

# PROPOSAL FOR THE EXPERIMENT USING THE RAIDEN SPECTROMETER AT RCNP

25 November 2002

TITLE: BCS State of Sn nucleus

SPOKESPERSON:

MURAKAMI, T., Department of Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

e-mail: murakami@nh.scphys.kyoto-u.ac.jp

SAKAGUCHI, H., Department of Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

e-mail: sakaguchi@nh.scphys.kyoto-u.ac.jp

EXPERIMENTAL GROUPS:

P4 Student's Experimental Group (Undergraduate), Faculty of Science, Kyoto University, Japan

with:

FUJII, Y., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

HINOHARA, N., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

NAKATA, H., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

NIKURA, M., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

TANIGUCHI, Y., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

ZENIHIRO, J., Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502 Japan

RUNNING TIME: Total running time of beam (not include beam preparation) 2.5days

BEAM REQUIREMENTS:

Particle type: polarized deuteron

Beam line: G-course

Beam energy: 43.6MeV

Beam intensity: 100 nA

Beam Polarization: 80%

The proposed measurements aim at investigating the BCS state which is dominant in heavy nucleus. Cross section and analyzing power of the Sn  $^{90}\text{Zr}(\vec{d}, p)$  reaction is measured. Then The Spectroscopic factor can be calculated and the information about the one-particle state of two nuclei can be compared.

## 1 Motivation

魔法核から離れた核子数を持つ基底状態では 1957 年に Aage Bohr らによって提唱された、いわゆる”超伝導原子核”が実現している。魔法数のギャップとギャップの間では、1 粒子軌道がエネルギー的に密に詰まっており、これらの軌道で核子同士が対をつくりエネルギーを下げる。対相関は同じ角運動量状態にある核子間でのみ起こり、また、核子が詰まっている軌道にある 2 核子よりも、核子があまり入っていない軌道にある 2 核子に、より強い対エネルギーが働く。これらの効果により、基底状態のフェルミ面付近では 1 粒子軌道の占有率が 1 粒子エネルギーとともに急激ではなく滑らかに変化する。

われわれのこの実験の目的は重い核の基底状態のフェルミ面付近のこのような構造を  $(d, p)$  反応を通して見ることである。 $(d, p)$  反応は中性子を核内にひとつ落とす 1 核子移行反応のため、基底状態の中性子の 1 粒子軌道に関する情報を得ることができる。ターゲットの候補としては  $^{114}\text{Sn}$  または  $^{116}\text{Sn}$ 、および  $^{90}\text{Zr}$  核を想定している。中性子に関して強い対相関にあると考えられる Sn と、二重魔法核に近い構造を持っている Zr で、同じ  $N = 50$  と 82 の間にある核の表面付近の同じ 5 つの 1 粒子軌道 ( $2d_{5/2}^+$ ,  $1g_{7/2}^+$ ,  $1h_{11/2}^-$ ,  $3s_{1/2}^+$ ,  $2d_{3/2}^+$ ) をそれぞれ励起すると、軌道の占有率がそれぞれ異なるはずである。これを検証することが本実験の目的である。

また、本実験では励起された 1 粒子軌道の  $j^\pi$  を決定するために、偏極ビームを用いて偏極分解能を測定する。これに伴い W 実験室の RAIDEN 上流にあるポラリメータ、および偏極測定のためのデータ収集系の整備を行う計画である。

## 2 Proposed Measurement

実験ではまず deuteron の入射波に関する光学ポテンシャルパラメータを得るため、2 つのターゲットに対する  $(d, d)$  弾性散乱を測定する。角度分布は 10 度から 70 度までを 2.5 度おきに散乱断面積および偏極分解能を測定する予定である。 $(d, p)$  反応については基底状態および 3MeV までの励起エネルギーを持つ励起状態に関して散乱断面積および偏極分解能を測定する。

これらの励起状態の  $j^\pi$  を断面積と偏極分解能の確度分布 DWBA 理論値と比較することに決定する。次に  $\sigma_{\text{DWBA}}$ 、 $\sigma_{\text{obs}}$  をそれぞれ断面積の DWBA 値および測定値として

$$\sigma_{\text{obs}} = S\sigma_{\text{DWBA}}$$

によって Spectroscopic factor を計算する。

同じ  $j^\pi$  を持つ励起状態を複数励起出来る可能性があるのでその場合は

$$U_j^2 = \sum_k S_k(j)$$

として 1 粒子軌道の emptyness  $U_j^2$  を計算する。 $U_j^2$  は 1 粒子モデルの成り立つ割合であるので、1 粒子軌道の占有率の目安を表すことになる。5 つの 1 粒子軌道  $U_j^2$  を計算し、Sn と  $^{90}\text{Zr}$  の 1 粒子状態を比べる。

### 3 Experimental Considerations

#### 3.1 Beam

RAIDEN [1] では昨年度磁場を掛ける電源装置を一新し、流せる電流の最高値は 570A となっている。また現在の RAIDEN の K-number は 87 である。本実験では  $(\vec{d}, d)$  も測定するため deuteron のビームは磁石で deuteron を曲げることができる最大エネルギーの 43.6MeV が適当であると考えている。また、偏極分解能を測定するため、偏極 deuteron ビームを使用する予定である。

#### 3.2 Detector

検出器は上流からワイヤーカウンター [2]、そしてその後ろに現在作成中である厚さ 3mm のプラスチックシンチレータ、そして厚さ 32mm プラスチックシンチレータ、という 3 段構成になっている。散乱後の出射エネルギーが 40MeV 程度の proton と 20MeV 程度の deuteron の連続状態が同じ磁気剛性を持つので、データからこのようなバックグラウンドの deuteron を取り除く必要がある。厚さ 3mm のプラスチックシンチレータをトリガー系に加えることにより、エネルギーの低い deuteron を完全に止め、最後のプラスチックシンチレータで信号を出さないようにする。なお、この厚さのプラスチックシンチレータは 40MeV の deuteron を通過させるのでこれを用いて deuteron の弾性散乱を測定することは可能である。

#### 3.3 Yield Estimation

表 1 はイールド計算に必要なパラメータである。立体角は散乱中心からスリットまでの距離は 251mm、スリットの大きさを 8mm×20mm として計算した。

イールドは  $Y$  以下のように求められる。

$$Y = \frac{d\sigma}{d\Omega} j N dx \Delta\Omega$$

ここで、 $j$  はビームフラックス、 $N dx$  はターゲットの厚さ、 $\Delta\Omega$  はスリットの立体角である。表は断面積 1mb/cm<sup>2</sup> に対するイールドの見積もりである。

	Sn	Zr
ターゲットの厚さ	1mg/cm <sup>2</sup>	0.872mg/cm <sup>2</sup>
立体角	2.54msr	
$d\sigma/d\Omega$	1.0 mb	1.0 mb
Yield	8.23event/sec	9.25event/sec

表 1: 断面積 1mb に対するイールドの見積もり

#### 3.4 Resolution

断面積の統計誤差を 5%以内に抑えるためには各励起状態を 400 イベントとる必要がある。

また、偏極分解能の誤差  $\Delta A_y$  は誤差伝播により

$$\Delta A_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1}{p_y} A_y \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2}$$

とする。ビームの偏極度  $p_y = 0.8$  とし、また  $L \sim R$  で  $\Delta L = \sqrt{L}$  とすれば、 $L = 200$  に対して誤差は  $\Delta A_y = 0.14 A_y$  程度となる。

角度の誤差はスリットの横幅で決まる。横幅を 8mm とすれば誤差は  $\pm 0.91$  度となる。

エネルギー分解能を決める要因はビームの dispersion、ターゲットの厚さ、磁石の分解能、ワイヤーカウンタと磁石の間での空気層などがある。これらを考慮すると表 2 となり、全分解能は 54keV である。 $^{117}\text{Sn}$  の第一励起状態は励起エネルギーが 159keV であるが、この分解能であれば基底状態と第一励起状態のピークを分離することができる。

Beam Dispersion	20 keV
target	50 keV
RAIDEN	5 keV
Total resolution	54 keV

表 2: エネルギー分解能

### 3.5 Measured angles

$^{116}\text{Sn}(d,d)$  では 25 度付近および 38 度付近の構造を見るために 15、20、23、25、28、30、35 度から 41 度まで 1 度おきに、43、45、48、50 度について測定をする。

$^{116}\text{Sn}(d,p)$  では基底状態 ( $5/2^+$ ) が複雑な構造を持っていることから測定する角度はこの構造に合わせて 15、20、23、28、34、40、43、46 度の 8 つとする。

