

# 本系加速器——范式加速器

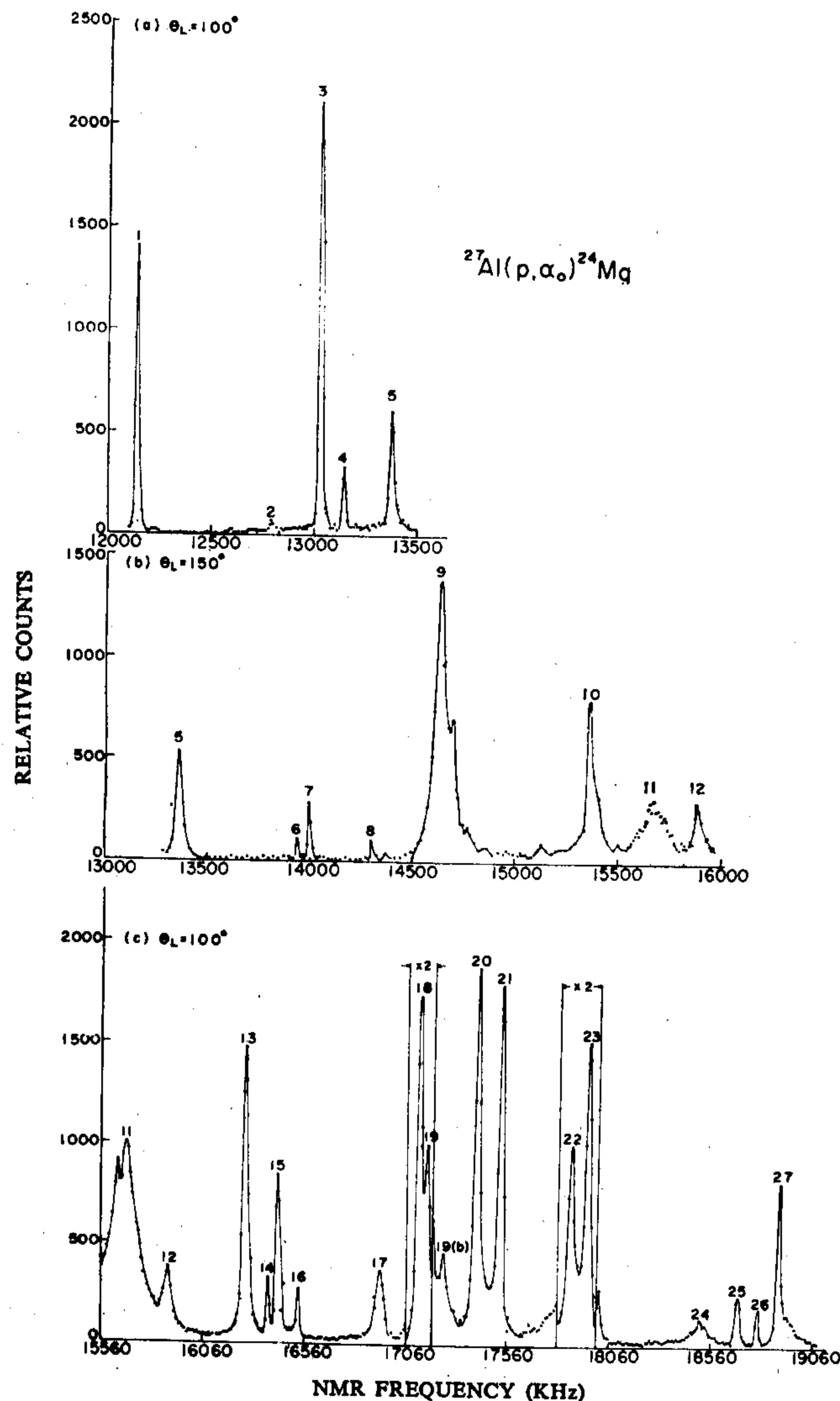
徐竹村

具備充分能量，衝進核力場範圍，產生反應之裝置。

## 一、何謂加速器？

約在五十年前 Cockcroft 和 Walton 把質子加速至八百 keV，以人工破壞原子核成功以後，爲了促進原子核和基本粒子之研究，加速器工學發展甚速。所謂加速器者，藉電場加速荷電粒子，使其

