 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 、 $c(n, n)$ の測定データ、およびそれらの解析、評価について報告があり、断面積の高精度測定にとつても大事な中性子束の絶対測定についてもいくつかの研究発表があつた。

これらに関連する技術の進歩に関して、この5-6年の間に次のような進歩があり、これに基づいて測定結果がこの会議でも発表されている。

- 1) オークリッジのリニアアクセラレーター(米国)、最新式のサイクロトロン(西独)、地下核爆発(米国)など、強力な中性子源の開発、利用が行われたこと。
- 2) KeV領域で“平坦な”中性子束検出器が開発され、反応断面積の絶対測定が進んだこと。
- 3) 核分裂破片の検出のための試料作成の技術が進み、たとえば電子一散布方式により、約 $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ のきわめて薄い均質な厚さの試料ができるようになった。このため、 σ_f の相対比の測定の信頼度がかなり改良された。
- 4) 速い計測回路をもつT-O-F法の進歩により、非弾性散乱中性子に対するエネルギー分解能が上がり、個々のレベルの分離ができるようになった。またGe(Li)検出器により個々の γ 線励起曲線の測定に大きな進歩がもたらされ、T-O-F法と共にレベルスキームの研究に役立つ。

c, d, e, f における最近の測定核データの項目では、いくつかのトピックスについて参加者の注目が向けられた。それをあげると、次のようなものがある。

1) ^{239}Pu の共鳴と α 値:

サクレーのリニアークセラレータによる勢力的な測定が行われ、600 eV まで S 波の共鳴が多数見出され、それらのスピン値が決定された。測定された多くの Γ_f の値の分布は 2 つのグループに分かれ、このことから既知のスピン値は 0^+ (大きな Γ_f) と 1^+ (小さな Γ_f) の共鳴に属することが推察された。これらはしきい値以上 (above-threshold) およびしきい値以下の核分裂にそれぞれ対応している。

α 値 ($=\sigma_c/\sigma_f$) が数 KeV 以下で変動していることも、double-hump の形をした核分裂バリアの中間状態を経て進行する 1^+ 共鳴の Sub-threshold fission として充分理解されるようになった。ハーウエルのリニアークセラレータによる新しい α の測定が報告され、従来との値と比較された。第 1 図にこれが示されているが、0.1-30 KeV 領域で依然として $\pm 10\%$ 以上の誤差がある。 α の値における喰いちがいの原因のいくつかは、規準化に用いた値の差によるものであることが専門家会議で解つていたので、この点に考慮が払われて評価が行われた。

2) $\bar{\nu}$ のエネルギー依存性:

最近の詳細な測定によれば、2 MeV 以下で今まで直線的に変化すると仮定されていた線からずれて、 $\bar{\nu}$ に構造があることが明かになった。これらは ^{235}U に顕著にあらわれ、 ^{239}Pu にも見られるが、核分裂破片の運動エネルギーにある同様な変化にも関係づけられるし、核分裂複合核のサドル点の transition 状態にも関係がある。

$\bar{\nu}$ は原子炉の臨界量、増殖比、出力分布に影響があるので Davey によつて詳しく評価された。この結果は第 2 図に示される。実験誤差は図には示されていないが、 $\pm 0.020 \sim \pm 0.030$ あり、核分裂破片のデータ(x)印では ± 0.040 である。会場内での議論を通じて、Moore から理論的根拠として P-波のチャンネル効果が考えられるとか、また実験者側から低エネルギーでプロトン反跳カウンタを使うのは危険であるとか、のコメントがあつた。

3) ^{235}U の核分裂断面積 σ_f :

この核データは多くの σ_f や σ_c の測定の際の標準となるので重要であり、今回も Poenitz Davey らのレビュー論文で議論があつた。第 3 図、第 4 図にみられるようにまだ 20 KeV ~ 2 MeV における喰い違いは解決されていない。

また Bowman らの、高分解能 (1 ns/m) のリニアックによる、1.5 KeV から 500

KeV までの測定結果の発表があつた。これによると、200KeV までの σ_f には多くの共鳴構造が見られ、 σ_f の平均断面積における中間構造として解釈し得る可能性があると報告された。