$^{90}\text{Zr}(d,d)$  では 28 度付近にある特徴的な構造を見るために 15 度から 3 度おきに 54 度まで、また 24 度から 30 度にかけては 1 度おきに測定する。

$^{90}\text{Zr}(d,p)$  では第一励起状態 ( $E = 1.205\text{MeV}, 5/2^+$ ) が複雑な構造を持っているため、これに合わせて測定角は 15、20、24、28、32、37、44、50 度の 8 つとする。

### 3.6 Beam Time

ビームタイムは総計で 2 日半と見積もられる。内訳はテスト用ビームタイムが 1 日とデータ測定が 1 日半である。

測定時間の詳しい内訳は後の表にまとめてある。ここで磁場および RAIDEN の角度を変更するのに 1 回あたり 15 分の時間を要するとしている。測定時間を計算するにあたり、断面積は DWBA 計算をしたものを用い (後の図参照)、全てに渡って Spectroscopic factor  $S$  は 0.33 と仮定してある。DWBA 計算での光学ポテンシャルには global potential [3] [4] を用いた。

$(d,p)$  と  $(d,d)$  では出射粒子の運動量が大きく違うので、それぞれに対して別の磁場設定をする必要があるため、測定は弾性散乱を全て測定したのち、 $(d,p)$  を測定する段取りである。

偏極度の測定方法であるがカーボンポラリメータをビームラインに周期的に入れることを想定している。ハ

タを入れる時間は断面積測定 50 秒に対して 10 秒の割合である。

この他に検出器、データ収集系のテスト等に 1 日のテストビームが必要であるので総ビームタイムは 2 日半を希望する。

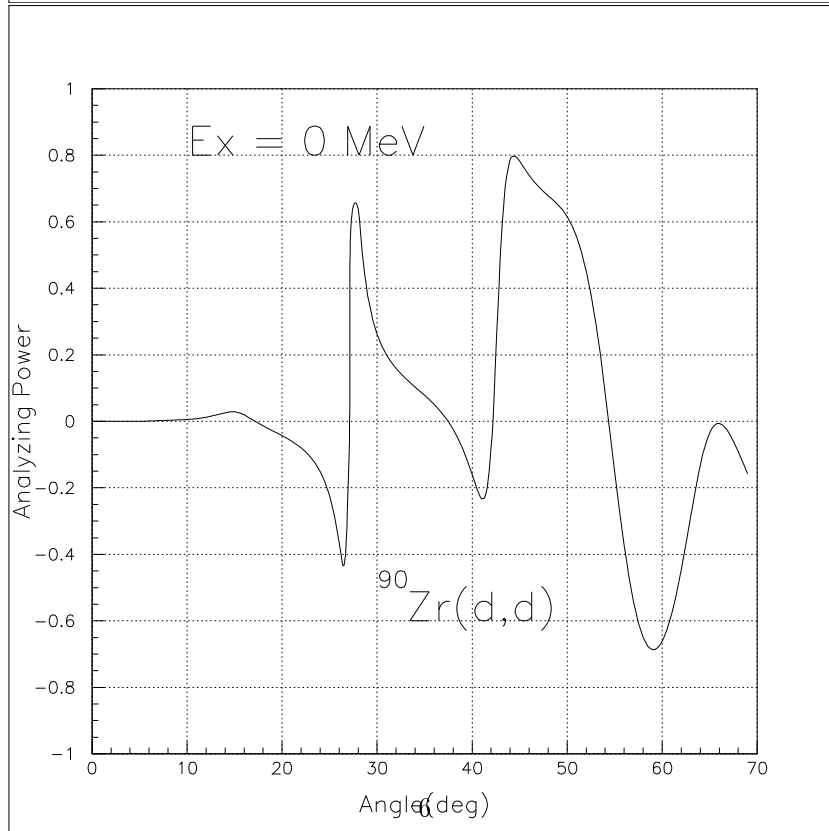
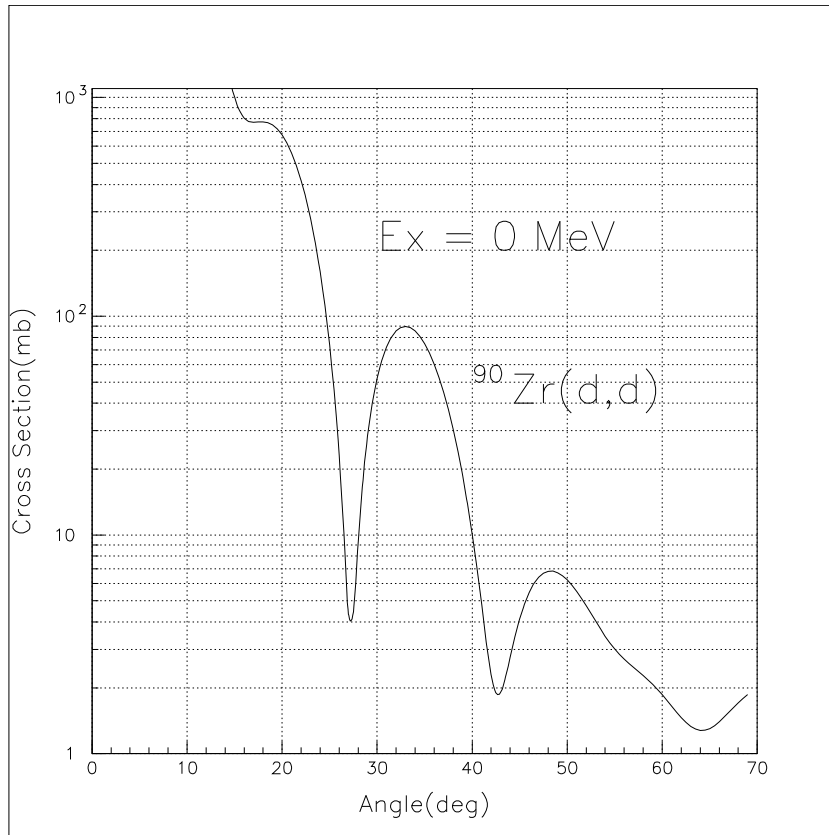
## 4 Scheduling

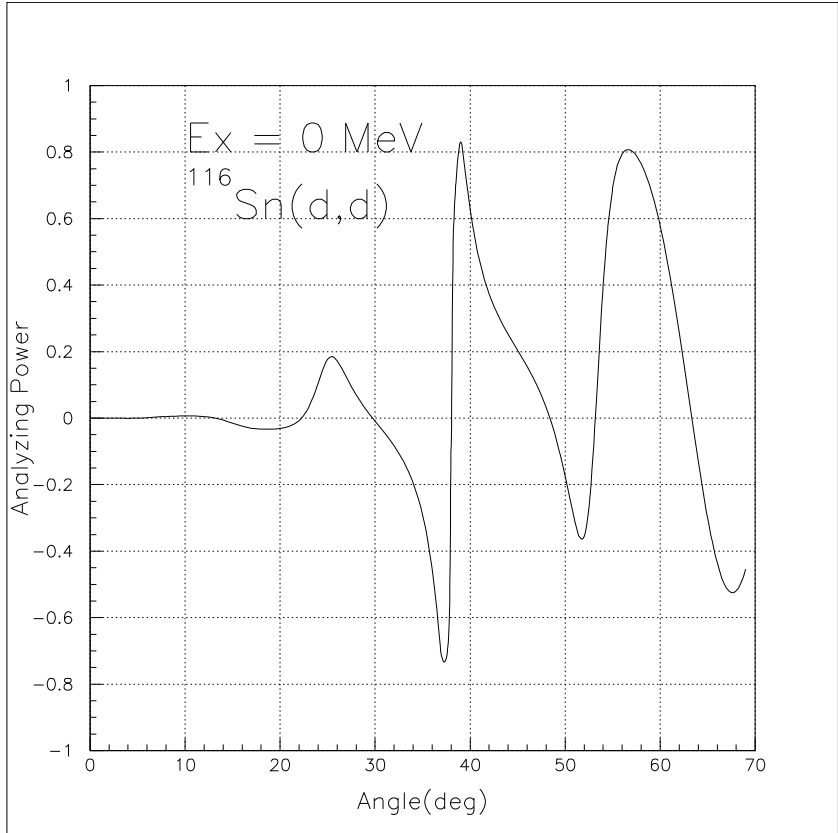
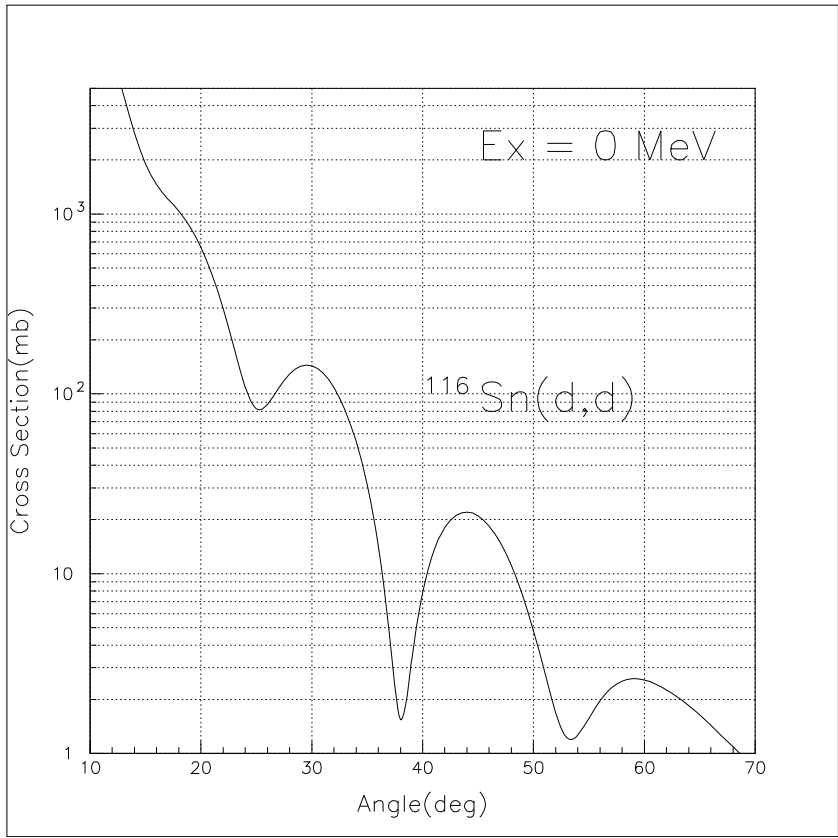
本実験は 4 回生による卒業研究であるので解析、まとめを含めて年度内に終わることを考慮して実験は 2003 年 1 月中旬を希望する。