目前加速器種類多，能加速之能量已非昔比。製造一架高能量之加速器，在技術上固然需要多數高精科技人員之分工合作，在費用上已非一般國家所能擔負得起之裝置。世界上除美、蘇外，例如歐洲各國，也以合作方式建立他們的高能加速器實驗室。



圖一  $\alpha_0$  粒子截面積之質子能面數圖

表一 (1)類型各共鳴之角分布，用 Legendre Polynomial 分析所得之係數 A 值

Res. Nr.	$E_p(\text{keV})$	$A_2$	$\pm \Delta A_2$	$A_4$	$\pm \Delta A_4$
4	1391	-0.14	0.07	0.01	0.10
6	1566	0.40	0.05	-0.14	0.07
7	1578	-0.48	0.06	0.44	0.08
9	1726	-0.38	0.02	-0.02	0.03
10	1900	-0.21	0.04	-0.02	0.06
17	2309	0.42	0.07	0.08	0.10
23	2599	-0.57	0.02	0.00	0.04
25	2804	1.31	0.07	0.40	0.09
26	2834	0.42	0.07	-0.64	0.11
27	2865	0.20	0.04	-0.44	0.06

表二 用複合核理論導出之理論式

$J^\pi$	Theoretical formula
$0^+$	Isotropic
$0^-$	Forbidden
$1^-$	$1 + 0.2P_2$
$2^+$	$1 - \frac{15\gamma + 41t_1 - 7\sqrt{7}(\beta\gamma)^{1/2}\cos(\xi_{\alpha,0} - \xi_{\alpha,2})}{49(1+t_1)} P_2 + \frac{36\gamma + 9t_1}{49(1+t_1)} P_4$
$2^-$	Forbidden
$3^+$	Forbidden
$3^-$	$1 + \frac{4 - 5t_1}{5 + 5t_1} P_3$
$4^-$	Forbidden
$4^+$	$1 + \frac{5(10t_1)}{49(1+t_1)} P_3 + \frac{27(1-2t_1)}{49(1+t_1)} P_4$

