



ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**BF<sub>3</sub> SAYAÇ TÜPÜNDE DEDEKSİYON  
VERİMİ**

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ  
PROF. DR. HALUK YÜCEL

## BF<sub>3</sub> Sayaç Tüpünde Dedeksiyon Verimi

- Bir tüpün ekseni boyunca, dedektör üzerine gelen nötronlar için sayacın dedeksiyon verimi,

$$\varepsilon(E) = 1 - e^{-\Sigma_{a(E)}L}$$

Burada,  $\Sigma_a$ : <sup>10</sup>B'un makroskopik tesir kesiti (nötronun E enerjisinde)

L: Sayaç tüpünün etkin uzunluğu

L = 30cm

BF<sub>3</sub> (%96 <sup>10</sup>B zenginliğinde)

P(filling) = 600 torr

Termal nötron enerjileri (0.025eV) için verim;

$$\varepsilon(0.025eV) = \%91.5$$

Rezonans nötron enerjileri (100eV) için verim;

$$\varepsilon(100eV) = \%3,8' e \text{ düşer}$$

BF<sub>3</sub> tüpleri yeterince saf BF<sub>3</sub> gazıyla (%96 <sup>10</sup>B zenginliğinde) doldurulur. Ancak BF<sub>3</sub>, tek başına orantılı gaz dedektörleri için ideal bir gaz değildir. Bu neden tüp için imalatçısı Ar gibi uygun bir gaz karışımı yapar. BF<sub>3</sub> + Ar ile seyreltilmesi nötron sayacının veriminde bir azalmaya yol açar ancak sayaç tüpünden ileri gelen puls yüksekliği spektrumu genellikle daha keskin pikler verdiği için Ar gazı gereklidir.

$$\text{BF}_3 \text{ verimi: } \varepsilon(E) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-\Sigma_{t(E)}L}] [e^{-\Sigma_{w(E)}t_w}]$$

L=tüp boyu

t<sub>w</sub>= end – window thickness

Ek bilgi: İdeal gaz hacmi =22414cm<sup>3</sup>/mol @ STP

Herhangi bir gaz 1 gram molekül ağırlığında N<sub>av</sub> =6.02252x10<sup>23</sup> atom ihtiva eder ve kapladığı hacim 22414 cm<sup>3</sup> @ STP

Evrensel gaz sabiti R=8.32x10<sup>7</sup> erg/°C.g.mol

1atm=76cmHg=760mmHg=760Torr=101,325kPa

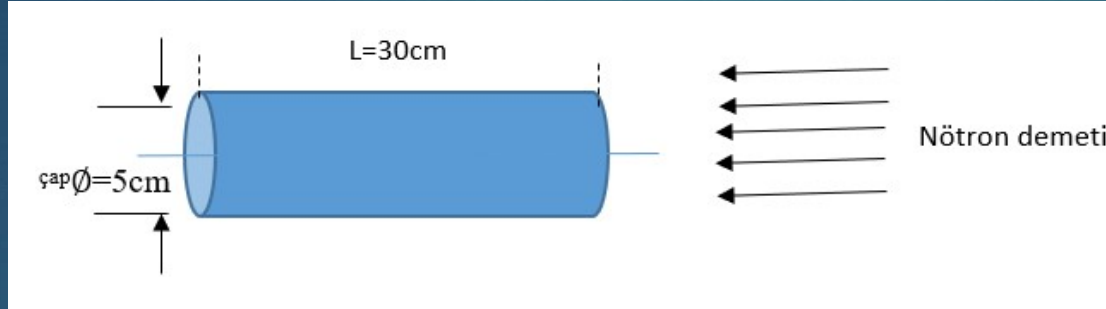
**Soru1:** Tüp çapı  $\sim 5\text{cm}$  ve boyu  $30\text{ cm}$  olan bir  $\text{BF}_3$  gaz sayacına  $\%96$   $^{10}\text{B}$  izotopunca zenginleştirilmiş  $\text{BF}_3$  gazı  $608\text{ torr}$  basınçta ( $0.8\text{atm} = 83.06\text{kPa}$ ) dolduruluyor. Penceresi  $2\text{mm Al}$  olan ( $\Sigma_t = 1.05\text{b @ } 10\text{eV}$ )  $\text{BF}_3$  sayacı enerjisi  $0.0253\text{eV}$  olan termal nötronlar ile  $10\text{eV}$ 'luk termal üstü nötronların dedeksiyonu için kullanılmaktadır.