## 参考文献

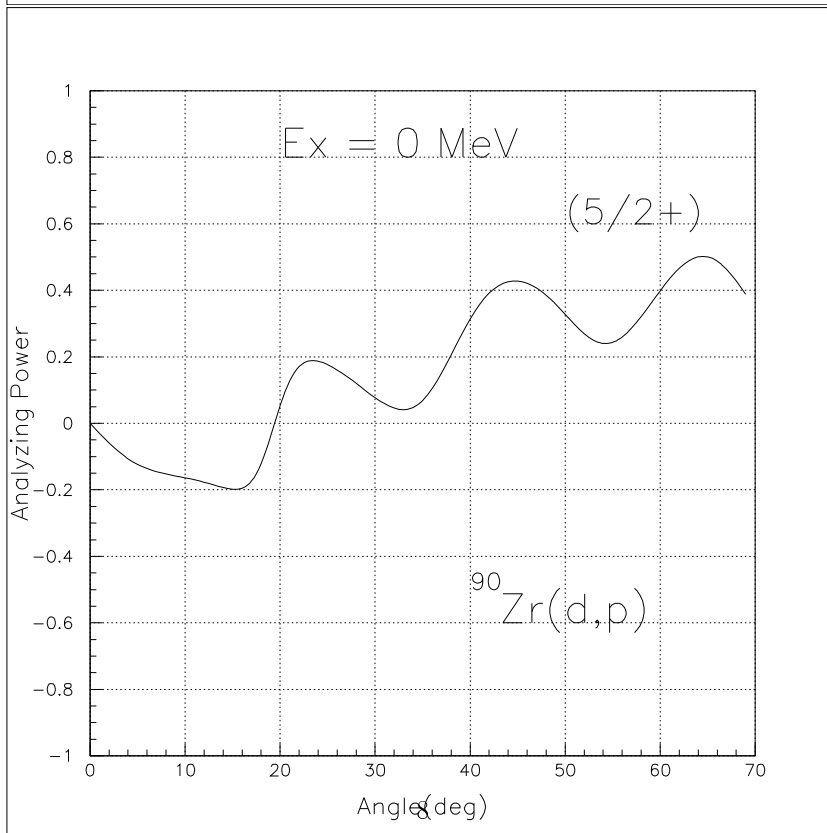
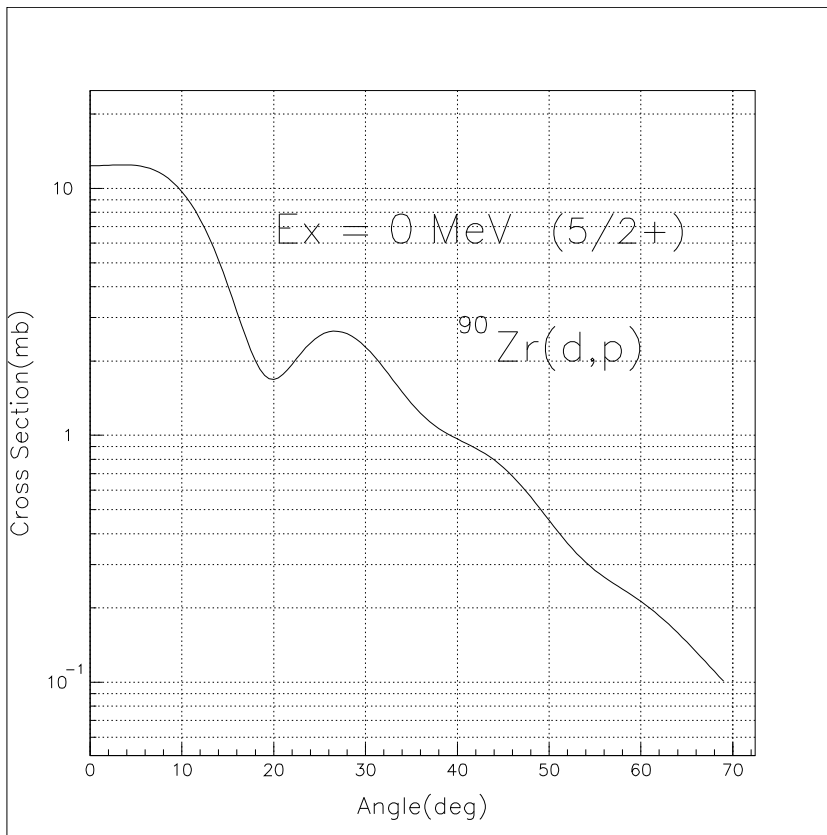
- [1] H.Ikegami, S.Morinobu, I.Katayama, M.Fujiwara and S.Yamabe, Nucl. Instr.**175** (1980) 335
- [2] Y.Fujita, K.Nagayama, S.Morinobu, M.Fujiwara, I.Takayama, T.Yamazaki and H.Ikegami, Nucl. Instr. **173** (1980) 265
- [3] J.J.H.Menet, E.E.Gross, and J.J.Malanify, and A.Zucker Phys.Rev.C**4** 1114(1971)
- [4] W.W.Daehnick, J.D.Childs, and Z.Vrcelj Phys.Rev.C**21** 2253(1980)