## 二、加速器之種類

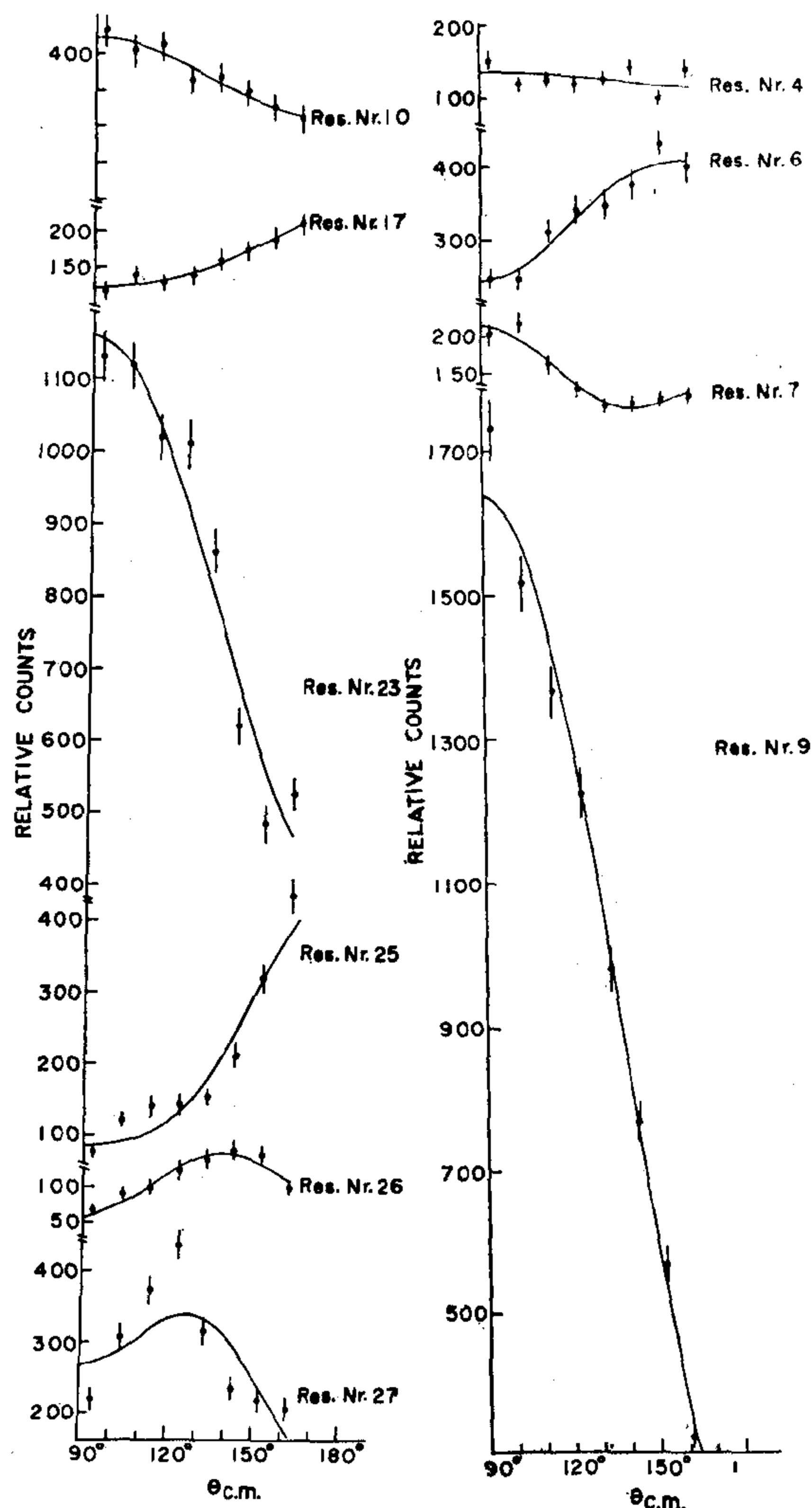
加速器大體上可分為四種：

1. 靜電加速器：係利用靜電高壓加速荷電粒子之裝置，目前最高靜電壓約為九 MV 左右。

2. 線型加速器：係利用交流電場反覆加速荷電粒子之裝置，目前最高可加速達八 Mev/核子 之能量。

3. 迴旋加速器：係一面利用磁場使荷電粒子作圓周運動，一面以交流電場反覆加速之裝置，目前最大可加速質子至五百九十 Mev 之能量。

4. 同步加速器：係一面以交流電場加速，一面增強磁場使荷電粒子保持在某一軌道上，作圓周運動之裝置，目前最大可加速質子至五百 Gev 之能量。不過我們要知道如果以能加速質子一千 Gev 而言，當以此種質子射擊質子時，以重心系計算其總能量也不過四十二 Gev 左右，這種能量可以讓兩個小型同步加速器各加速質子達廿一 Gev 正面相衝，便



圖二 (1)類型各共鳴之角分布  
實驗係用 Legendre Polynomial 分析所得最接近實驗值之曲線。

可輕易達到。所以今後更高能之加速器都以兩個加速器，加速荷電粒子正面相衝為構想。目前兩加速粒子正面相衝之同步加速器已達十九 Gev 之質子能。

## 三、范式加速器

(Vande Graaff Accelerator)

原子核是原子之核心，由中子和質子所組成，其半徑約為原子量之立方根乘  $1.5 \times 10^{-13}$  公分。欲瞭解原子核構造，可藉某種能量之輸入，以激發原子核內之核子（中子或質子）使其至高能階，再

