

# NEUT: $n - C$ 弾性散乱の微分散乱断面積の角度分布

Y. Satou, Y. Makimura

November 13, 2024

## Abstract

Cecil で採用された  $n - C$  弾性散乱の全断面積のエネルギー依存性、及び、微分散乱断面積の角度分布を kd02 光学ポテンシャルモデルに基づく予想値と比較し、両者の一致の度合いを確認した。

## 1 はじめに

Cecil [1] で採用された  $n - C$  弾性散乱の全断面積（のエネルギー依存性）や微分散乱断面積（の角度分布）を、光学ポテンシャルモデルの予想値と比較し、その妥当性を評価した。光学ポテンシャルモデルとしては kd02 [2] を用いた。核反応計算コードには ECIS97 を用いた。

今回の計算で用いた各エネルギーでの光学ポテンシャルパラメータを表 1 にまとめる。これらは、変更を加えることなく ECIS97 で用いることができる [3]。参考の為、ECIS97 の入力ファイルの例を補遺 A に示す。

## 2 $n - C$ 全弾性散乱断面積のエネルギー依存性

Cecil [1] で採用された  $n - C$  弾性散乱の全弾性散乱断面積 ( $\sigma_{\text{tot}}^{\text{el}}$ ) のエネルギー依存性を図 1 に示す。全弾性散乱断面積は、Non-diffractive 弾性散乱断面積 ( $\sigma_{\text{nd}}^{\text{el}}$ ) と Diffractive 弾性散乱断面積 ( $\sigma_{\text{diff}}^{\text{el}}$ ) の和である。

$$\sigma_{\text{tot}}^{\text{el}} = \sigma_{\text{nd}}^{\text{el}} + \sigma_{\text{diff}}^{\text{el}}. \quad (1)$$

図中の黒点は ECIS97 を用いて計算される、kd02 光学ポテンシャルモデルの計算値である。kd02 光学ポテンシャルモデルの予想は、Cecil で採用された全弾性散乱断面積を、エネルギーが 100 MeV 以上で過小評価する傾向を示した。

ECIS97 は、全反応断面積も算出する。図 2 において、エネルギーの関数として、Cecil で採用された、 $n - C$  非弾性散乱の各チャンネルの断面積を合算して得た全反応断面積（緑破線）を、kd02 光学ポテンシャルを用いた ECIS97 の計算値（黒点）と比較する。kd02 光学ポテンシャルモデルの予想値は、100 MeV より小さなエネルギー領域で Cecil の値を過大評価し、100 MeV を超える高エネルギー領域でこれを過小評価する傾向を示した。

Table 1: kd02 [2] モデルから導かれた、 $n-C$  弾性散乱の光学ポテンシャルパラメータ。

Energy (MeV)	30.000	50.000	70.000	100.000	150.000	200.000
$V$	43.50	37.30	31.96	25.55	18.92	17.11
$r_v$	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127
$a_v$	0.676	0.676	0.676	0.676	0.676	0.676
$W$	2.88	4.97	6.71	8.54	10.21	11.02
$r_w$	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127
$a_w$	0.676	0.676	0.676	0.676	0.676	0.676
$Vd$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$r_{vd}$	1.306	1.306	1.306	1.306	1.306	1.306
$a_{vd}$	0.543	0.543	0.543	0.543	0.543	0.543
$W_d$	6.07	4.09	2.68	1.41	0.48	0.16
$r_{wd}$	1.306	1.306	1.306	1.306	1.306	1.306
$a_{wd}$	0.543	0.543	0.543	0.543	0.543	0.543
$V_{SO}$	5.06	4.67	4.31	3.82	3.13	2.56
$r_{vso}$	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903
$a_{vso}$	0.590	0.590	0.590	0.590	0.590	0.590
$W_{SO}$	-0.19	-0.39	-0.63	-1.01	-1.56	-1.97
$r_{wso}$	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903
$a_{wso}$	0.590	0.590	0.590	0.590	0.590	0.590
$r_c$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