5  $^{90}\text{Zr}, ^{116}\text{Sn}(d,d)$  弹性散乱

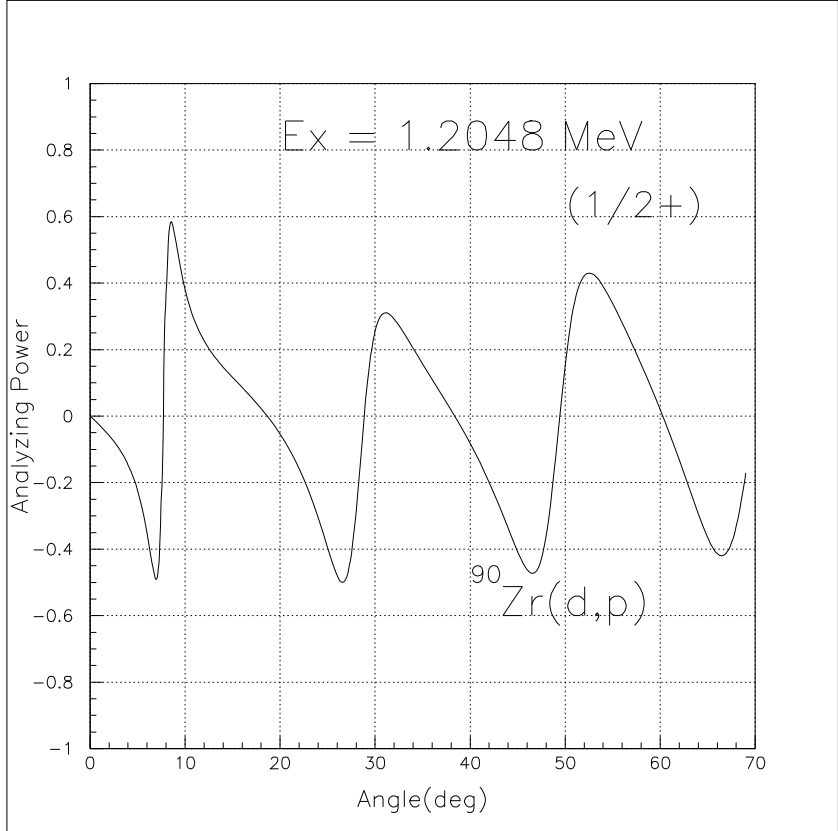
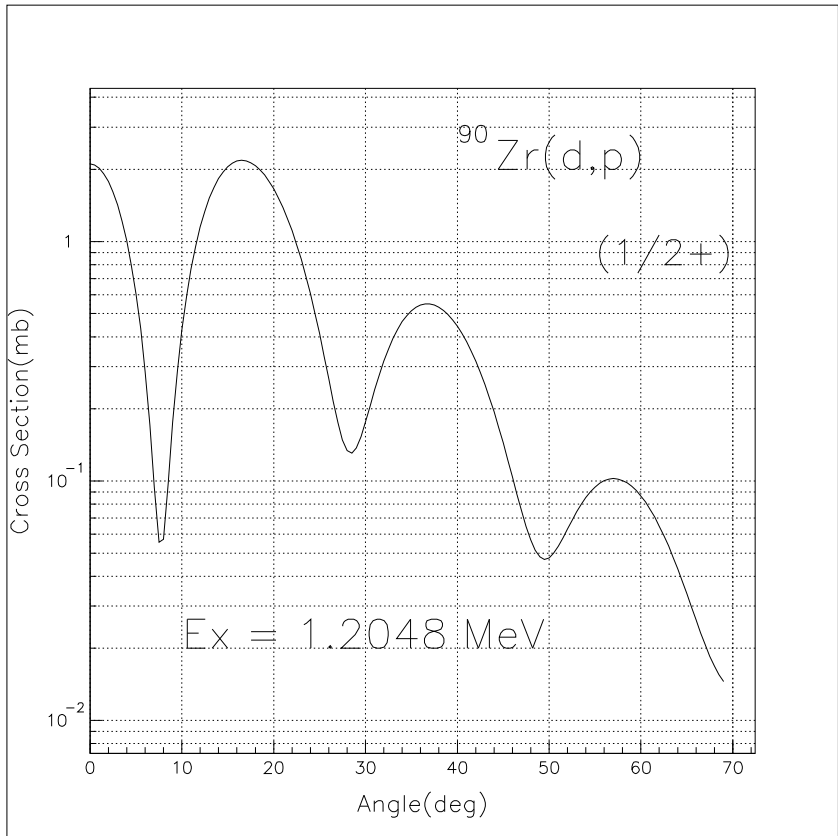


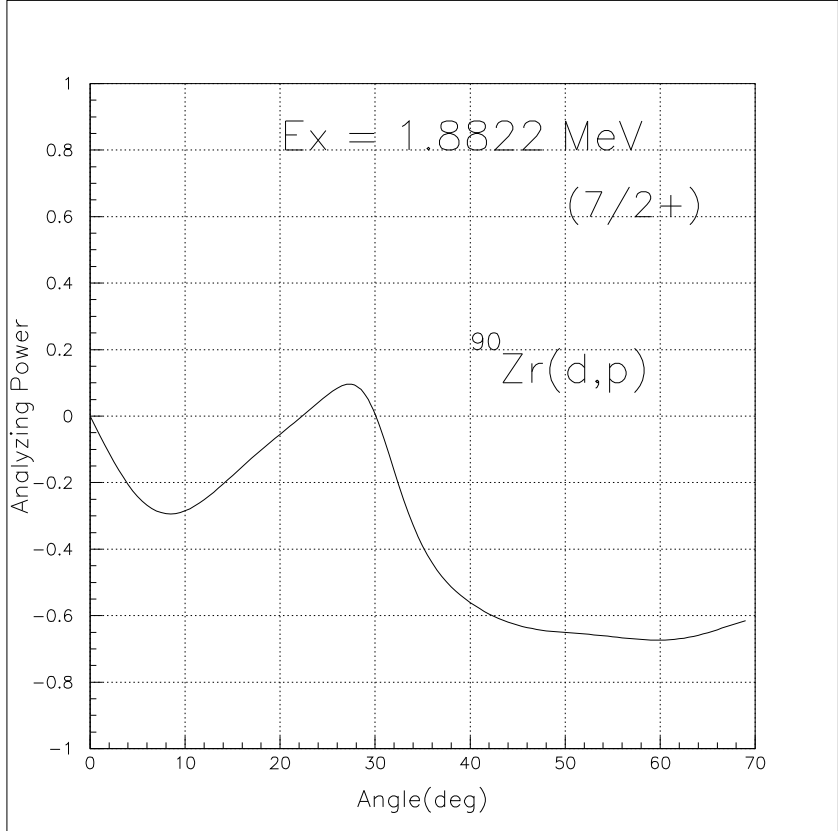
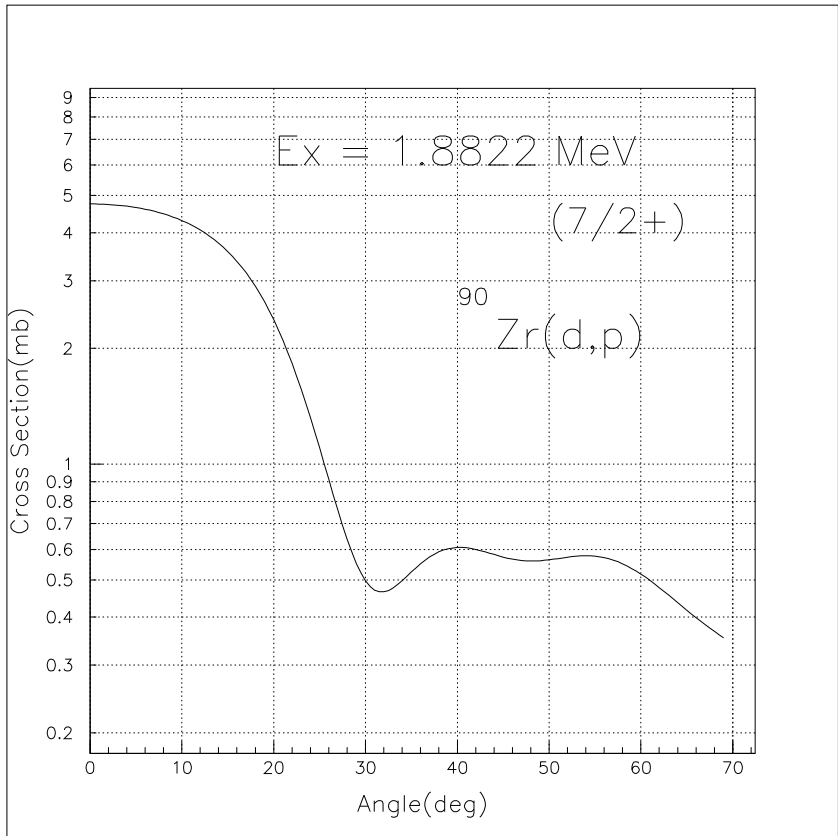