表三 用複合核理論推定所得之結果以及他人所推結果以為參考

Res. Nr.	$E_p^{(a)}$ (keV)	$E_p^{(b)}$ (keV)	$E_p^{(c)}$ (keV)	$J^{(a)}$	$J^{(b)}$	$J^{(c)}$	$J^{(d)}$
1	1184	1184	12772	—	2 <sup>+</sup>	—	—
2	1319	1319	12907	—	—	—	—
3	1363	1363	12951	—	3 <sup>-</sup>	—	—
4	1391	1391	12979	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	2 <sup>+</sup>
5	1437	1437	13025	—	0 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	3 <sup>-</sup>
6	1566	1569	13154	3 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup>	—	3 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup>	—
7	1578	1583	13166	2 <sup>+</sup>	—	—	3 <sup>-</sup>
8	1650	1650	13238	—	3 <sup>-</sup>	—	—
9	1726	1726	13314	3 <sup>-</sup>	3 <sup>-</sup>	3 <sup>-</sup> , 5 <sup>-</sup>	3 <sup>-</sup> , 5 <sup>-</sup>
10	1900	1899	13488	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	2 <sup>+</sup>	—
11	1983	1985	13571	—	—	—	—
12	2030	2031	13618	0 <sup>+</sup>	—	—	—
13	2133	2135	13721	—	0 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	—
14	2162	2165	13750	—	3 <sup>-</sup>	—	—
15	2173	2175	13761	—	3 <sup>-</sup>	—	—
16	2202	2206	13790	—	3 <sup>-</sup>	—	—
17	2309	2311	13897	3 <sup>-</sup>	—	—	—
18	2364	2368	13952	1 <sup>-</sup>	—	—	—
18 <sup>(a)</sup>	2370	—	13958	3 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup>	—	—	—
19	2376	2380	13964	1 <sup>-</sup>	3 <sup>-</sup>	—	—
19 <sup>(a)</sup>	2386	—	13974	3 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup>	—	—	—
19 <sup>(b)</sup>	2395	—	13983	1 <sup>-</sup>	—	—	—
20	2446	2450	14034	—	0 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	—
21	2480	2484	14068	—	0 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	—
22	2578	—	14166	—	—	—	—
23	2599	—	14187	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>-</sup>	—	—	—
24	2756	—	14344	—	—	—	—
25	2804	—	14392	4 <sup>+</sup>	—	—	—
26	2834	—	14422	4 <sup>+</sup>	—	—	—
27	2865	—	14453	4 <sup>+</sup>	—	—	—

(a)本結果；(b) Abuzeid 等人所推之結果；(c) Meyer 等人所推之結果；(d) Tueter 等人所推之結果。

偵測在此激發過程中所脫出之粒子，從這些粒子之情報，可推知原子核內部之構造。因此輸進能量系統以及偵測系統，便是研究原子核物理上必備之要件。輸進能量之方法，一般係藉粒子之傳送，然而因粒子愈接近原子核，其間之作用力，如萬有引力和庫倫力等愈大，非藉加速器加速粒子至足夠之能量，否則無法接近至有效距離，而達到傳送能量之目的。

本系范氏加速器 (Vande Graaff Accelerator) 所能加速之能量約 3 Mev 以下，是一種低能量加速器。它所能研究之核種，受能量限制，限於輕原子核之範圍。但它加速之粒子電流較為穩定，能量分解能率較優，且可以精細地變換輸出能量等等，是他型加速器所不及之優點，故范氏加速器至今仍穩立於原子核研究界中重要之地位。

一原子核將傳送能量之粒子吸收後，形成新核種的原子核，此即所謂複合核 (compound nucleus)。形成複合核之必要條件為傳送粒子之能量較低 (即粒子通過原子核之時間較長)。

