

Fig. 3.1.4. (a), (b) Comparison of measured and calculated reaction rates for threshold detectors and (n,γ) detectors on the line G in 10 cm air gap.

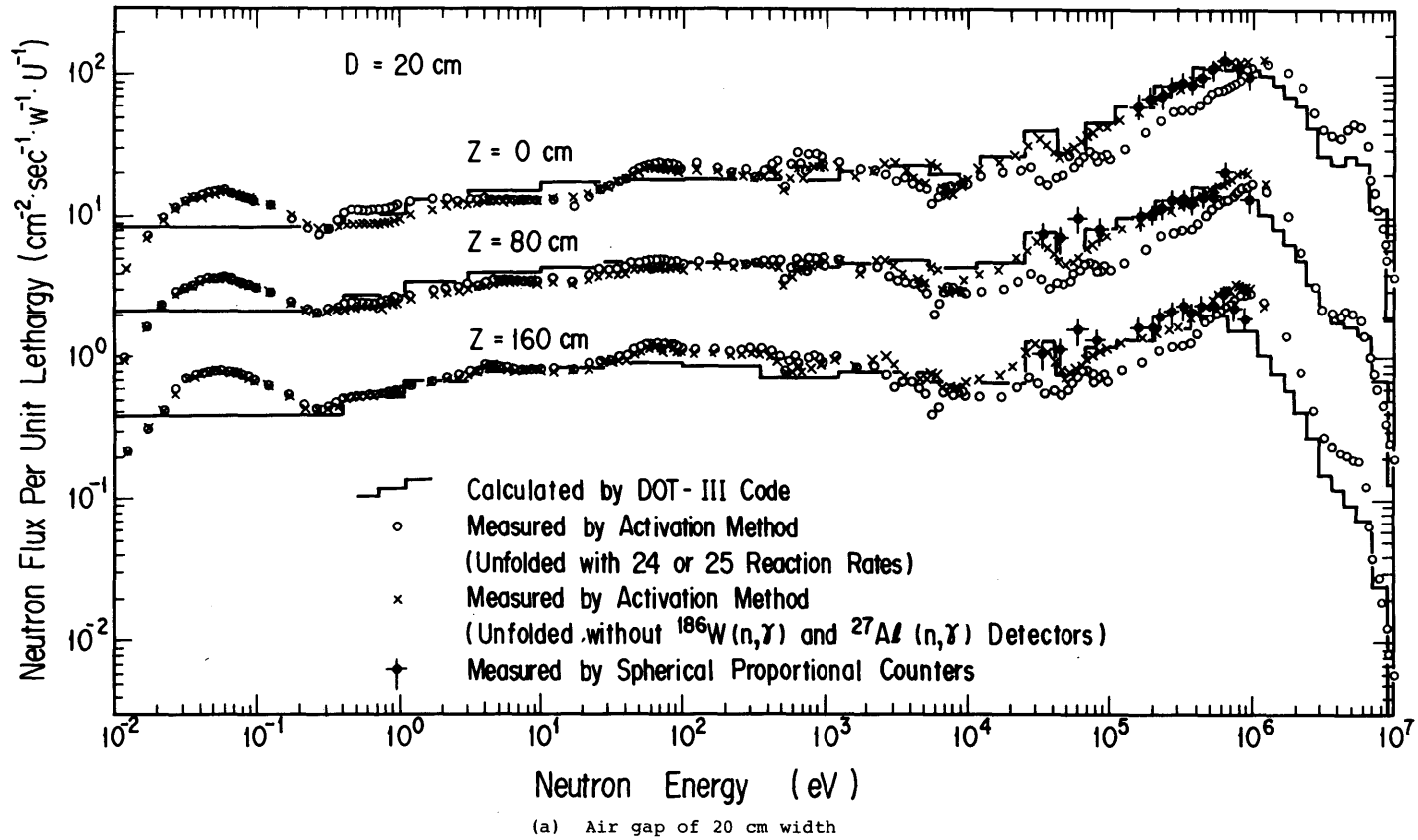
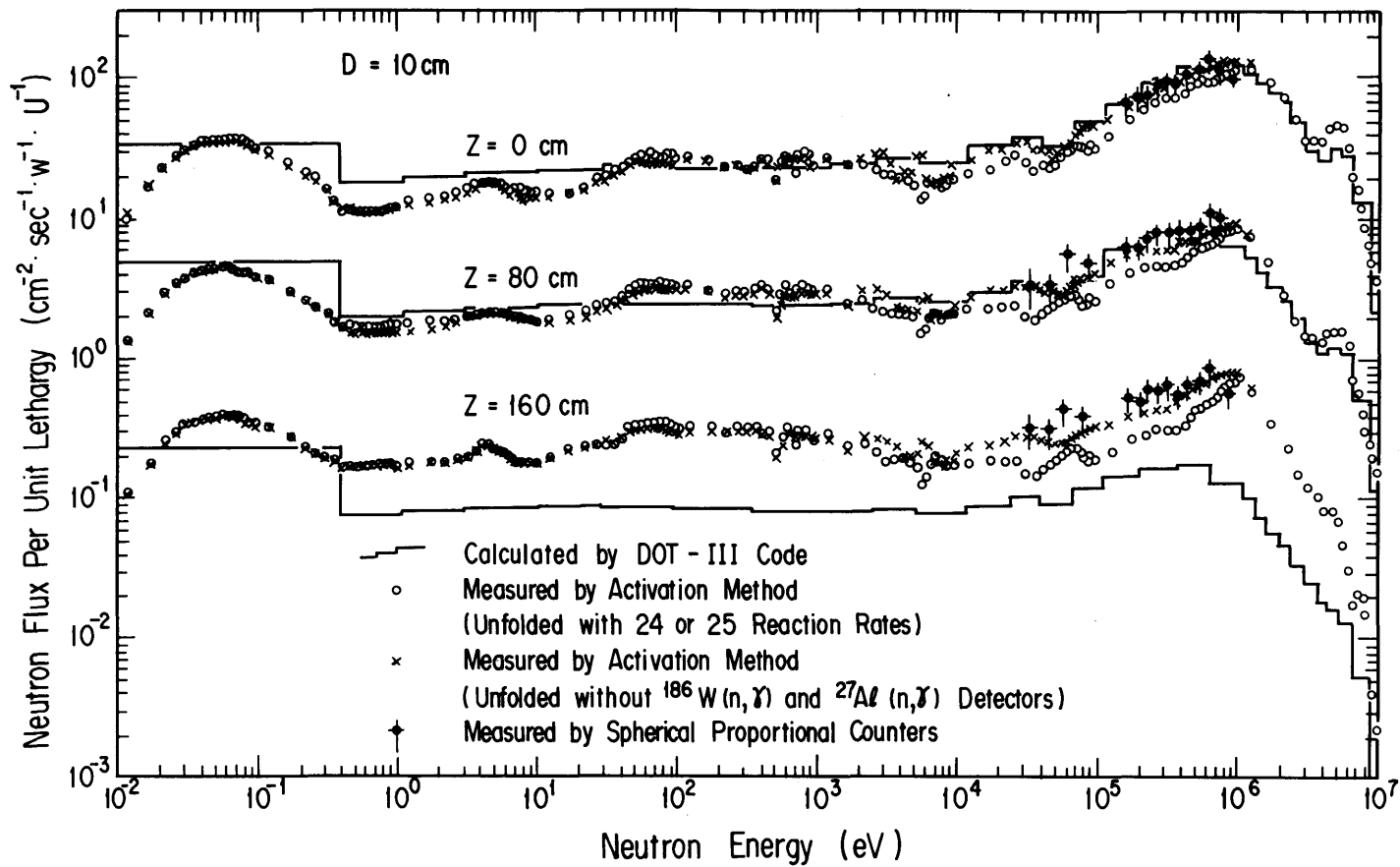


Fig. 3.1.5. (a), (b) Comparison of measured and calculated spectra in air gaps of 10 and 20 cm widths.