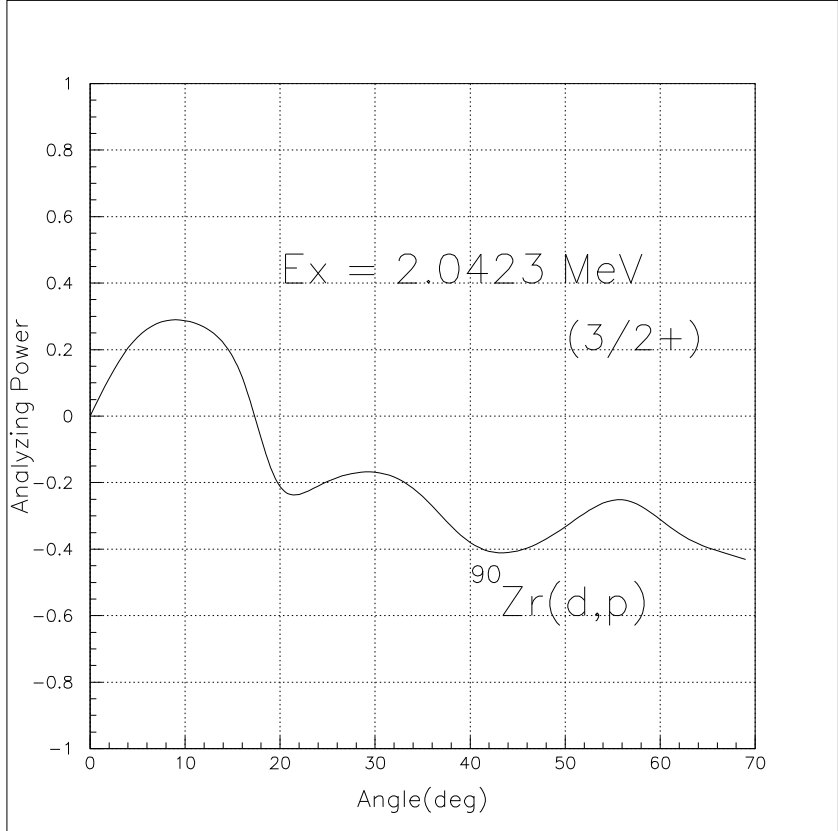
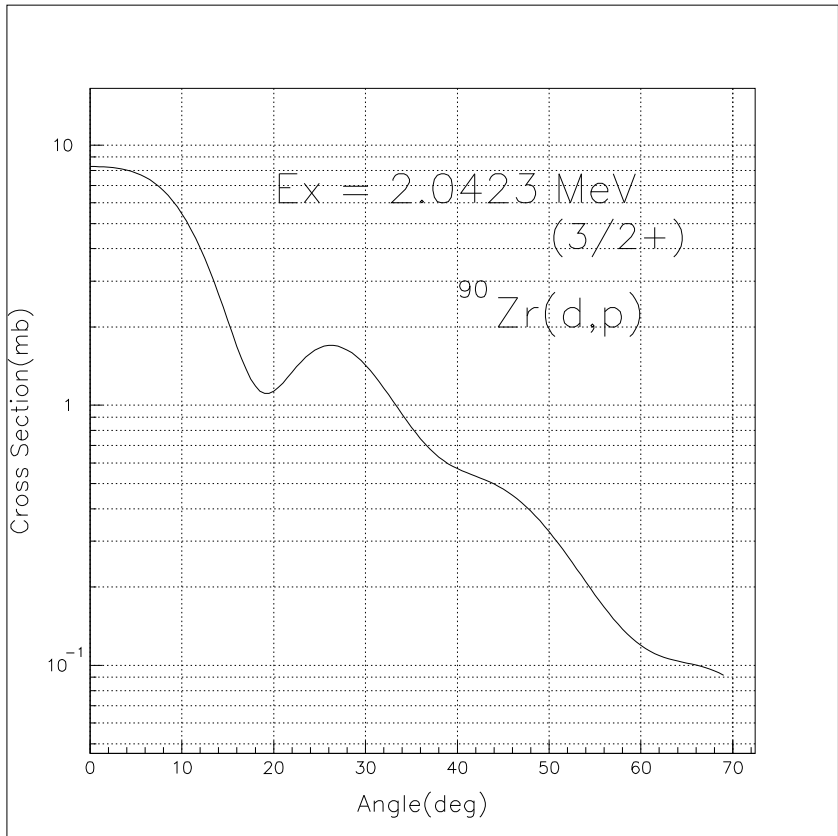
6  $^{90}\text{Zr}(d,p)$  反応の断面積、偏極分解能

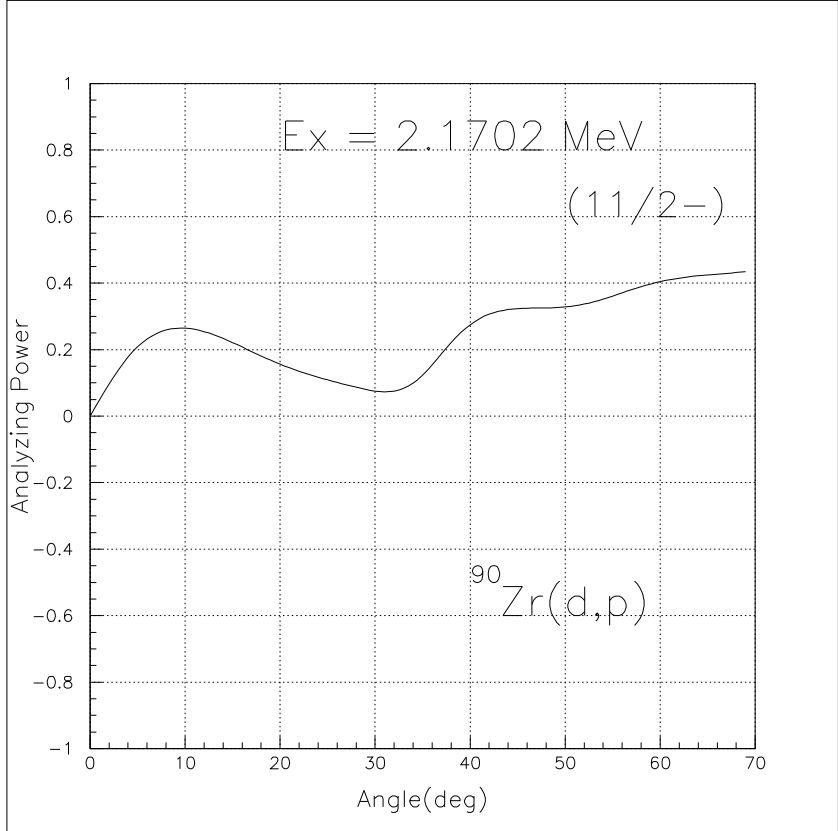
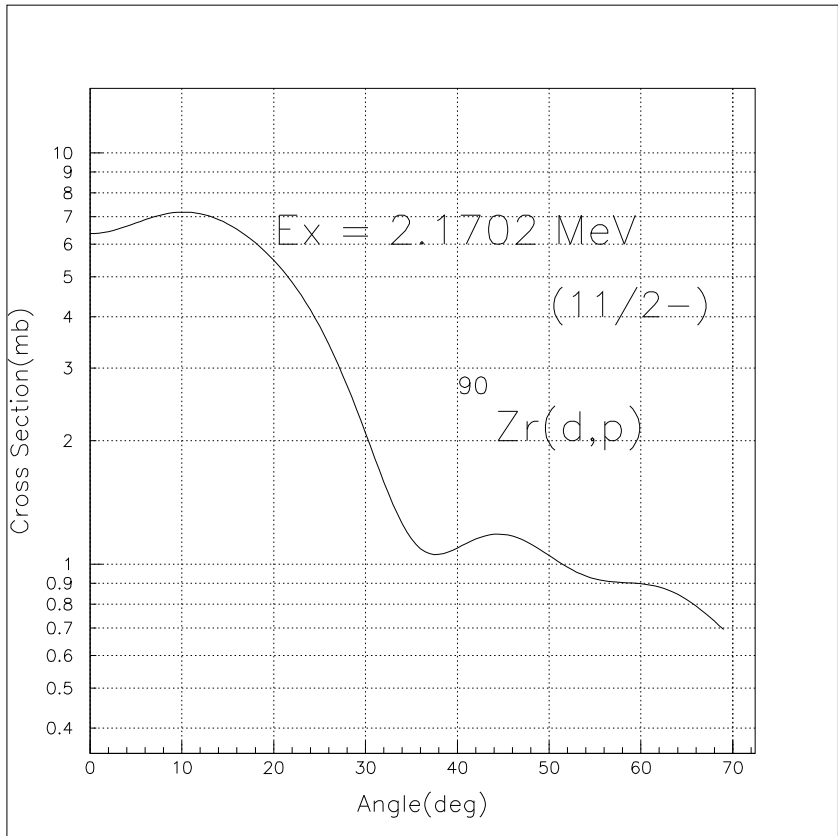