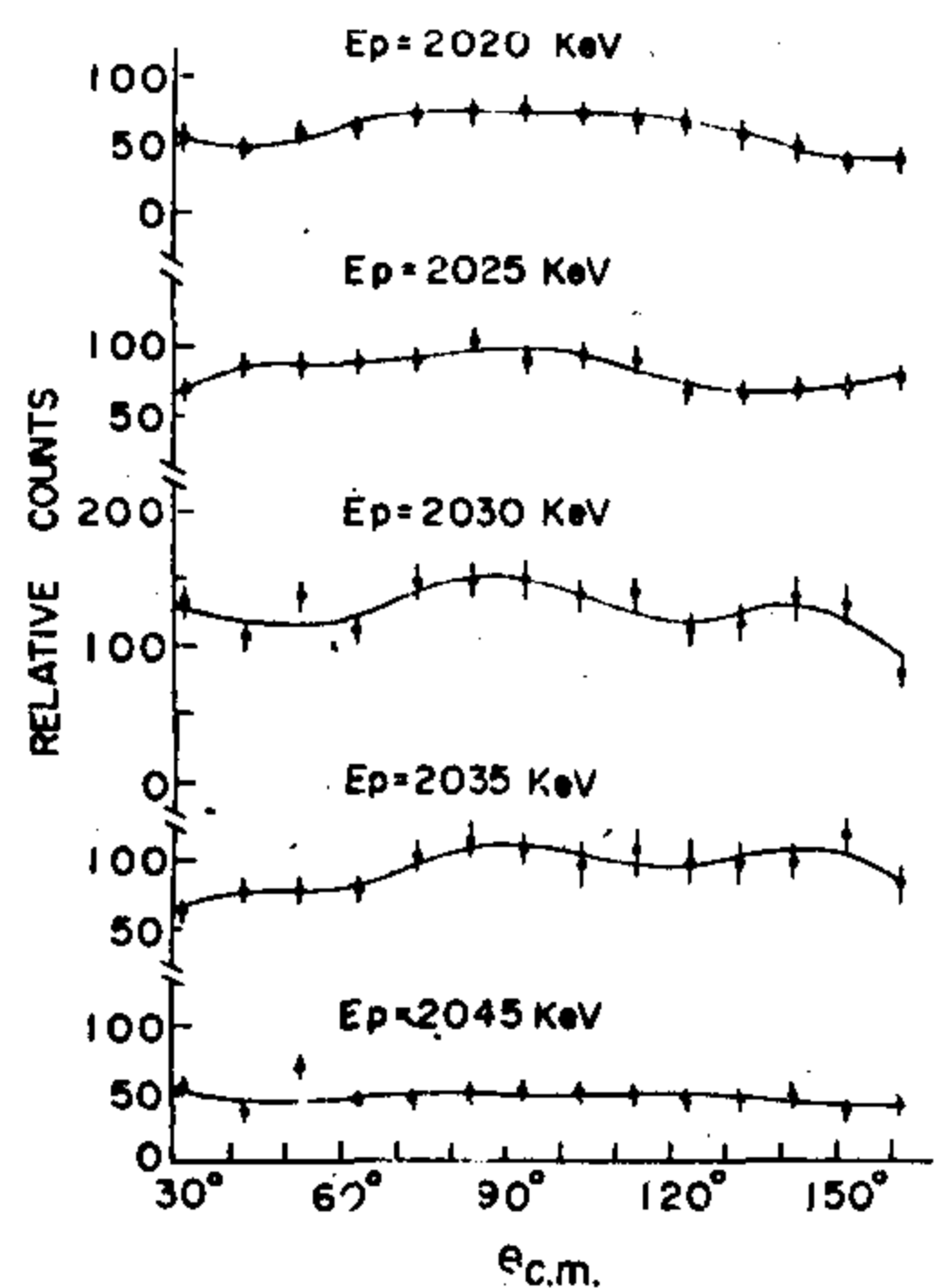
由此可知范氏加速器，最適合於作複合核反應

研究之工具。

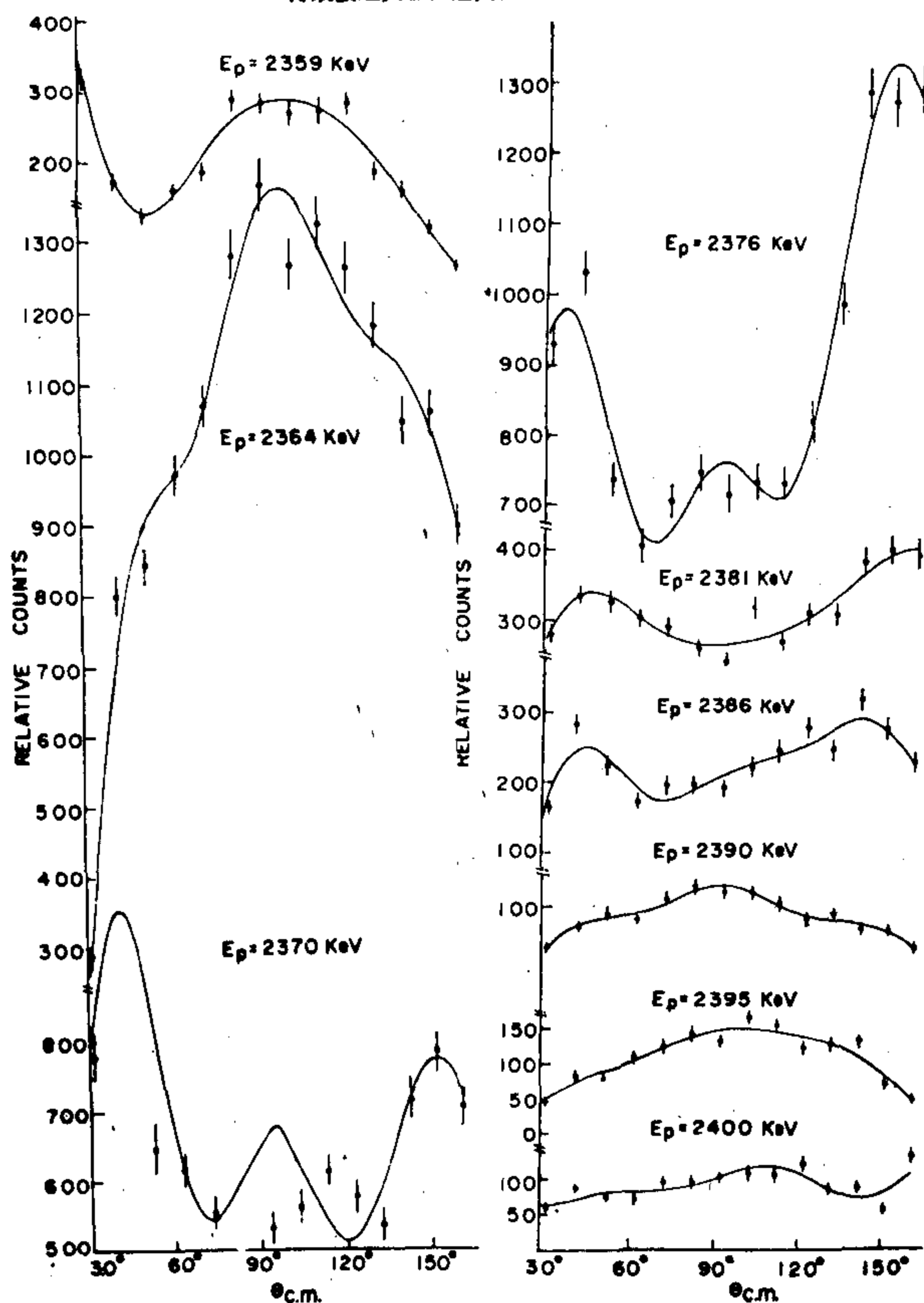
## 四、研究一例

一項原子核反應，精細之實驗，可以提供有關原子核結構正確的情報。為了達到此目的，加速器輸出粒子之能量、分解能率，以及偵測系統之分解能率是很重要的。此外靶的厚度也不可忽視。一般而言，整個實驗系統之精細度，往往決定於加速器輸出粒子之能量分解能率，偵測系統之分解能率和靶的厚度。而前兩者係決定於實驗儀器本身，較難提高其功效。後者靶的厚度則常是被考慮之重要因素；一般靶愈薄，粒子在靶中損失之能量愈小，分解能率愈高。可是靶愈薄愈難做，且在實驗進行時，容易發生破裂，又收集數據所需之時間較長。製作好的靶係放置在散射箱內，以供加速器加速之輸出粒射擊。如以  $^{27}\text{Al} (p, \alpha_0) ^{24}\text{Mg}$  核反應<sup>(1)</sup> 為例，加速之低能量輸出質子射擊  $^{27}\text{Al}$  靶，形成  $^{28}\text{Si}$  複合核。其脫出之  $\alpha_0$  粒子經固體偵測器後

，通過電子儀器之放大，再輸進多頻道脈高分析儀，便可自動地將  $\alpha_0$  粒子計數，所得數據即可供分析，以探討  $^{28}\text{Si}$  能階之能位。首先需要收集以質子能量為函數之  $\alpha_0$  粒子截面積，如圖一所示。該圖內，各共鳴 (Resonance) 尖峯上之號碼與表三對應，分別相當於  $^{28}\text{Si}$  能階之能位，例如 1 號代