4) ^{238}U の捕獲断面積 σ_c ：

今までの測定データの間は20~50%の喰い違いがあることはよく知られているが、今回さらに新しいデータがFrickらによつて発表された。これは1KeVから1MeVまでのもので、Poenitz・Barry・Maxon, Di venらの測定領域をカバーするもので興味があつた。Frickらの結果は全体としては、Poenitzのデータとよく一致しているが20KeV-100KeVのところではMaxonのデータとは合わない。しかし10-15%の精度で平均の σ_c の絶対値が確立されたと彼らは云つている。

5) ^{238}U の非弾性散乱断面積 $\sigma_{n,n'}$ ：

高速炉における減速機構のもとになる ^{238}U の $\sigma_{n,n'}$ は、炉内中性子スペクトラムに大いに関係がある。現在の評価済み核データファイルを用いて計算された核分裂の割合の比： $f(^{238}\text{U}) / (f(^{235}\text{U}) + f(^{238}\text{U}))$ や $f(^{238}\text{U}) / (f(^{238}\text{U}) + f(^{239}\text{Pu}))$ が、積分実験の測定結果とくらべて約10%低いことは1-2MeVにおける ^{238}U の $\sigma_{n,n'}$ が高すぎるとも考えられる。この意味で最近のANLでの測定や、Reitmanの測定に興味があつた。

6) 構造材料に関する高速中性子捕獲断面積 σ_c ：

鉛減速パイプとリニアックによるFeの(n, γ)断面積の測定値の間には、よく知られた喰い違いがある。Maxonの0.02-200eV領域における最近の測定によれば、 ^{56}Fe 以外のアイソトープに狭い共鳴があることがわかつた。このことから無限希釈の共鳴積分の $n_{\text{non}} - 1/v$ 部分の喰い違いはかなり減少するだろう。またKeV, MeV領域におけるFe, Ni, Crの(n, γ)測定値には、Maxonも指適したように、~30%の喰い違いがある。またFrickeは1KeV-1MeVにわたり、Mo, Rh, Gd, Ta, W, Re, Auについて±10-15%の差(Moは除く)で新しいデータを提供した。

7) 中重核および重い核の弾性、非弾性散乱断面積：

弾性、非弾性散乱断面積の角度分布の測定について、とくにスウェーデンの勢力的な仕事が目立つた。

σ_{nn} については、V, Cr, Fe, Niの1.8-8.1MeVの測定と解析、AlからBiまで22元素について8MeVでの測定結果； $\sigma_{nn'}$ についてはAl, V, Mn, Fe, Nb, Biの2-4.5MeVの測定と解析、BeからPb, Pb(rad)まで22元素についての測定結果の発表があつた。原研におけるAl, Si, Fe, Zn, Cuなどの測定と解析にも関心が持たれた。

9の積分実験データと微視的実験データとの関係はCampbellによりレビュー、核データの調節(adjustment)について序論的な話しがあつた。

積分実験から推論された核分裂スペクトラム $\alpha(E)$ のエネルギーが、微分測定に比べて高い方に移るといふ問題は、まだ解決されていない。この会議でFabryらによるClean Integral experiments のプログラムの紹介があり、 ^{235}U の熱中性子分裂スペクトラム $\alpha_5(E)$ と ^{235}U の分裂断面積 $\sigma_f(E)$ との2つの量の間の相関関係について、詳しい報告があつた。

hの評価の問題と方法について注目された新しい発表は、A IのAiterが行つたものである。数値核データのグラフ化をコンピュータを用いてブラウン音に映し出す方法で、従来の機械的なプロットより一歩進んだものである。また最近米国で評価済み核データファイルの改訂版(EFND/B-II)を出したが、それに関連した核燃料物質； ^{238}U 、 ^{239}U 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu の10 K-15 MeVにおける解析、 ^{23}Na 、 Ca 、 ^{233}U 、 ^{235}U の多重レベル共鳴解析、FPに関連したアクチナイドの核データの10 MeVまでの評価、 σ_f と σ_c の同時評価などの発表があつた。日本における評価の仕事； ^{238}U の $\sigma_{nn'}$ の解析、 Cr 、 Fe 、 Ni 、 Mo の σ_c の評価も、各国のデータファイルとの比較を行つているという面で注目された。

