

経過報告

田中 隆己

2012年8月10日

1 上流物質厚

まず物質の厚みと組成を表 1.1 にまとめる。基本的にプラスチックフィルムの厚みは $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ とすれば

通称 (商標)	一般的な何か	厚み	組成
Mylar	PET	0.140 g/cm ² /mm	$C_{10}H_8O_4$
Kapton		0.142 g/cm ² /mm	$C_{22}H_{10}N_2O_5$
Kevlar	アラミド	0.144 g/cm ² /mm	$C_{14}H_{10}N_2O_2$
遮光シート	ポリ塩化ビニルフィルム	0.13-0.145 g/cm ² /mm	C_2H_3Cl
P10		0.174 g/cm ² /m	Ar:90%, CH_4 :10%
air		0.129 g/cm ² /m	N_2 :78%, O_2 :21%, Ar:1%
air(24 °C)		0.119 g/cm ² /m	N_2 :78%, O_2 :21%, Ar:1%
i- C_4H_{10}	イソブタン	0.267 g/cm ² /m	C_4H_{10}

表 1.1 膜や気体の厚みと組成。ガスの厚みは注釈がない場合はゼロ度の値を示している。厚みは公式ページや適当に検索して hit した流体工業株式会社のページから引っ張っている。ただし、遮光シートの厚みはよくわからなかったのが wikipedia の値そのまま。遮光シート (ポリ塩化ビニル) の厚みは LISE では $1.68\text{g}/\text{cm}^3$ となっていたがこれはあまり合っていない気がする。原子組成は複数の web ページ (wikipedia 含む) と LISE で照合しているのでおそらく間違っていない。ただし、Kapton の組成式が LISE では「 O_4 」となっていて、これは LISE が間違っていると思われる。

問題ないと思われる。plastic scintillator に使っている Mylar は 12 μm 、遮光シートは 100 μm と思われる。HOD は Mylar 三重巻、遮光シート二重巻にしているようで、SBT も結構巻いてるかもしれない。ICB の window はアラミドと construction proposal に書いてあり、どうも kevlar のフィルム版と考えれば良さそう。実験室の温度だが、壁に置いてあった謎の温度計によれば 24 度のように、上記ではゼロ度のときの厚みを示しており、実際はもう少し軽い。

次に、上流厚みを表 1.2 にまとめる。F7PPAC から Target までで 0.866 g, F7Pla 以降 (真空出口窓から Target まで) で 0.545 g (近藤さんに渡したときには F7pla2 が入っていたり、BDC のガス圧を考慮するの忘れていました)。温度を 24 度で計算すれば若干 (10mg 程度) 少なくなる。dayone の場合は F7pla2 が入ったり入らなかったり、SBT1,SBT2 の厚みが 0.5 mm なので気をつけてください。

物	厚み	物質	
F7PPAC1	$C_{10}H_8O_4$	45 um	5.8923 mg/cm ²
F7PPAC2	$C_{10}H_8O_4$	45 um	5.8923 mg/cm ²
F7Pla1	plastic	3 mm	0.3096 g/cm ²
(F7Pla2)	plastic	3 mm	0.3096 g/cm ²
真空出口窓	kapton?	100 um ?	14.2 mg/cm ²
大気	air	*	**
ICB 入口窓	aramid (kevlar?)	16 um	2.304 mg/cm ²
ICB ガス	P10 (1 atm)	541 mm	94.134 mg/cm ²
ICB anode	mylar	12 um*10	16.8 mg/cm ²
ICB cathode	mylar	12 um*11	18.48 mg/cm ²
ICB 出口窓	aramid (kevlar?)	16 um	2.304 mg/cm ²
大気	air	*	**
SBT1 本体	plastic	1 mm	0.1032 g/cm ²
SBT1 巻物	mylar + 遮光シート	12 um*4 + 100 um*2 ??	34.7 mg/cm ²
大気	air	*	**
SBT2 本体	plastic	1 mm	0.1032 g/cm ²
SBT2 巻物	mylar + 遮光シート	12 um*4 + 100 um*2 ??	34.7 mg/cm ²
大気	air	*	**
真空入口窓	kapton?	100 um ?	14.2 mg/cm ²
BDC1 入口窓	kapton?	75 um	10.7 mg/cm ²
BDC1 ガス	isobutane (100 torr)	120 mm	4.22 mg/cm ²
BDC1 cathod	kapton	8 um*9	10.224 mg/cm ²
BDC1 出口窓	kapton?	75 um	10.7 mg/cm ²
BDC2 入口窓	kapton?	75 um	10.7 mg/cm ²
BDC2 ガス	isobutane (100 torr)	120 mm	4.22 mg/cm ²
BDC2 cathod	kapton	8 um*9	10.224 mg/cm ²
BDC2 出口窓	kapton?	75 um	10.7 mg/cm ²
Total			1.176 g/cm ²