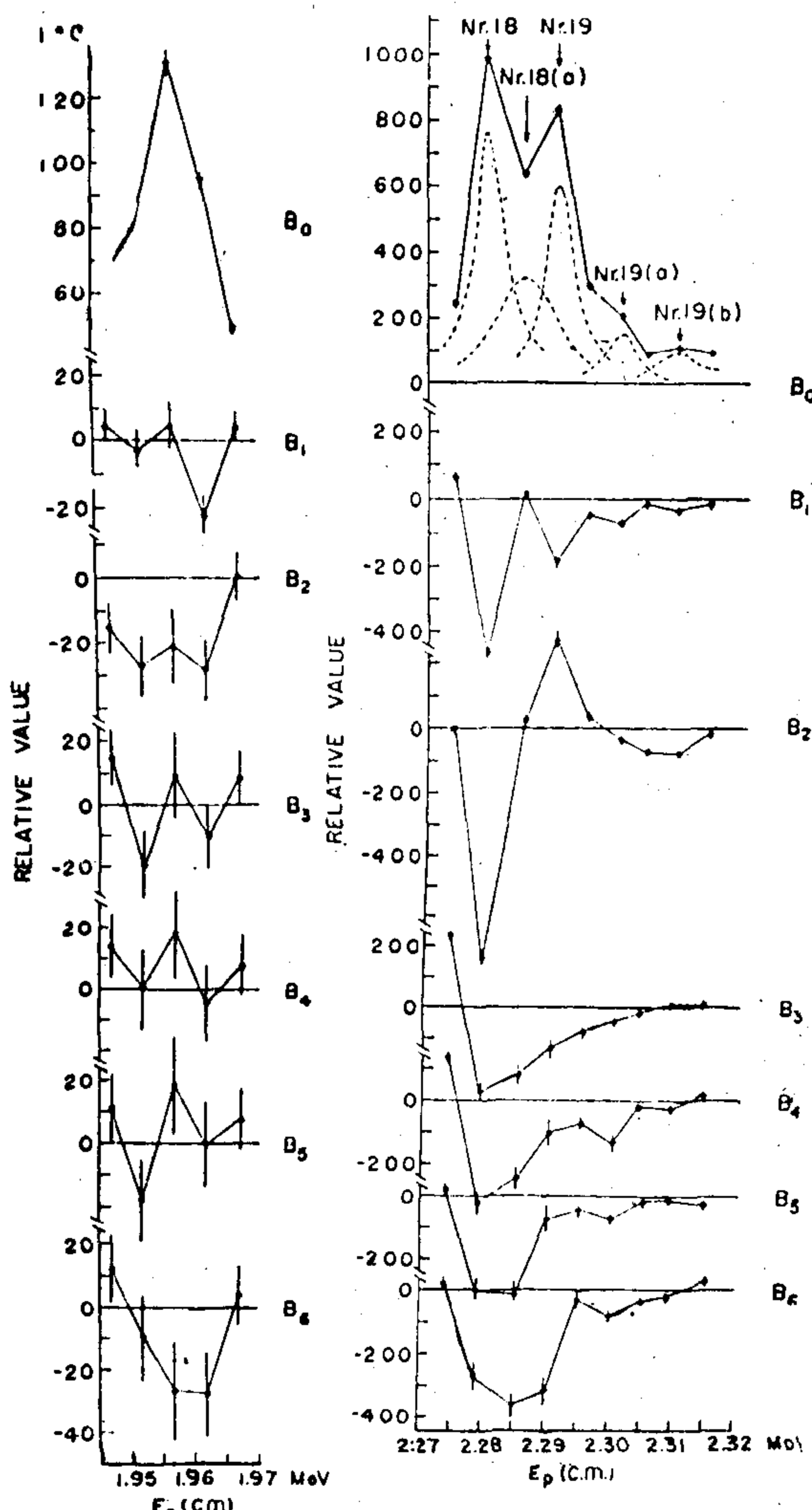


圖三 (2) 類型共鳴 12 號之角分布  
實驗係用 Legendre Polynomial 分析所得最接近實驗值之曲線。



圖四 (2) 類型共鳴 18, 19 號之角分布  
實驗係用 Legendre Polynomial 分析所得最接近實驗值之曲線。

表  $^{28}\text{Si}$  中能位 ( $E_r$ ) 為 12772 KeV 之能階，2 號代表能位 ( $E_r$ ) 為 12907 KeV 之能階，……等等。由該圖可見到三類不同共鳴狀態：(1) 各能階相距甚遠，共鳴尖銳而獨立者；(2) 各能階相距甚近，相互關連者；(3) 許多能階相距太近，分不出各能位而顯