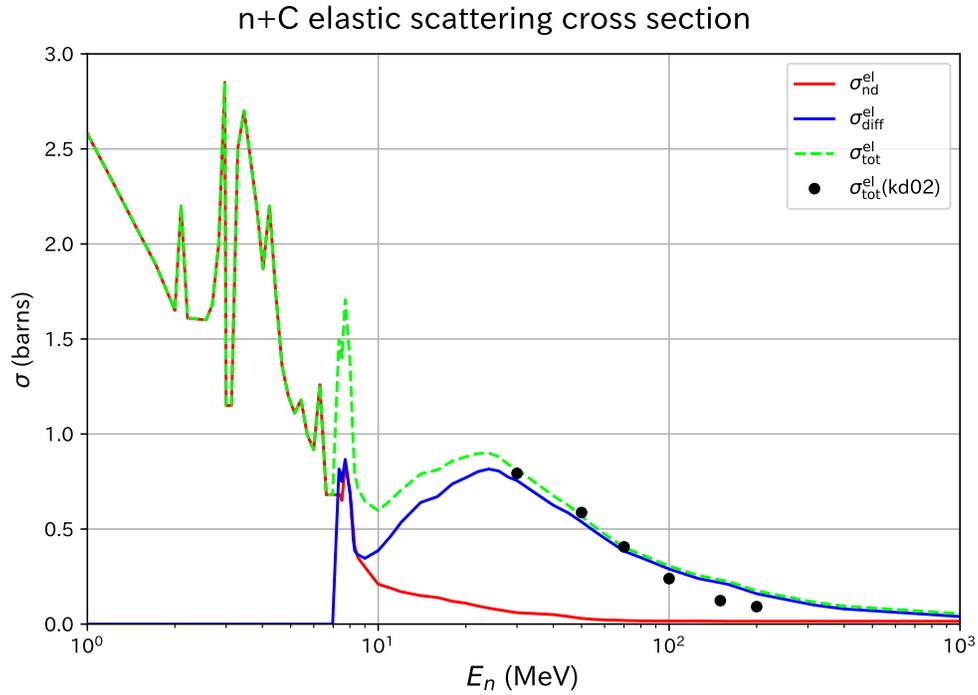


Figure 1:  $n + C$  全弾性散乱断面積のエネルギー依存性。赤線は Cecil で用いられる non-diffractive 弾性散乱の寄与、青線は同 diffractive 弾性散乱の寄与。緑破線はこれらの和で表される全弾性散乱断面積。黒点は ECIS97 を用いて計算される、kd02 光学ポテンシャルモデルの計算値。

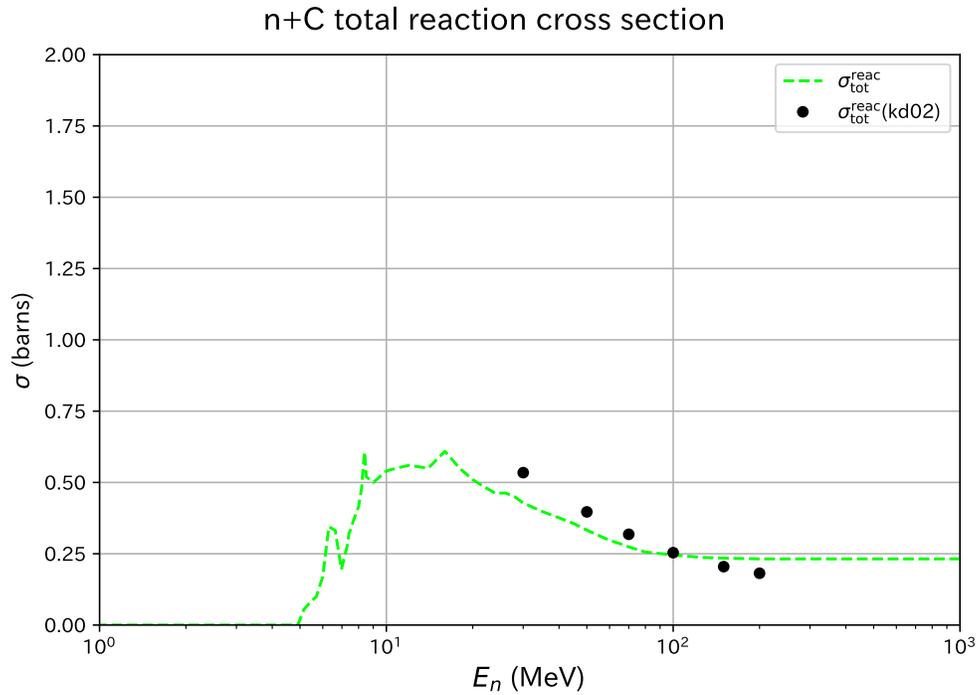


Figure 2:  $n + C$  全反応断面積のエネルギー依存性。緑破線は Cecil で用いられる各  $n + C$  反応チャンネルの断面積の和。黒点は ECIS97 を用いて計算される、kd02 光学ポテンシャルモデルの計算値。