表 1.2 F7 から Target までの物質。大気の厚み (28 cm 程度 (36 mg/cm²)) は最後の Total には含まれている。遮光シートは 0.14 g/cm²/mm とした。ガスの厚みは 0 度のときの値を用いた。

2 SBT-Target TOF

上記のエネルギーロスと南方君測定 + 手測定 + 単なる写真からの推察 (SBT の位置) によって LISE を使って SBT-Target 間の TOF を出した (F7 から Target の smcom の「細かな」セットアップファイルが欲しい方は言ってください。)。結果は SBT-Target 間の距離が 228cm(大体誤差 1cm) で proton 200 MeV(196 MeV) のとき 13.49ns, proton 250 MeV(248 MeV) のとき 12.40ns となった。この SBT-Target 間の TOF を

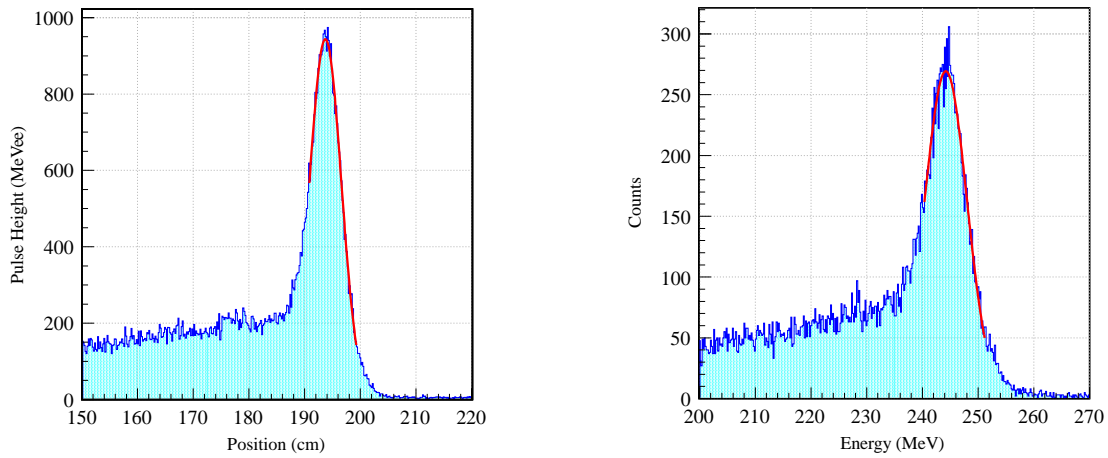


図 2.1 エネルギー分布。左の図の peak が 194.2 MeV となるように時間を calibration し、右は 246.4 MeV となることを想定して飛行距離補正などを行っている。しかし、右の図で時間にして 140 ps, エネルギーにして 1.6 MeV ずれた。

引けば 200 MeV を基準として 250 MeV のときのエネルギーが NEBULA で決定できるはずである。energy spectrum を図 2.1 に示す。左の図は 194.16 MeV になるように時間を調整しているが実際には 194.1 keV となり 60 keV ずれた。TOF を合わせたその人自身なのでこんなところか。図の様においしく fit した場合の sigma は 2.86 MeV ($dE/E=1.47\%$)。右の図の peak は 246.4 MeV となるべきが 244.8MeV となり、1.6 MeV もずれてしまった。sigma は 3.80 MeV ($dE/E=1.55\%$)。飛行距離補正をしたときの時間のずれは 140 ps 程度で、これがそもそも 0 ps にならないといけない。この違いがどこから来るかは分かっていない。ただ、最初は上流の厚みを 50 mg 程度間違えていて、これを直すと時間にして 30 ps 正しい方向に向かったので、そういった微妙なものから来ているのかもしれない。

3 ターゲット中のエネルギーロスを中心値

ターゲット中でエネルギーロスした場合に neutron counter に現れるスペクトルの中心値がどうなるか考察した。結論は E_{in} と E_{out} の平均値で良さそう、ということである。