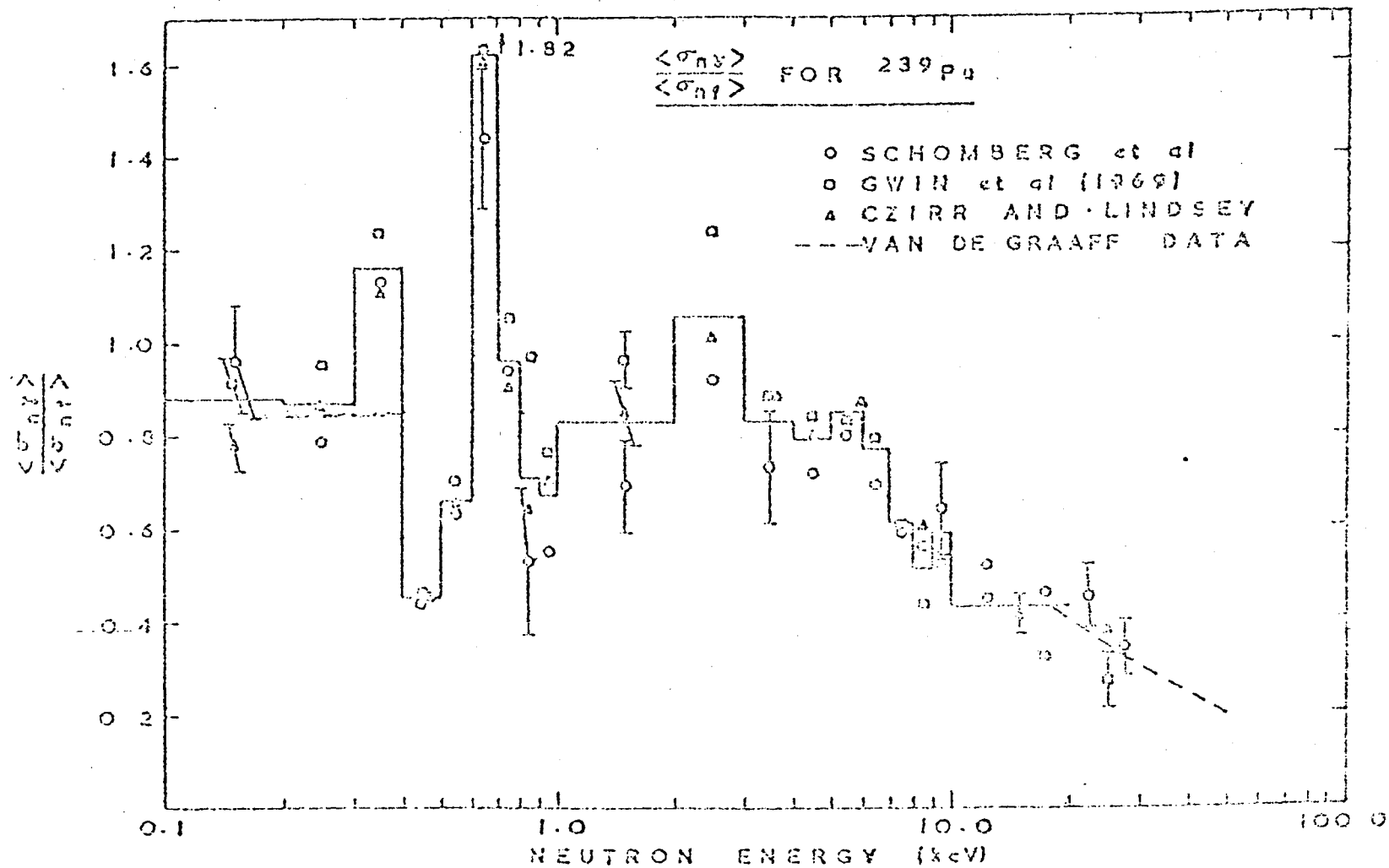
会議を主催したIAEAの事務局によればcontributed Paperとして応募した論文は180件以上にのぼるといふ。これらを約半分にしぼるのに苦勞した話し、論文のしめきり後もまだ米国から15件、ソ連から14件の申し込みがあつたこと、公式チャンネルを通すことと、事務局に直接郵送するとの両方の窓口を通した方がよいというコメント、国際会議のため同時通訳に多くの困難な問題がある、などが会議終了後話題になつた。

しかし、会議の終りに配布されたアンケート調査によれば、管理面からみて86%、科学的成果の面からみて67%、の"excellent"あるいは"very good"という意見分布があつたので、ヘルシンキ会議はまず成功の部類に属すると云えるであろう。