### 3 $n - C$ 弾性散乱の微分散乱断面積の角度分布

報告 [4] にて、Cecil [1] で採用された、 $n - C$  弾性散乱の、面積が 1 に規格化された角度分布 ( $dF/dx$ 、ここで  $x = \cos \theta$ ) を、diffractive 弾性散乱と non-diffractive 弾性散乱に分けて示した。この角度分布は、角度積分実施後の弾性散乱断面積  $\sigma^{\text{el}}$  (単位は Cecil の barn とする;  $\sigma_{\text{nd}}^{\text{el}}$  あるいは  $\sigma_{\text{diff}}^{\text{el}}$ ) を用いて、下記の式に従い微分散乱断面積に焼き直すことができる。

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma^{\text{el}}}{2\pi} \cdot \frac{dF}{dx} \cdot 10^3. \quad \text{in [mb/sr]} \quad (2)$$

式 (1) と式 (2) の関係を用いて計算される、Cecil で想定された  $n - C$  弾性散乱の微分散乱断面積の角度分布を、各エネルギー毎に、図 3~図 8 (の赤線) に示す。これらの図において、黒の点は kd02 光学ポテンシャルモデルを用いて得た ECIS97 の計算値である。

kd02 光学ポテンシャルモデルを用いて計算される微分散乱断面積の角度分布のスロープは、前方において (diffractive 過程が優勢となる領域において)、概ね、Cecil の角度分布のスロープを再現する。より詳細に見ると、30 MeV で kd02 の同スロープは Cecil に比べて若干緩やかで、70 MeV 以上のエネルギーで前者は後者に比べて急になる傾向を示す。Cecil で仮定されている、後方まで有限値を示す等方散乱成分 (non-diffractive 弾性散乱由来) は、特に高エネルギー側において、kd02 では支持されなかった。

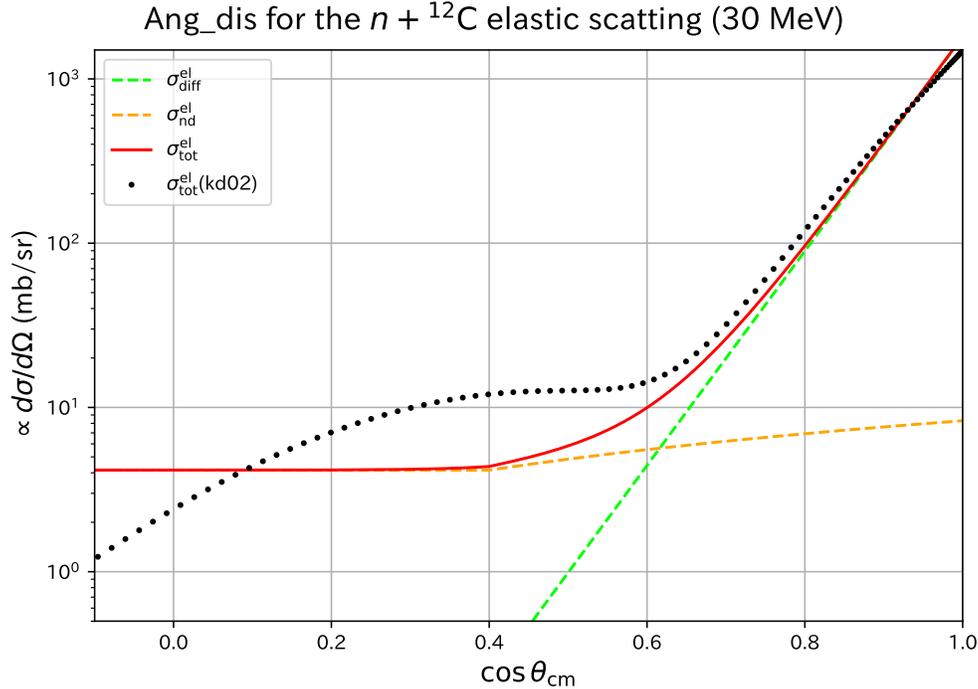


Figure 3:  $n + C$  弾性散乱の微分散乱断面積の角度分布。赤線は Cecil で用いられた分布で、緑破線はその diffractive 弾性散乱の寄与を、オレンジ破線は non-diffractive 弾性散乱の寄与を表す。黒点は ECIS97 を用いて計算される、kd02 光学ポテンシャルモデルの計算値。