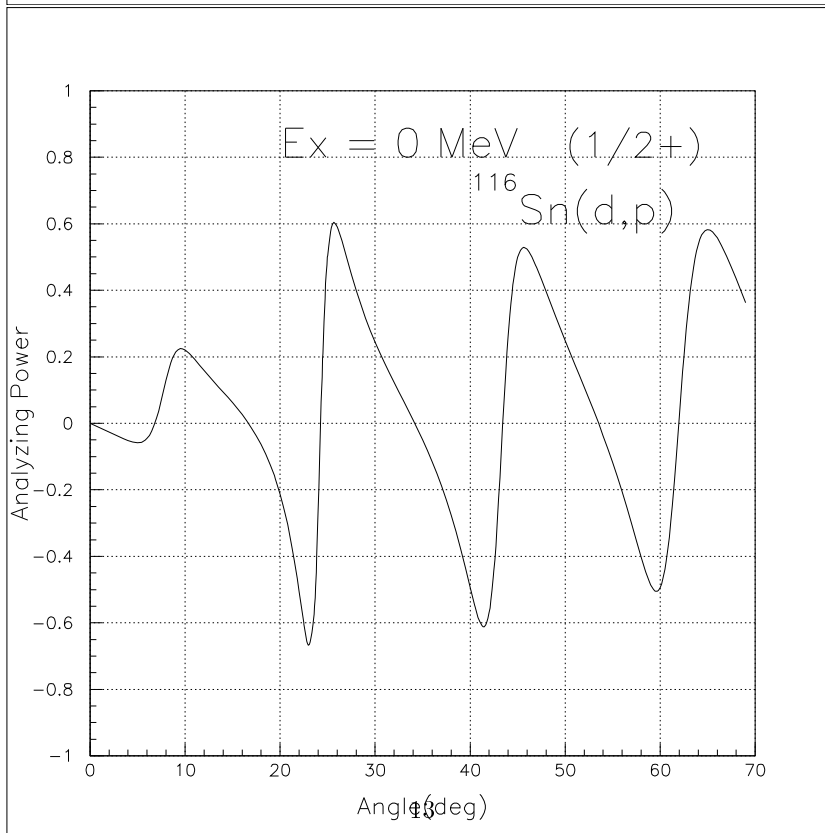
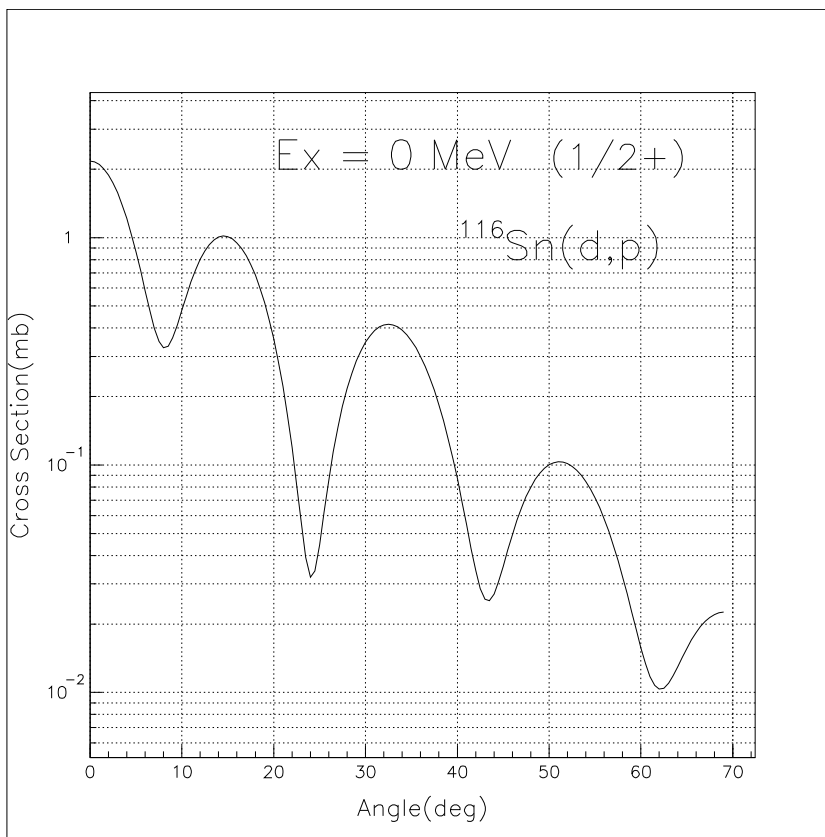


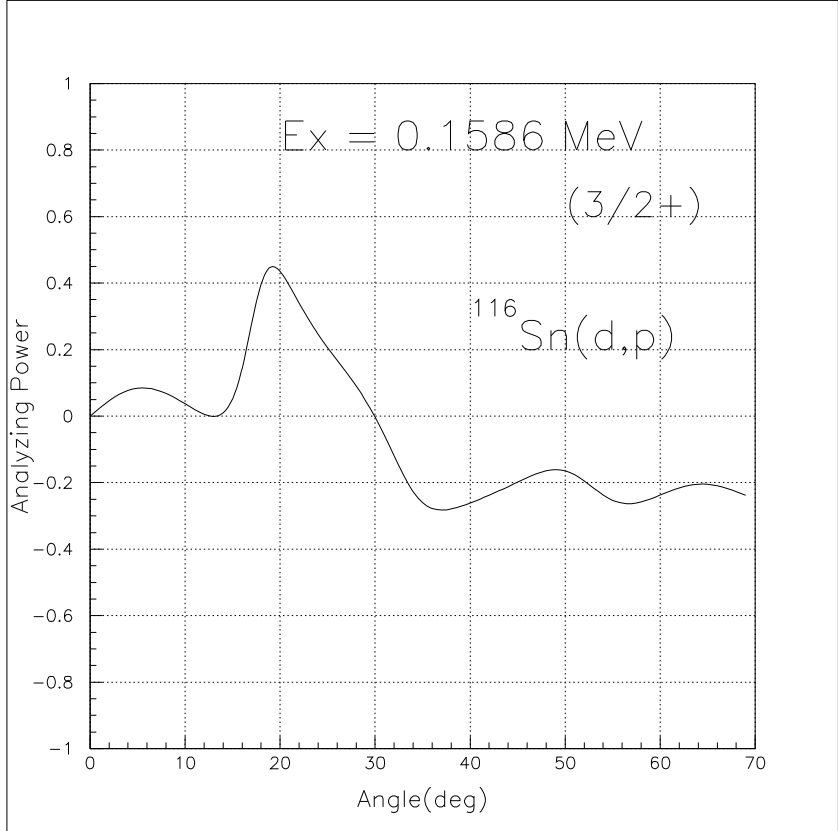
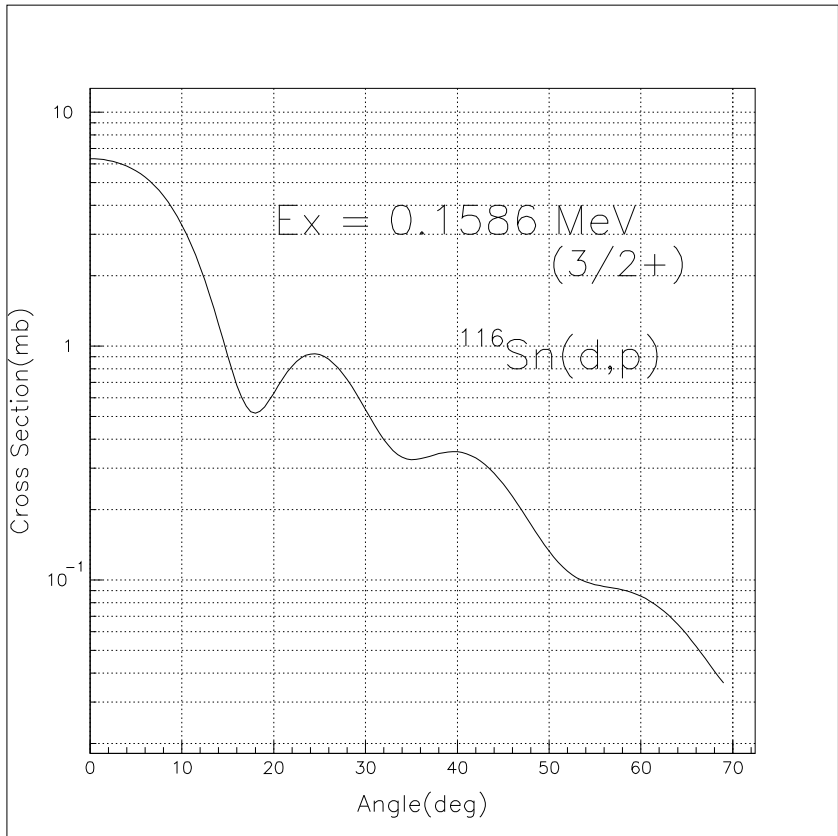