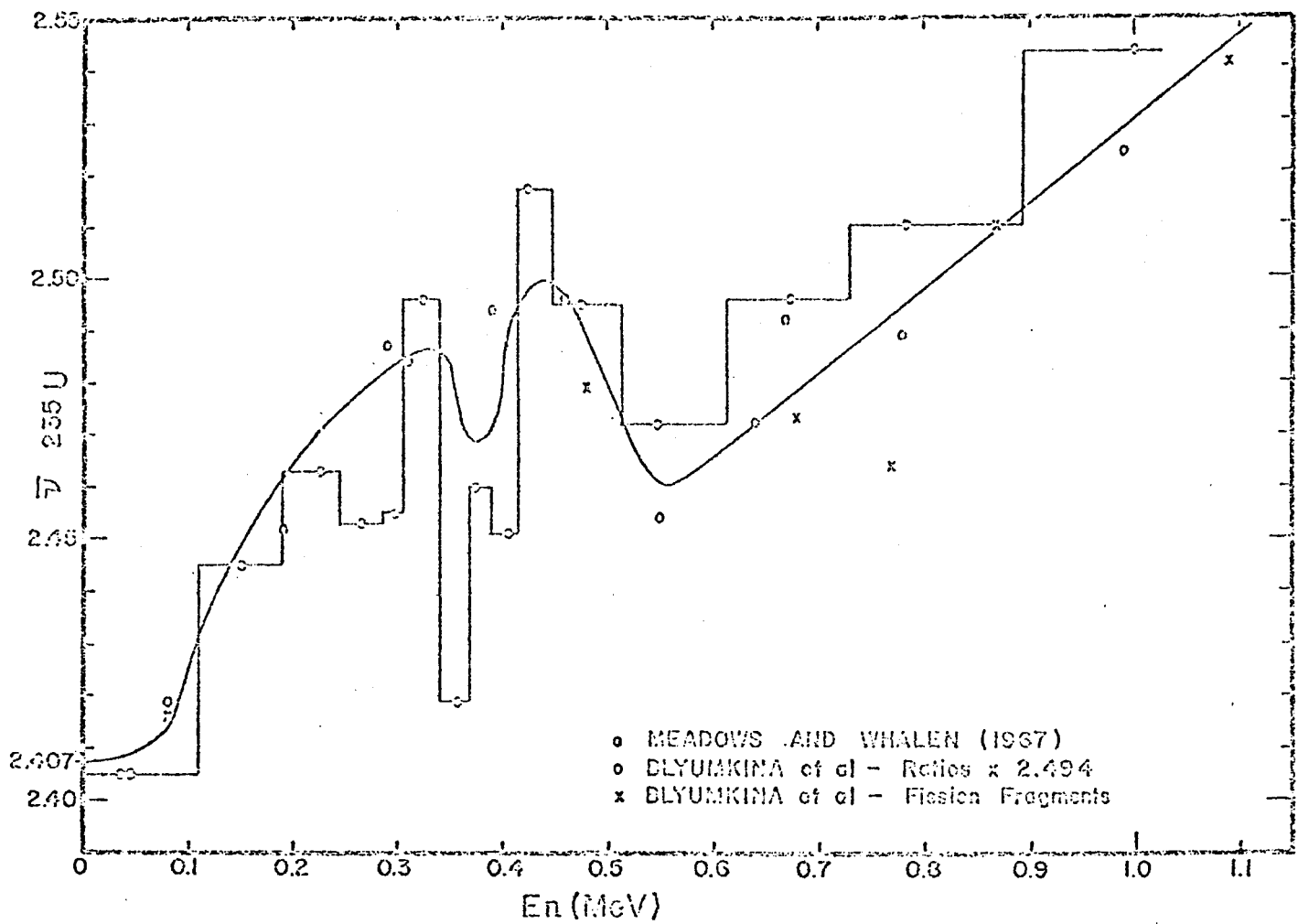
第 1 表

Present confidence level of important nuclear data

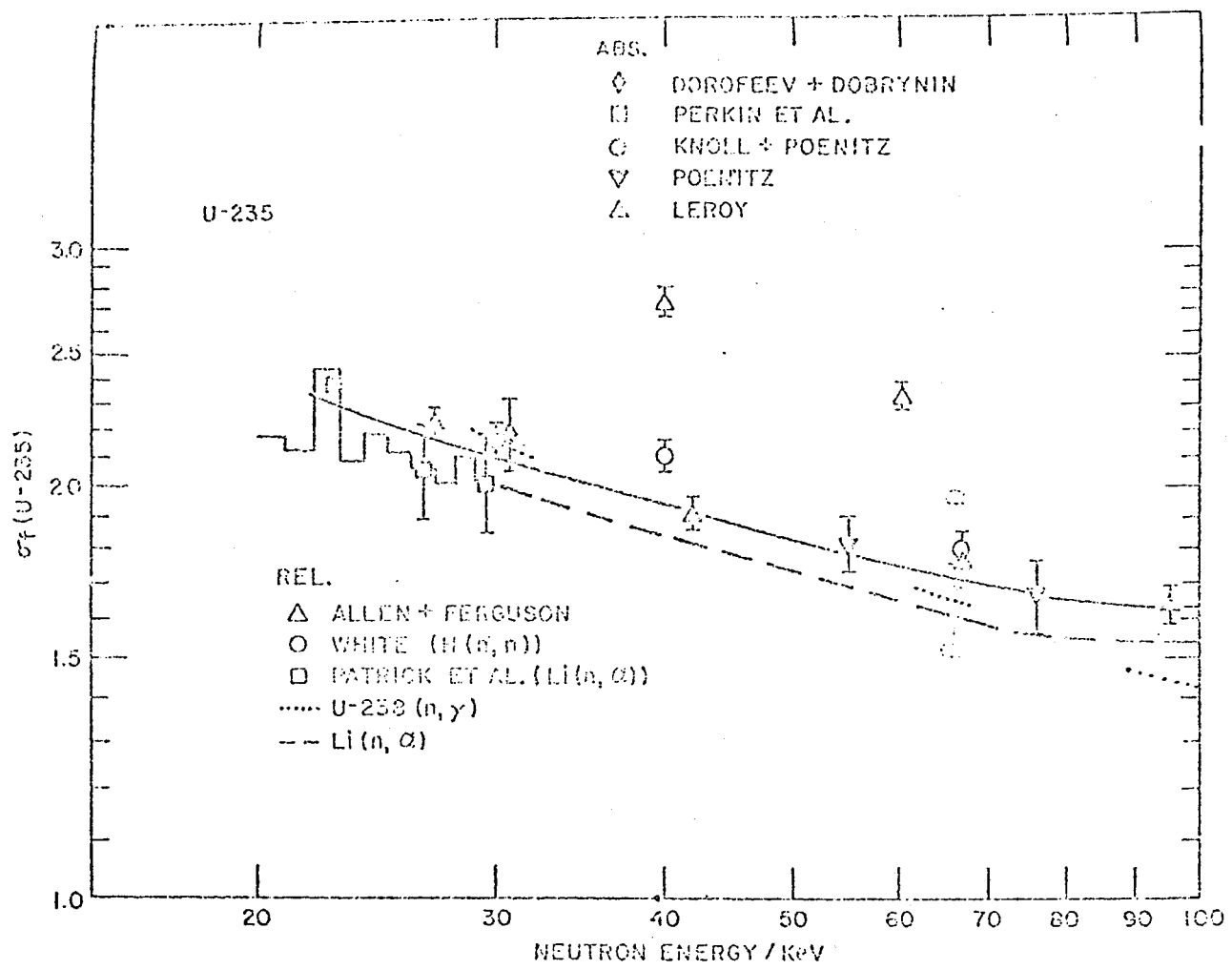
Material	Quantity (Cross Section)	Energy range	Accuracy requested (RENDA 70 (12)) ($\pm\%$)	Confidence level achieved ($\pm\%$)
He ³	n, p	10KeV - 5MeV	1 - 3	3 - 10
Li ⁶	n, α	10KeV - 5MeV	1 - 5	5 - 20
B ¹⁰	n, α	10KeV - 1MeV	1 - 5	3 - 10
Au ¹⁹⁷	capture	10KeV - 3MeV	1-5 (mostly)	5 - 15
U ²³⁵	fission	10KeV - 1MeV	1 - 3	≤ 10
	$\bar{\nu}$	1 - 5MeV	1 - 3	5 - 10
U ²³⁵	capture	10KeV - 3MeV	1	≤ 2
U ²³⁸	fission ratio	10KeV - 5MeV	2 - 10	10
Pu ²³⁹ /U ²³⁵		10KeV - 1MeV	1 - 3	3 - 5
		1 - 5MeV	1 - 3	5 - 10
Pu ²³⁹	fission	10KeV - 1MeV	1 - 3	10
	-	1 - 5MeV	2 - 5	10 - 15
Pu ²³⁹	α	0.1 - 100KeV	3 - 5	10 - 20
Pu ²³⁹	$\bar{\nu}$	10KeV - 4MeV	0.5 - 1	2
U ²³⁵ Pu ²³⁹	$\bar{E}(X(E))$	\geq thermal	2 - 5	10
Cf ²⁵²	$\bar{\nu}$ spontan	-	0.25 - 0.5	≥ 1