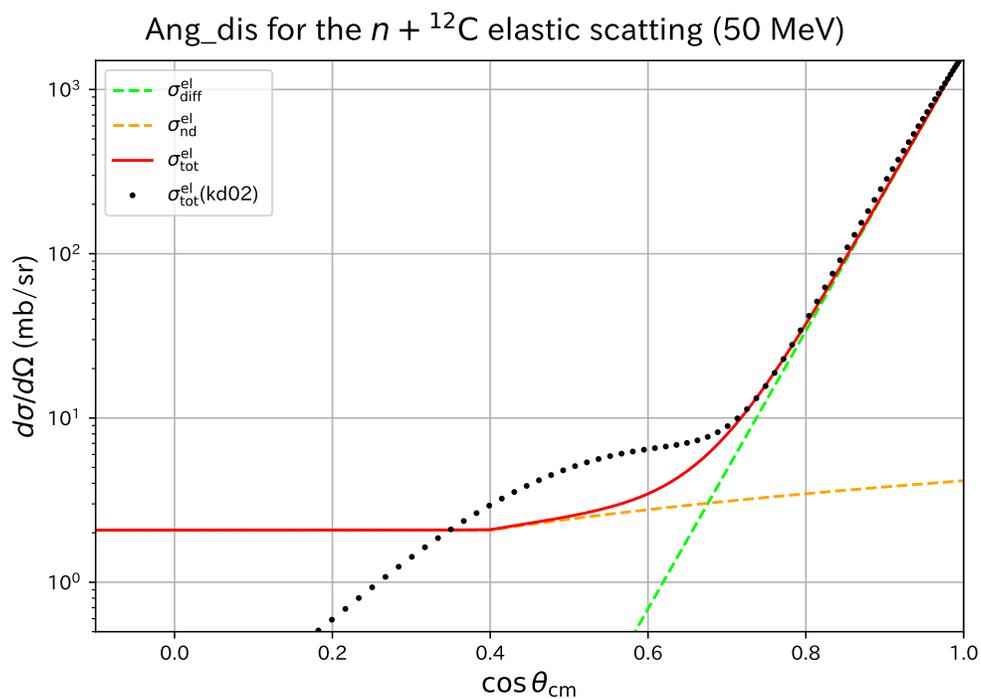


Figure 4: 図 3 と同じ。但し、中性子エネルギーが 50 MeV の結果。

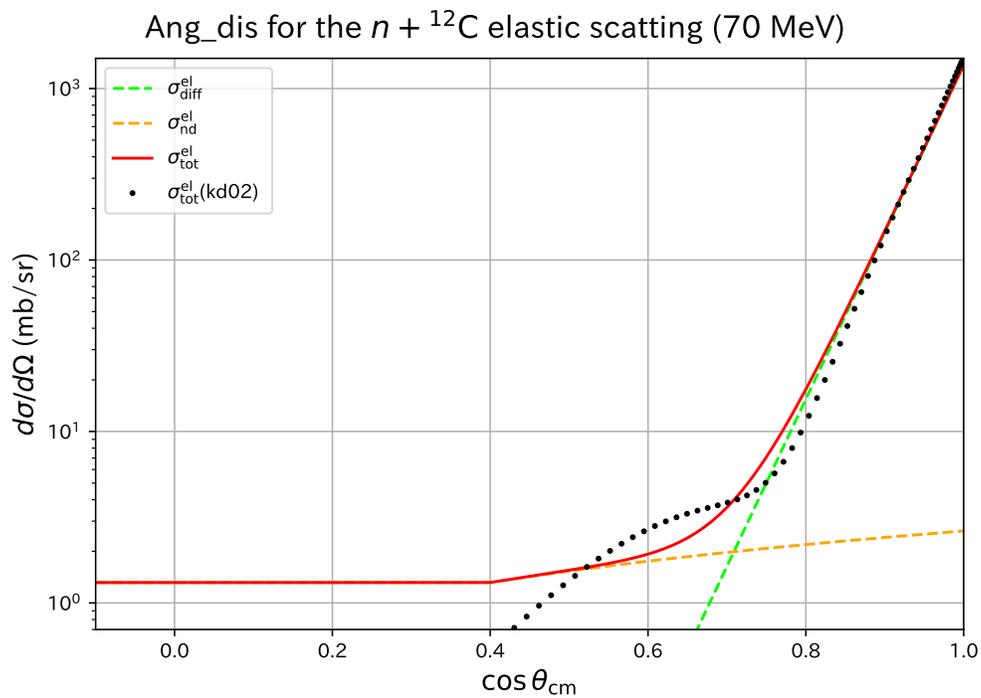


Figure 5: 図 3 と同じ。但し、中性子エネルギーが 70 MeV の結果。

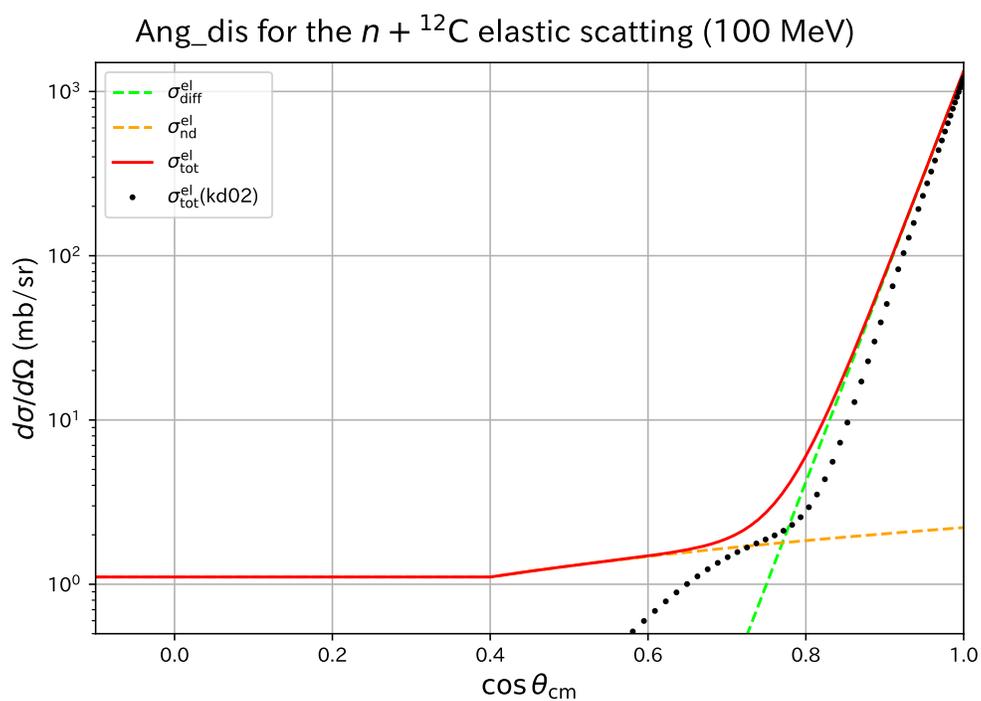


Figure 6: 図 3 と同じ。但し、中性子エネルギーが 100 MeV の結果。

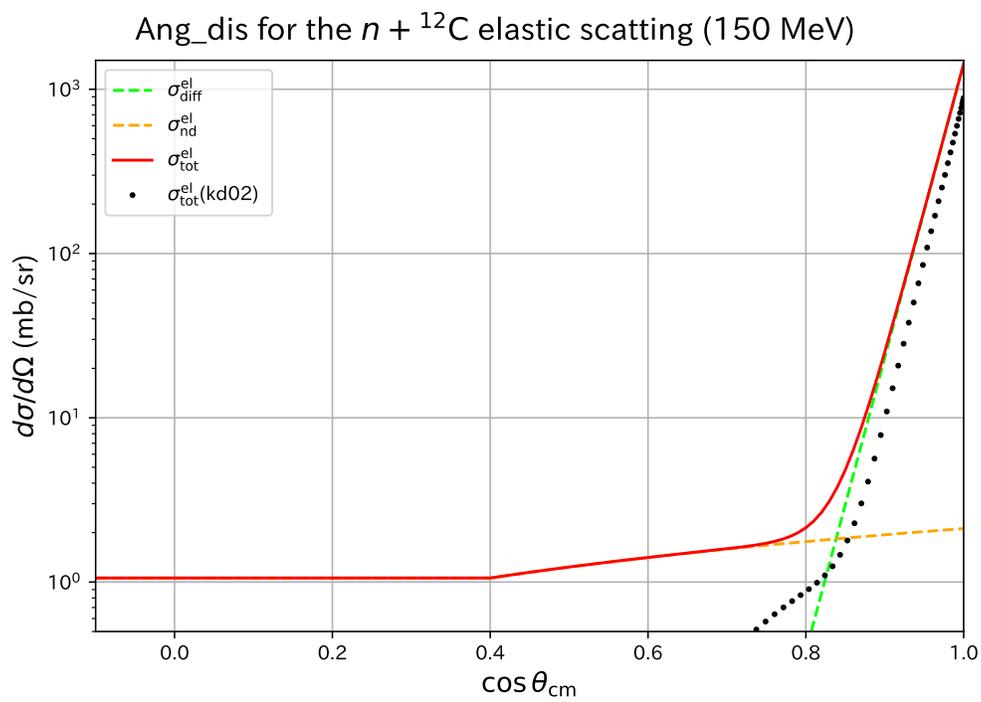


Figure 7: 図 3 と同じ。但し、中性子エネルギーが 150 MeV の結果。

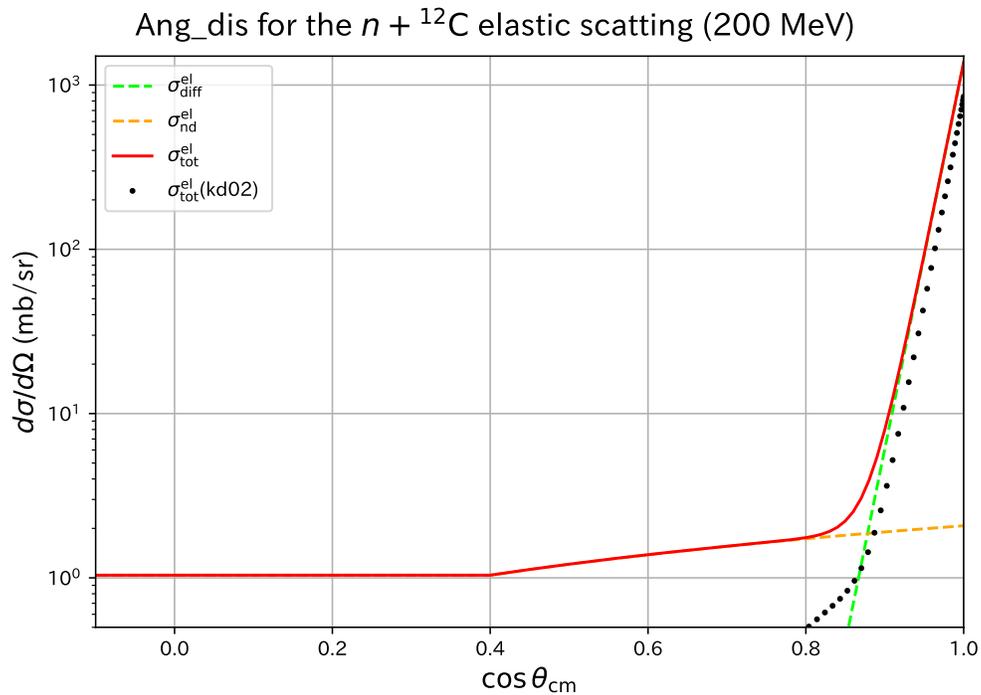


Figure 8: 図 3 と同じ。但し、中性子エネルギーが 200 MeV の結果。