まず、そもそも速度 (時間) 分布について考えるべきなのか、エネルギー分布について考えるべきなのかについて考える。ある物理量の分布関数は一般に、微小物理量あたりの個数で表される。つまり、エネルギーのスペクトルであれば、

$$f(E) = \frac{dN}{dE} \quad (3.1)$$

となる。測定技術的には時間分布がガウシアンとなるので、エネルギー分布と時間分布の関係を考えると、

$$f_T = \frac{dN}{dT} (= gaussian) \quad (3.2)$$

$$f_E = \frac{dN}{dE} = \frac{dN}{dT} \frac{dT}{dE} \quad (3.3)$$

$$\frac{dE}{dT} = -\frac{2E}{T} \quad (3.4)$$

$$\therefore f_E = \frac{T}{2E} f_T \equiv \varepsilon f_T \quad (3.5)$$

と求まる。なお、分布の定数の係数は意味が無いのでマイナスは落とした。結局、時間分布が gaussian でもエネルギー分布に変換すると $\varepsilon=T/2E$ だけ歪む。分布の幅が小さいとしてこの歪率を計算すると、

$$d\varepsilon = \frac{T + dT}{2(E + dE)} \quad (3.6)$$

$$\sim \frac{T}{2E} (1 + dT/T)(1 - dE/E) \quad (3.7)$$

$$\sim \frac{T}{2E} (1 + dT/T)(1 + 2dT/T) \quad (3.8)$$

$$= \frac{T}{2E} (1 + 3dT/T) \quad (3.9)$$

$$\therefore \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = 1 + \frac{3dT}{T} \quad (3.10)$$

となる。3dT/T はだいたい 1ns/60ns=0.017 となるので、結局分布の両端での歪みの違いは 2% 程度しかないことになる。直感的にこの程度の歪みで中心値が動くわけもないので、時間分布の中心値はそのままエネルギー分布の中心値になると言える。

上記の議論からエネルギー分布と時間分布どちらの分布を考えても中心値は変わらないということになったので、次に、ビームを標的に入射した場合のエネルギー分布を考える。Bethe-Bloch formula より、単位距離あたりのエネルギーロス是非相対論的近似を使うと、

$$\frac{dE}{dx} \sim -\frac{1}{v^2} \sim -\frac{1}{E} \quad (3.11)$$

となる。一方、単位距離あたりの粒子数の変化は、

$$\frac{dN}{dx} \propto -N \quad (3.12)$$

となる。以上より、

$$f_E = \frac{dN}{dE} = \frac{dN}{dx} \frac{dx}{dE} \propto N(E)E \quad (3.13)$$

ここで、ターゲット中での粒子数 N の変化が十分に小さいと仮定 ($N(E) \sim N_0$) すると、スペクトルはエネルギーに比例する (エネルギーが高いが大きい) ことになる。このエネルギー分布の形だが、出射エネルギーが一番小さい (E_f) ところから始まり、入射エネルギー (E_i) で終わる right trapezoid (日本語に直角台形なるものがない?) を立てたような形になる。そこで、この図形の重心エネルギー (E_c) を求めると (gaussian の

peak と重心がどこまで一致するかは知らない)、

$$(f_E(E_i) + f_E(E_c))(E_i - E_c) = (f_E(E_c) + f_E(E_f))(E_c - E_f) \quad (3.14)$$

$$f_E(E_i + E_c)(E_i - E_c) = f_E(E_c + E_f)(E_c - E_f) \quad (3.15)$$

$$(E_i + E_c)(E_i - E_c) = (E_c + E_f)(E_c - E_f) \quad (3.16)$$

$$\therefore E_c = \sqrt{\frac{E_i^2 + E_f^2}{2}} \quad (3.17)$$

と求まる。ここで、 $(E_i - E_f)/E_i \ll 1$ と仮定すると、 $E_c = (E_i + E_f)/2$ となる。実際に 250 MeV から 240 MeV に減少した場合を計算すると、エネルギーの平均を計算した場合と式 3.17 を計算した場合では違いはたかだか 50 keV(割合で 2×10^{-4}) となり、NEBULA の位置で時間にして 6 ps の違いしか生まないため、NEBULA の場合はエネルギーの平均値を取れば十分ということになる。

より詳細に考える場合は、エネルギーロスが landau 分布となることと、 $N(E) \sim N_0$ という仮定があまりよい近似でない、ということを経験する必要があり、そこまで考えるなら数値計算をした方が早いと思われる。