共鳴 12 號 B 係數之質子能函數圖  
共鳴 18, 19 號 B 係數  
之質子能函數圖

圖六

圖五

示出寬大為一之共鳴者。為了進一步探討各能階之自旋 (spin) 和宇稱 (parity)，須各量取角分布。對(1)類型者，只在共鳴尖峯處，量取由 0 度至 90 度，或由 90 度至 180 度數據即可，例如圖二所示。因為從理論上<sup>(2)</sup> 可以瞭解(1)類型共鳴之角分佈必為 90 度對稱。但對(2)類型者則必須由共鳴兩谷底至尖峯，分別收集全角 (即 0 度至 180 度) 之數據

，以便瞭解共鳴與共鳴間相關情形。圖三和圖四分別為對 12 號共鳴，以及 18, 19 號共鳴所施行之實際例子。對於(3)類型者，因各共鳴間干涉繁雜，分析困難，不作進一步探討。

通常對(1)類型之角分布，分別用 **Legendre Polynomial**,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 1 + A_2 P_2 + A_4 P_4$$

來分析，所得之 **A** 係數值如表一所示。另一方面，從理論上導出理論式如表二。該表中， $J^\pi$  表示  $^{28}\text{Si}$  的能階狀態。例如  $^{28}\text{Si}$  的能階狀態為  $0^+$  時，該角分布應具有同等性，即

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 1, \quad (A_2 \text{ 與 } A_4 \text{ 均為 } 0)$$

如果能階狀態為  $1^-$ ，該角分布應成  $1 + 0.2P_2$  之分布，即

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 1 + 0.2P_2, \quad (A_2 \text{ 為 } 0.2, A_4 \text{ 為 } 0)$$

分別比較表一之係數值所對應之理論式，便可以推定各共鳴之能階狀態，其結果如表三。

對(2)類型之角分布，也可同樣給予 **Legendre Polynomial**

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{d\Omega} &= B_0 P_0 + B_1 P_1 + B_2 P_2 + B_3 P_3 + B_4 P_4 \\ &= B_5 P_5 + B_6 P_6 \end{aligned}$$

之分析，所得 **B** 係數如圖五和圖六。圖五顯示共鳴 12 號之  $B_0$  係數特別尖銳獨立，其他係數均在誤差範圍內趨近於零，或受附近共鳴之影響形成小尖峯等，並不重要，因此可以推定其能階狀態為  $0^+$ 。同樣地，經分析可以斷定共鳴 18、19 號係由五個共鳴所合成，如圖六  $B_0$  之虛線部分所示。其能階狀態分別為 18 號 ( $1^-$ )、18(a)號 ( $3^-, 4^+$ )、19 號 ( $1^-$ )、19(a)號 ( $3^-, 4^+$ ) 和 19(b)號 ( $1^-$ )。

依上所述，如將  $^{28}\text{Si}$  之能階狀態一一推定，可得結果如表三所示。這些從實驗研究所得結果可提供理論學家從事進一步推論原子核模型，及核力等研究之重要依據。

### 參考文獻

- 1 Hsu, C.C., E.K. Lin, G.C. Kiang, S.L. Huang and H.L. Tsai. 1977. J. Phys. G. Nucl. Phys., 3, 1753.
- 2 Feshbach, H. 1960. Nuclear Spectroscopy B (F. Ajzenberg-Selove), P. 625.



## 科學新知

也許在宇宙某處，存在著未為人知的高智慧生物，它們肯定沒有生命能活在充滿  $O_2$  的大氣層中，並依賴有毒的物質— $H_2O$  來維生。如：生長在類似木星世界的外星人，若沒有 Ammonia 來解渴，其慘狀大概就如右圖吧？