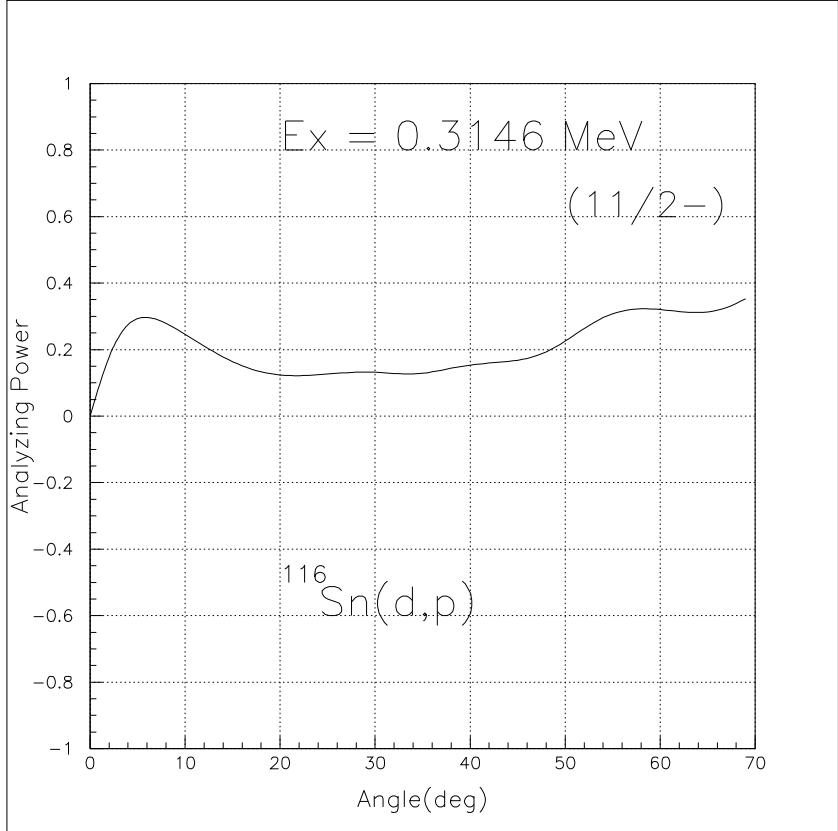
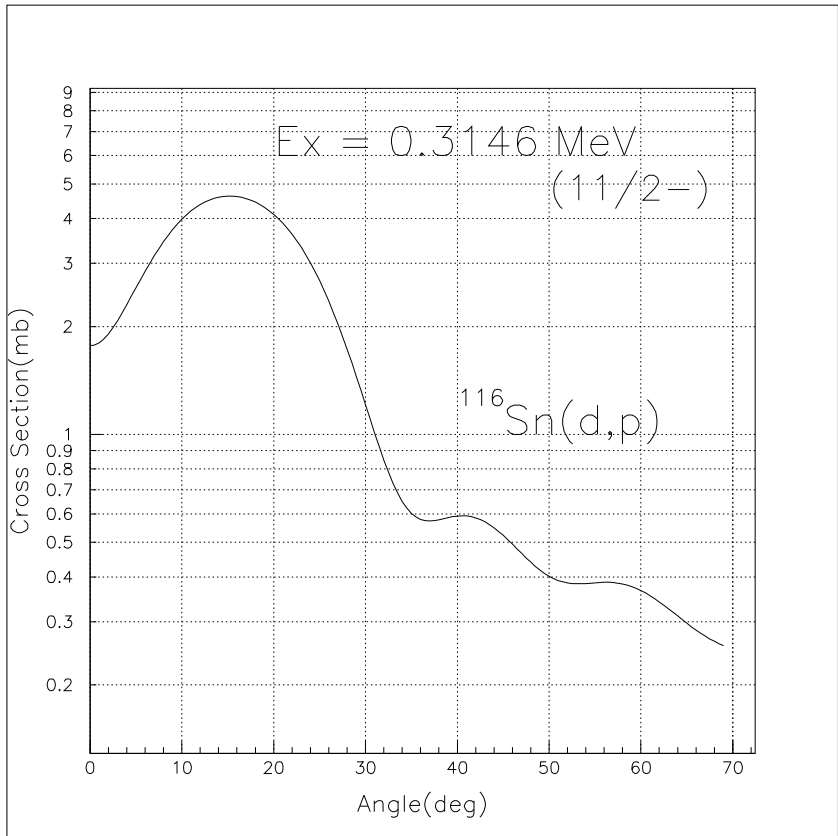


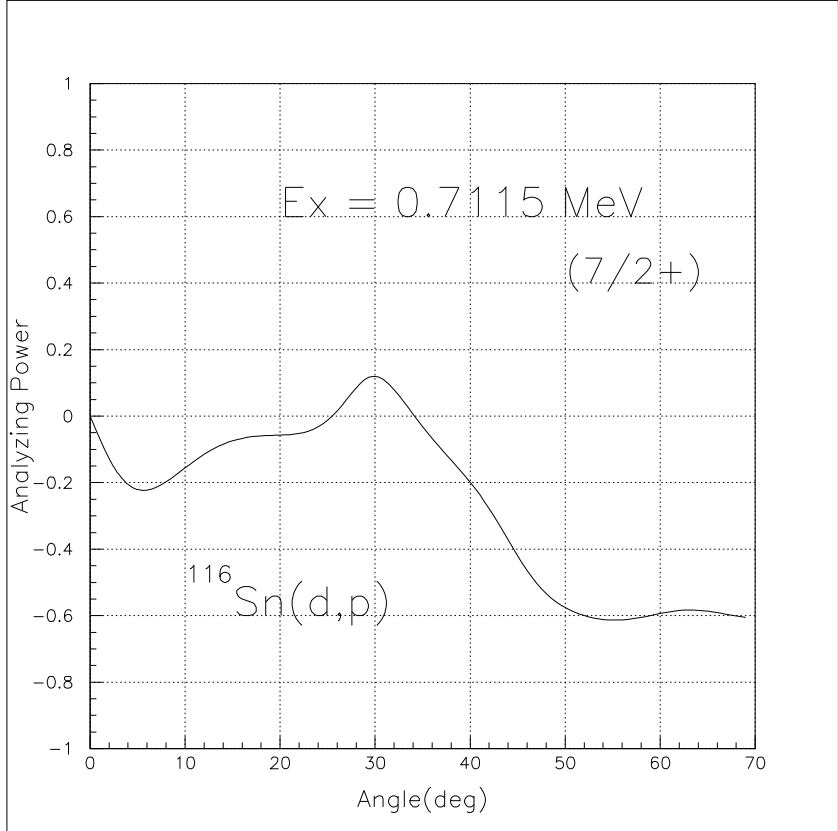
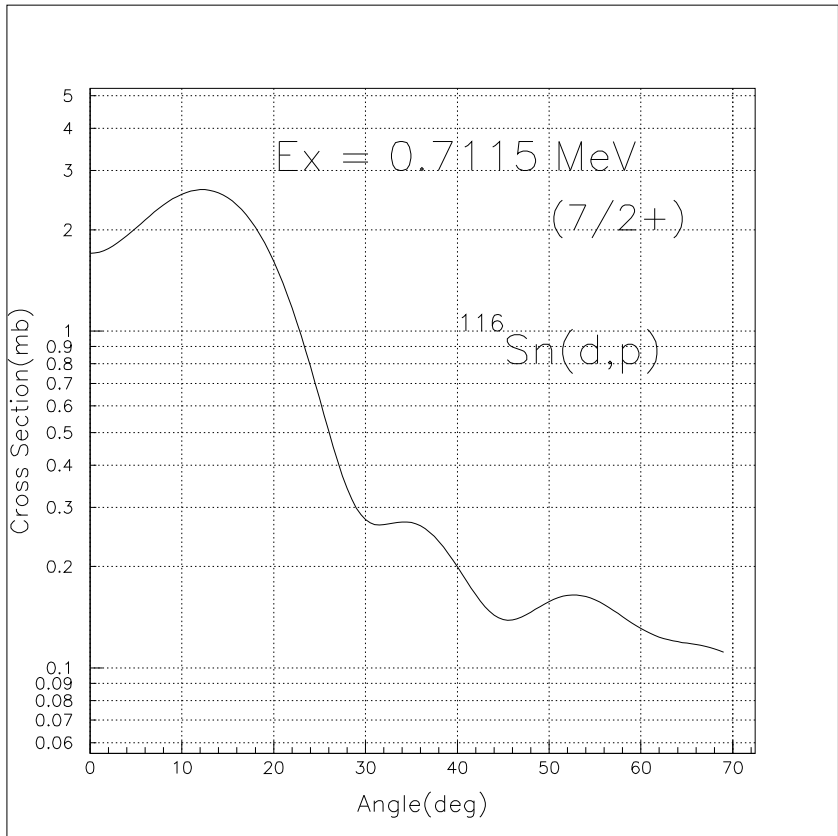