(b) Air gap of 10 cm width

Fig. 3.1.5. (a), (b) Comparison of measured and calculated spectra in air gaps of 10 and 20 cm widths.

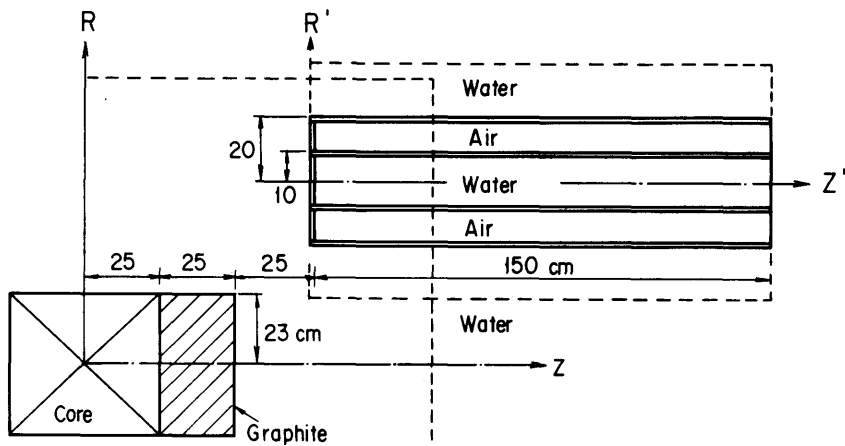


Fig. 3.2.1. Geometrical model of configuration 2 used in PALLAS calculations.

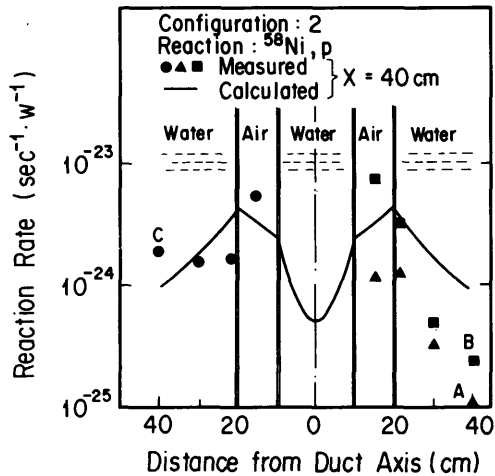


Fig. 3.2.2. Comparison of measured and calculated radial distributions of $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaction rates at the positions of 40 cm from the duct mouth.

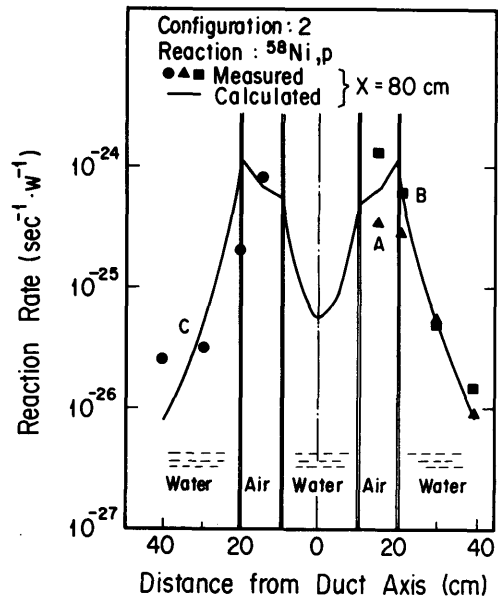


Fig. 3.2.3. Comparison of measured and calculated radial distributions of $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaction rates at the positions of 80 cm from the duct mouth.

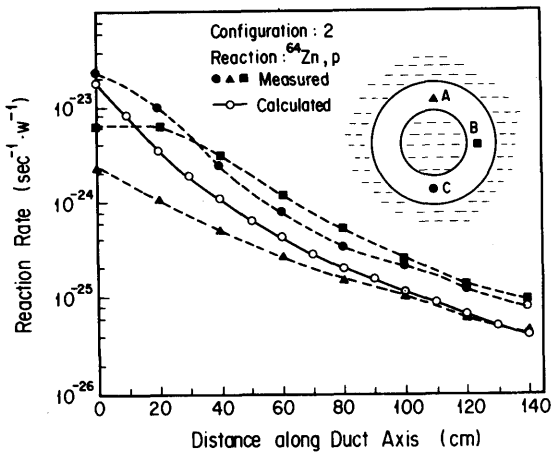


Fig. 3.2.4. Comparison of measured and calculated axial distributions of $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ reaction rates.