- a) Termal nötronlar demet halinde dedektör boyunca eksene paralel geldiklerinde sayaç verimi ne olur?
- b) Termal üstü nötronlar demet halinde dedektör boyunca eksene paralel geldiklerinde sayaç verimi ne olur?
- c) Nötron demeti sayaç eksenine dik açıda geldiğinde termal ( $0.0253\text{eV}$ ) ve termal üstü ( $10\text{eV}$ ) nötronlar için verimi ne olur?

(Dedektör tüp penceresi ve duvar etkilerini ihmal ediniz.)

Cevaplar:

a)



BF<sub>3</sub> verimi: 
$$\varepsilon(E) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-\Sigma_t(E)L}] [e^{-\Sigma_w(E)t_w}]$$

$$(BF_3) = \frac{N_{av}}{V(cm^3)} \times \frac{P}{P_0} = \frac{6.02522 \times 10^{23}}{22414 cm^3} \left( \frac{608 torr}{760 torr} \right) = 2.1507 \times 10^{19} \text{ molekül } BF_3$$

Termal nötronlar için:  $\Sigma_a \approx \Sigma_t \approx \Sigma_a(^{10}B)$

$$\Sigma = N \cdot \sigma$$

$$\Sigma_t(0.025) = N \cdot (0.96 \times \sigma(^{10}B) + 0.04 \times \sigma(^{11}B) + 3 \times \sigma(F))$$

$$\Sigma_t(0.025) = 2.1507 \times 10^{19} \cdot (0.96 \times 3840b + 0.04 \times 0 + 3 \times 0) = 0.079283 cm^{-1}$$

Al pencere için:

$$\sigma_t^w(Al) = 0.23b$$

$$t_w = 0.2cm$$

$$\Sigma_t^w = N \cdot \sigma_t^w = \left[ \frac{\rho \cdot N_{av}}{A} \right] \cdot \sigma_t^w$$

$$\Sigma_t^w = N \cdot \sigma_t^w = \left[ \frac{2.7 \times 6.02252 \times 10^{23}}{27} \right] \cdot 0.23b = 0.0138506 cm^{-1}$$

$$\varepsilon(0.025eV) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-(0.079283 \times 30)}] [e^{-(0.0138506 \times 0.2)}]$$

$$1 \quad \varepsilon(0.025eV) = \%90.48$$

b) Termal üstü nötronlar (10eV) için:

$$\text{BF}_3 \text{ için } \sigma_a(10eV) = \sigma_0 \frac{V_0}{V(E)} = 3840x \sqrt{\frac{0.025}{10}} = 192b$$

$$\Sigma_t(0.025) = 2.1507x10^{19} \cdot (0.96x 192b + 0.04x0 + 3x0) = 3.964x10^{-3}cm^{-1}$$

$$\Sigma_t^w = N \cdot \sigma_t^w = \left[ \frac{2.7x6.02252x10^{23}}{27} \right] \cdot 1.05b = 0.06324cm^{-1}$$

$$\varepsilon(10eV) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-(3.964x10^{-3}x30)}] [e^{-(0.06324x0.2)}]$$

1

$$\varepsilon(10eV) = \%11.07$$

**Soru2:** Çapı 5cm ve boyu 30cm olan bir  $BF_3$  sayacı, %96  $^{10}B$  zenginleştirilmiş  $BF_3$  gazıyla doldurulmuştur. Termal nötronların dedeksiyonu için kullanılacak olursa sayaç içinde bir akı düşmesi (flux depression) hesaba katılmalı mıdır? (Gaz 1atm basınca sahiptir.)

**Cevap:**

Akının düzgünlüğünün (uniformity) ölçüsünü veren  $e^{-\Sigma_t l}$  faktörünün hesaplanması gerekir. Bunun için toplam tesir kesiti soru1'den;

$$N(BF_3) = \frac{N_{av}}{V(cm^3)} = \frac{6.02522 \times 10^{23}}{22414 cm^3} = 2.688 \times 10^{19} \text{ molekül } BF_3$$

$$\Sigma_t = 0.0991 cm^{-1}$$
$$e^{-\Sigma_t l} = e^{-(0.0991 cm^{-1} \times 30 cm)} = 0.05$$

Şayet  $l = D = 5cm$  alınırsa;

$$e^{-\Sigma_t D} = e^{-(0.0991 cm^{-1} \times 5 cm)} = 0.61$$

%61 çap doğrultusunda, %5 sayaç boyunca bir akı çökmesi olacağından, ölçülecek akının sayacın tüm hacmi üzerinde düzgün olamayacağı sonucu ortaya çıkar. Eğer  $BF_3$  sayacı, tek enerjili nötron kaynağı yerine, çok enerjili (polyenergetic) nötron spektrumu dedeksiyonu için kullanılırsa, hesap için ortalama tesir kesitleri kullanılmalıdır.