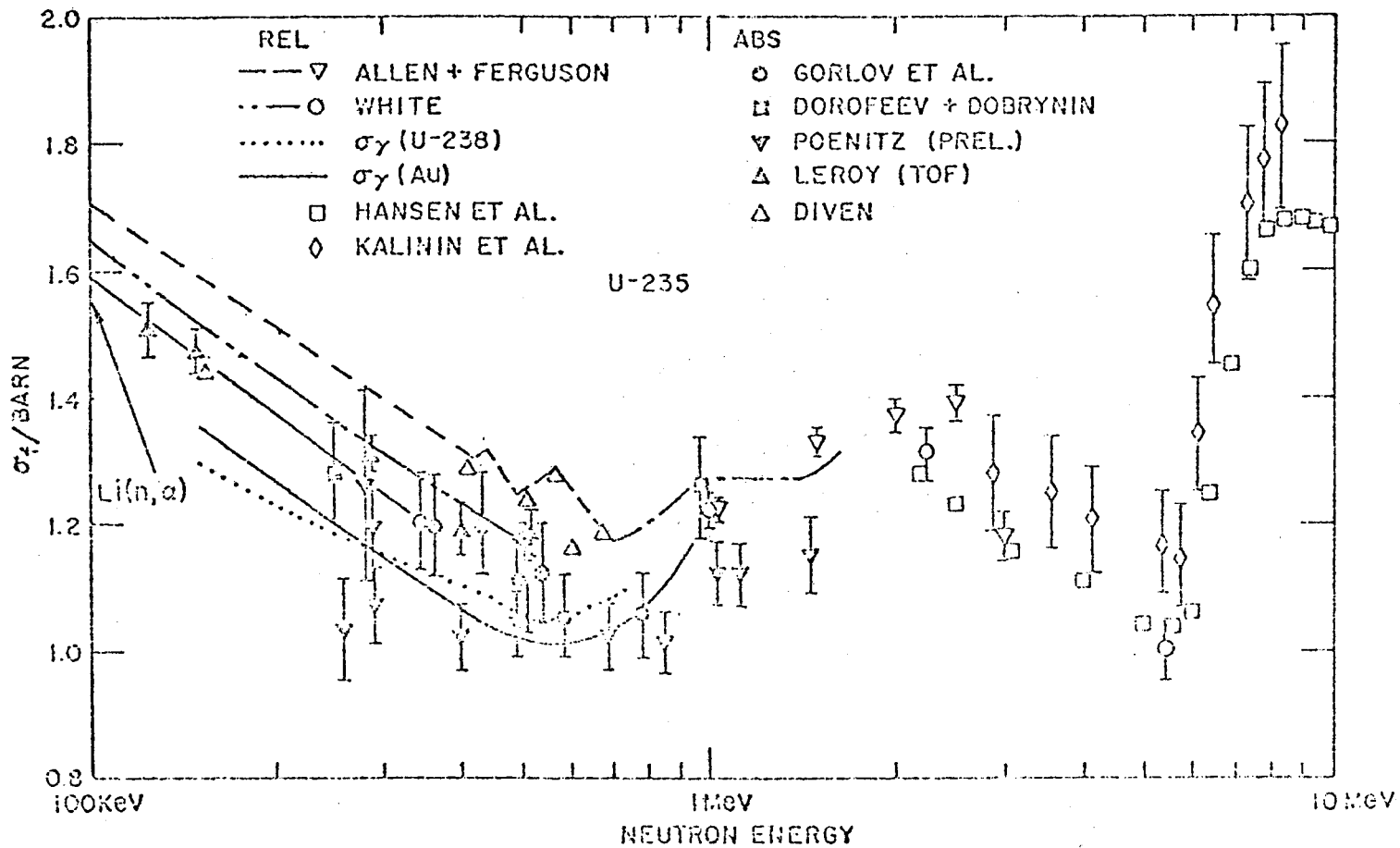
才 1 图



The Energy-Dependence of $\bar{\nu}$ for ^{235}U Below 1.1 MeV



The Fission Cross Section of U-235 below 100 keV



The Fission Cross Section of U-235 above 100 keV