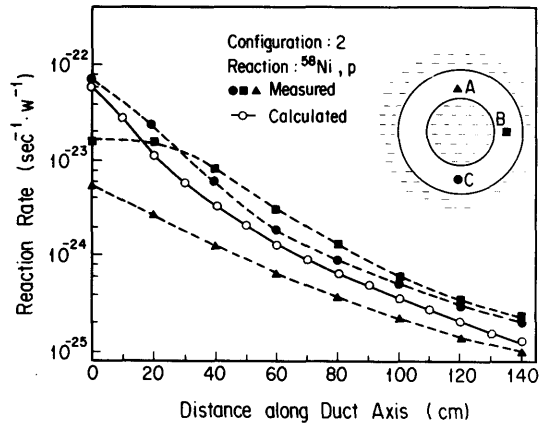


Fig. 3.2.5. Comparison of measured and calculated axial distributions of $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ reaction rates.

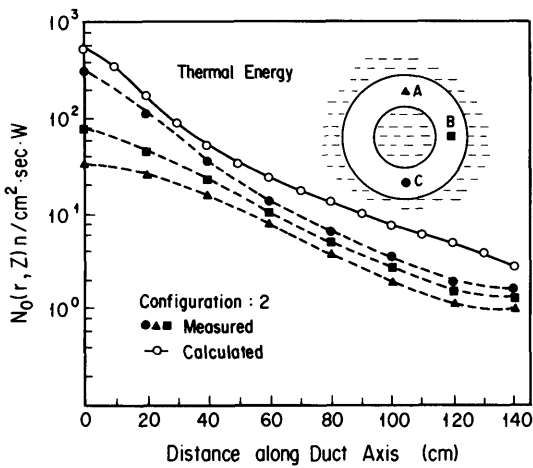


Fig. 3.2.6. Comparison of measured and calculated axial distributions of the thermal neutron fluxes.

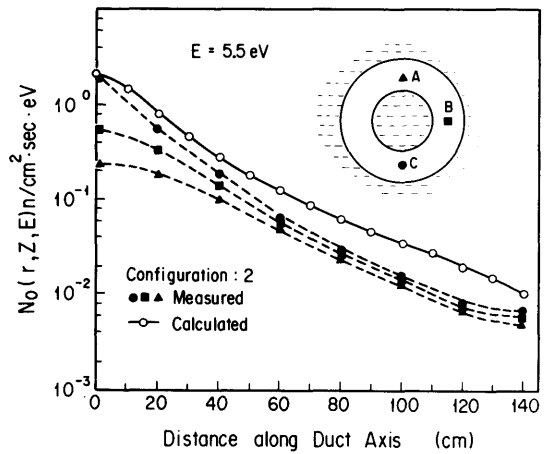


Fig. 3.2.7. Comparison of measured and calculated axial distributions of the epithermal neutron fluxes at the energy of 5.5 eV.

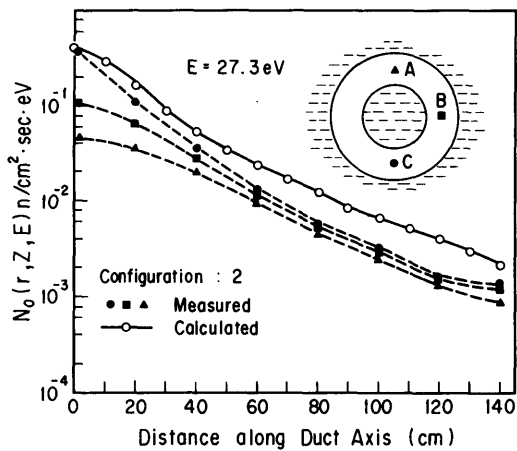


Fig. 3.2.8. Comparison of measured and calculated axial distributions of the epithermal neutron fluxes at the energy of 27.3 eV.