**Soru3:** Enerjisi 1eV olan nötronların paralel bir demeti için “Çapı 4cm(1.57in) ve boyu 30cm(~12in)” olan ve de %96  $^{10}\text{B}$  izotopunca zenginleştirilmiş  $\text{BF}_3$  sayacının verimi ( $\varepsilon$ ) nedir?  $\text{BF}_3$  sayacındaki gaz basıncı 53.329Pa (40cm Hg)’dir.

İki durumu göz önüne alın:

- 1) Nötron demetinin sayacın eksenine paralel gönderildiği
- 2) Nötron demetinin sayacın eksenine dik olarak geldiğinde sayaç penceresi ve duvarı Al’ da yapılmıştır (2mm kalınlıkta).

$$(\sigma_t(\text{Al}) = 1.5b \text{ (1eV enerjili nötronlar için)})$$

**Cevap:** 1eV enerjili nötronlar için:  $\Sigma_a \approx \Sigma_t \approx \Sigma_a(^{10}\text{B})$  alınabilir.

$$\sigma_a(1eV) = \sigma_0 \frac{v_0(0.025eV)}{v(1eV)} = 3840x \sqrt{\frac{0.025}{1}} = 607.15b$$

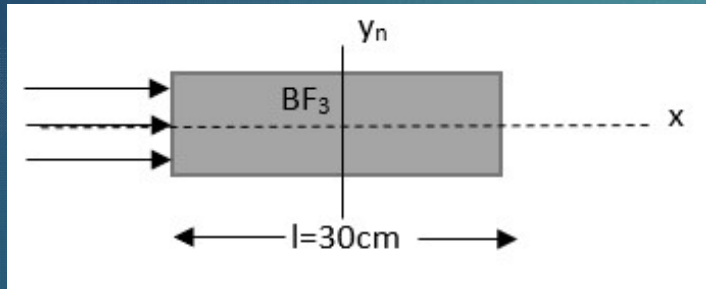
$$\Sigma_t(1eV) = \frac{53.329}{101.325} \left( \frac{6.023x10^{24}}{22400} \right) (0.96x 192b + 0.04x0 + 3x0) = 8.246x10^{-3} cm^{-1}$$

Al için;

$$\Sigma_t^w \cdot t_w = N \cdot \sigma_t^w \cdot t_w = \left[ \frac{\rho \cdot N_{av}}{A} \right] \cdot \sigma_t^w \cdot t_w$$

$$\Sigma_t^w \cdot t_w = N \cdot \sigma_t^w \cdot t_w = \left[ \frac{2.7 \times 6.02252 \times 10^{23}}{27} \right] \cdot (1.5b) \cdot (0.2 \text{ cm}) = 0.0181 \text{ cm}^{-1}$$

(1)Durum:



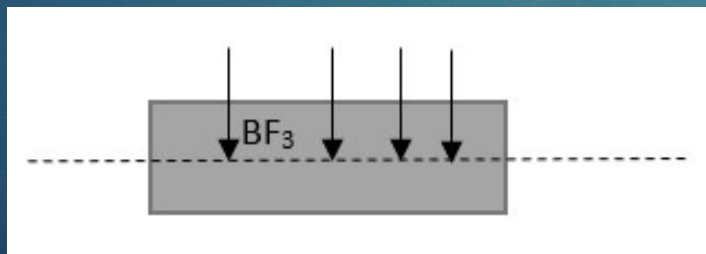
Sayaç demet eksenine paralel:

$$\varepsilon(E) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-\Sigma_a(E)L}] [e^{-\Sigma_w(E)t_w}]$$

$$\varepsilon(E) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-0.0082 \times 30}] [e^{-0.018 \times 0.2}]$$

$$\varepsilon(E) = [0,218][0,996] = 0,217 = 21.7\%$$

(2)Durum:



Sayaç demet eksenine dik:

$$l = D = 4 \text{ cm}$$

$$\varepsilon(E) = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - e^{-\Sigma_a(E)L}] [e^{-\Sigma_w(E)t_w}]$$

$$= 1(1 - \exp(-0.0082 \times 4)) \cdot 0.996 = 3.2\%$$