7  $^{116}\text{Sn}(d,p)$  反応の断面積、偏極分解能

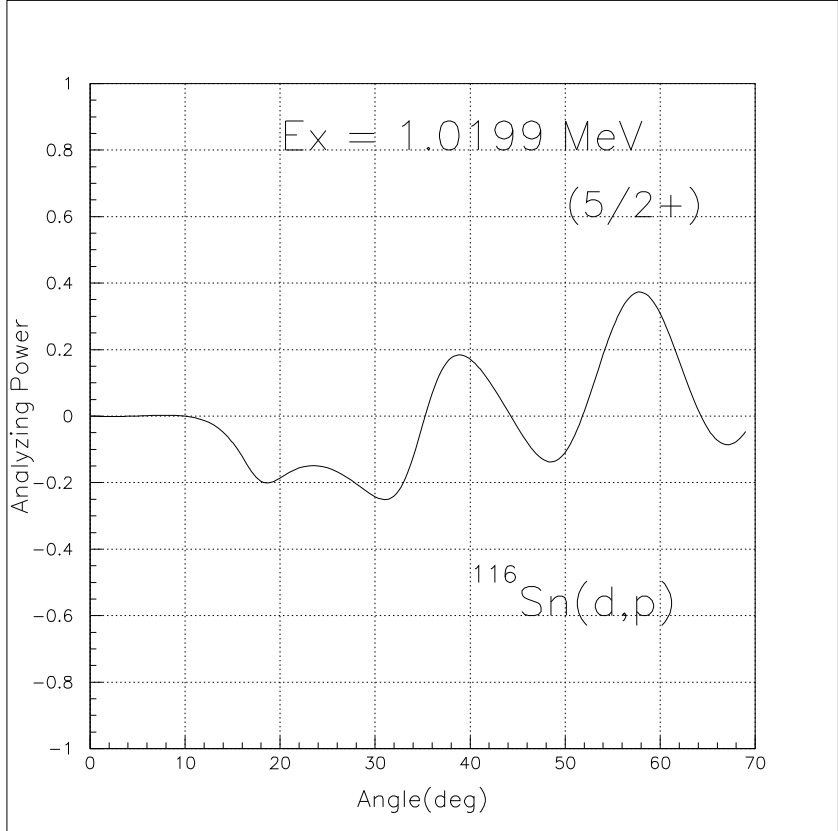
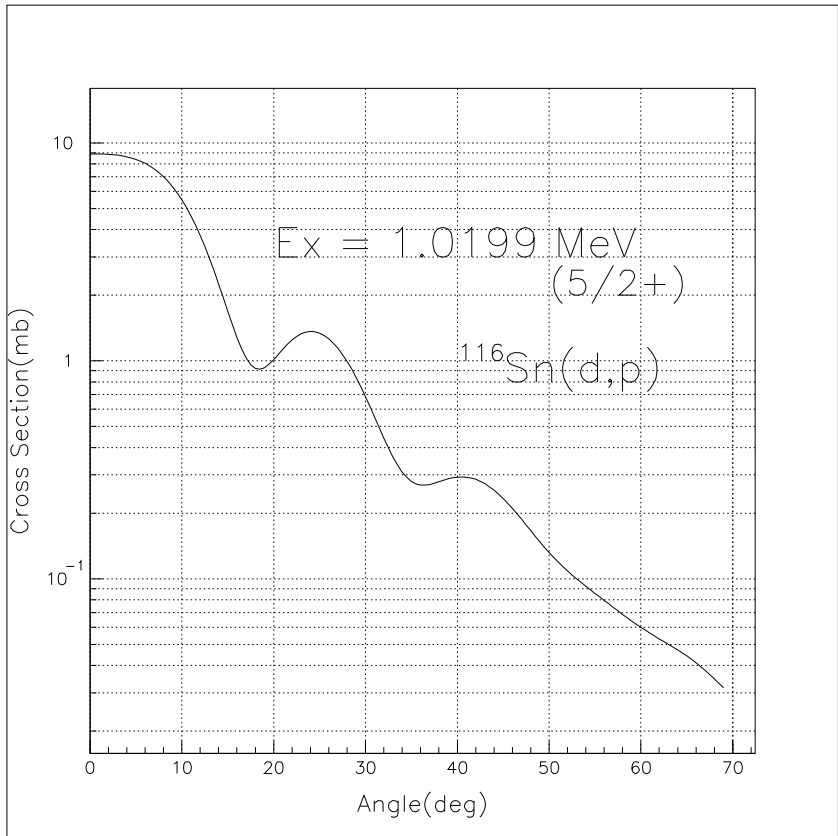












作業内容	DWBA 断面積 ( $\mu$ b)	時間 (分)
角度、磁場設定		15
15 度測定	200000	1
角度、磁場設定		15
20 度測定	65000	1
角度、磁場設定		15
23 度測定	20000	1
角度、磁場設定		15
25 度測定	8000	3
角度、磁場設定		15
28 度測定	12000	2
角度、磁場設定		15
30 度測定	14000	2
角度、磁場設定		15
35 度測定	3000	7
角度、磁場設定		15
36 度測定	1400	14
角度、磁場設定		15
37 度測定	400	30
角度、磁場設定		15
38 度測定	300	30
角度、磁場設定		15
39 度測定	300	30
角度、磁場設定		15
40 度測定	800	24
角度、磁場設定		15
41 度測定	1300	15
角度、磁場設定 立体角変更		30
43 度測定	2000	1
角度、磁場設定		15
45 度測定	2000	1
角度、磁場設定		15
48 度測定	1000	1
角度、磁場設定		15
50 度測定	500	5
総時間		438

表 3:  $^{116}\text{Sn}(d,d)$  測定時間。立体角は小さな角度に対しては 0.3msr、43 度以降では 1.9msr とした。

作業内容	DWBA 断面積 ( $\mu$ b)	時間 (分)
角度、磁場設定		15
15 度測定	1000	3
角度、磁場設定		15
20 度測定	250	12
角度、磁場設定		15
23 度測定	500	6
角度、磁場設定		15
28 度測定	200	15
角度、磁場設定		15
34 度測定	200	15
角度、磁場設定		15
40 度測定	150	20
角度、磁場設定		15
43 度測定	30	100
角度、磁場設定		15
50 度測定	100	30
総時間		321

表 4:  $^{116}\text{Sn}(d,p)$  測定時間。DWBA 断面積は 5 つの励起状態のうち一番断面積の少ないものの理論値。実際の時間の算出にはこれに S 因子とハタの測定の時間を加味している。立体角は 2.54msr としている。

作業内容	DWBA 断面積 ( $\mu\text{b}$ )	時間 (分)
角度、磁場設定		15
15 度測定	100000	1
角度、磁場設定		15
18 度測定	100000	1
角度、磁場設定		15
21 度測定	100000	1
角度、磁場設定		15
22 度測定	40000	1
角度、磁場設定		15
24 度測定	16000	1
角度、磁場設定		15
25 度測定	7000	3
角度、磁場設定		15
26 度測定	2300	8
角度、磁場設定		15
27 度測定	400	43
角度、磁場設定		15
28 度測定	900	20
角度、磁場設定		15
29 度測定	2800	6
角度、磁場設定		15
30 度測定	5000	4
角度、磁場設定 立体角変更		30
33 度測定	9000	1
角度、磁場設定		15
36 度測定	6000	1
角度、磁場設定		15
39 度測定	2000	1
角度、磁場設定		15
42 度測定	200	14
角度、磁場設定		15
45 度測定	400	8
角度、磁場設定		15
48 度測定	700	4
角度、磁場設定		15
51 度測定	500	6
角度、磁場設定		15
54 度測定	300	10
総時間		434

表 5:  $^{90}\text{Zr}(d,d)$  測定時間。小さな角度に対しては立体角は 0.3msr で計算した。33 度以降は 1.9msr とした。

作業内容	DWBA 断面積 ( $\mu$ b)	時間 (分)
角度、磁場設定		15
15 度測定	2000	2
角度、磁場設定		15
20 度測定	1000	3
角度、磁場設定		15
24 度測定	600	5
角度、磁場設定		15
28 度測定	200	13
角度、磁場設定		15
32 度測定	300	9
角度、磁場設定		15
37 度測定	600	5
角度、磁場設定		15
44 度測定	200	13
角度、磁場設定		15
50 度測定	80	33
総時間		203

表 6:  $^{90}\text{Zr}(d,p)$  測定時間、立体角は  $2.54\text{msr}$  とした。