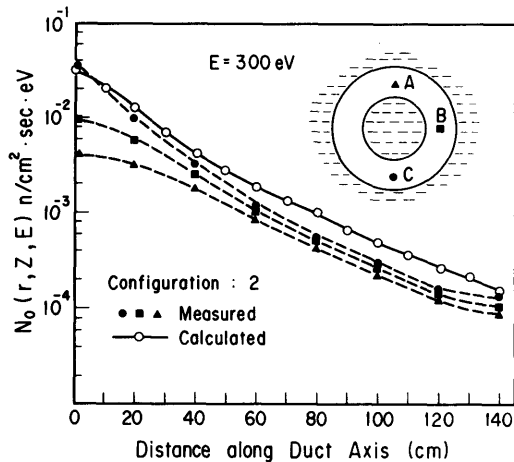


Fig. 3.2.9. Comparison of measured and calculated axial distributions of the epithermal neutron fluxes at the energy of 300 eV.

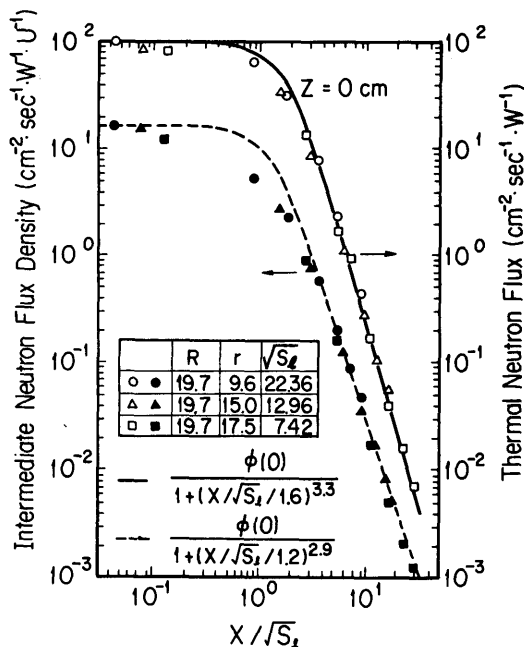


Fig. 4.1.1. The thermal and epithermal neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled annular ducts in configurations 1L, 1M, and 1S.

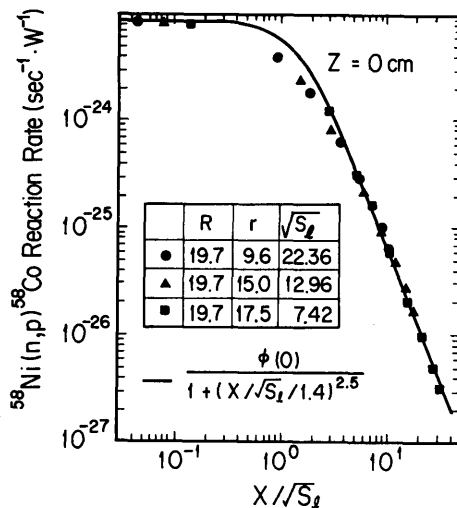


Fig. 4.1.2. The fast neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled annular ducts in configurations 1L, 1M, and 1S.

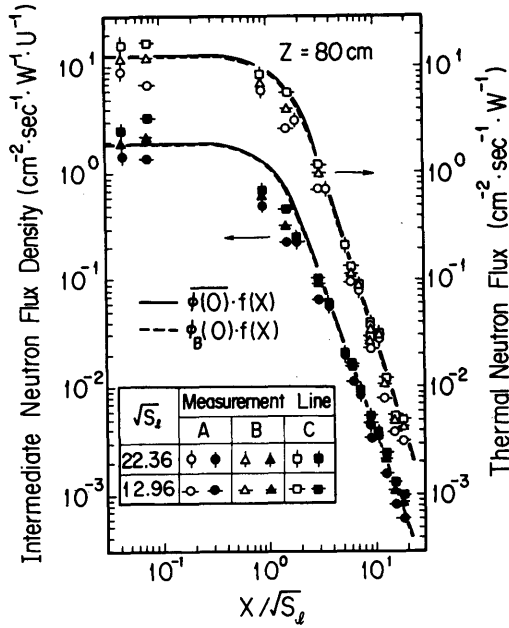


Fig. 4.1.3. The thermal and epithermal neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled annular ducts in configurations 2L and 2M.