## A ECIS97 のサンプル入力ファイル (200 MeV の例)

今回の計算で用いた、ECIS97 の入力ファイルの例を以下に示す。200 MeV での  $n-C$  弾性散乱を計算する際に用いた入力ファイルである。

```
kd02 200.00000 MeV 12C (n,n)
FFFFFFFFtFFfiffFFFFFFfFFFFFFFFFTTFFFFFFFFFFFFtFftFfFFFFF
fffffffffffftfffftttftttfffffffffffffffffffffffffffff
1 800 00 10 2
0.1 12.
0.009 + 200.00000 0.50000 1.00866 12.00000 0.00000
17.11 1.127 0.676
11.02 1.127 0.676
0.00 1.306 0.543
0.16 1.306 0.543
2.56 0.903 0.590
-1.97 0.903 0.590
0.000 0.000
0.0 1.12 0.55
0.5000 1.0000 179.0000
FIN
```

## References

- [1] R.A. Cecil, B.D. Anderson, and R. Madey, Nuclear Instruments and Methods 161 (1979) 439.
- [2] A.J. Koning, J.P. Delaroche, Nuclear Physics A 713 (2003) 231.
- [3] Expressions of various nucleon optical model potentials (Y.Satou).
- [4] NEUT: Event generation models for the n-p and n-C (elastic) channels (Y.Satou, Y.Makimura).