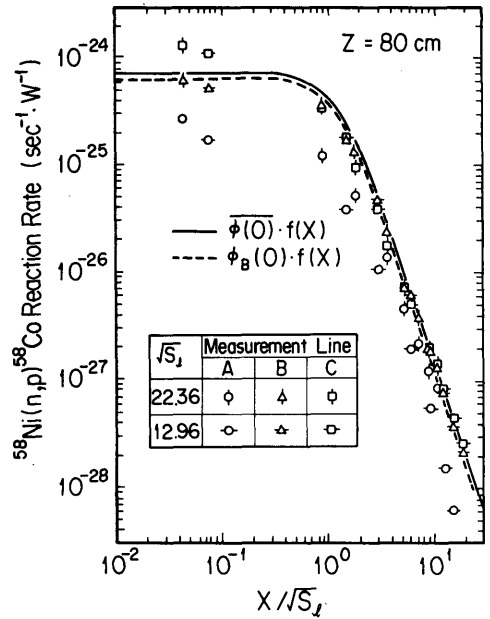


Fig. 4.1.4. The fast neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled annular ducts in configurations 2L and 2M.

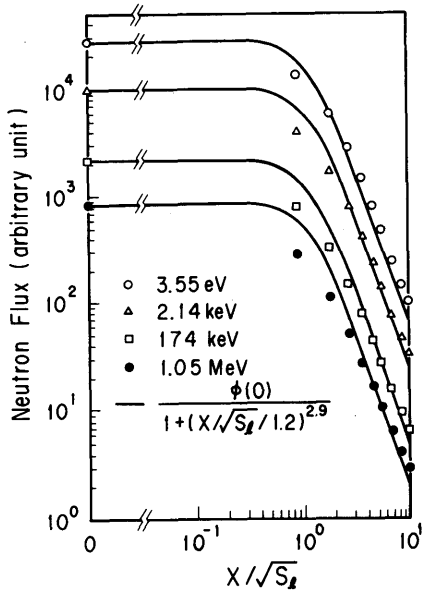


Fig. 4.2.1. The axial distributions of energy-dependent neutron flux distributions calculated with the PALLAS-2DCY-FC discrete ordinates transport code.

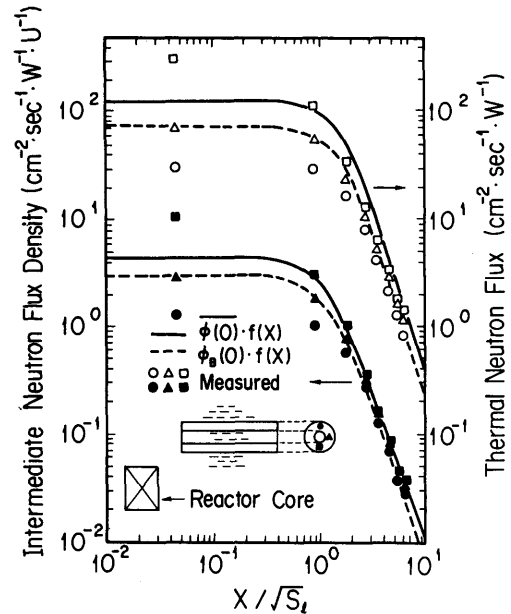


Fig. 4.2.2. Comparison of the calculated values with the thermal and epithermal neutron flux distributions measured along the axis of the steel-walled annular duct in configuration 2 of experiment 2.5.

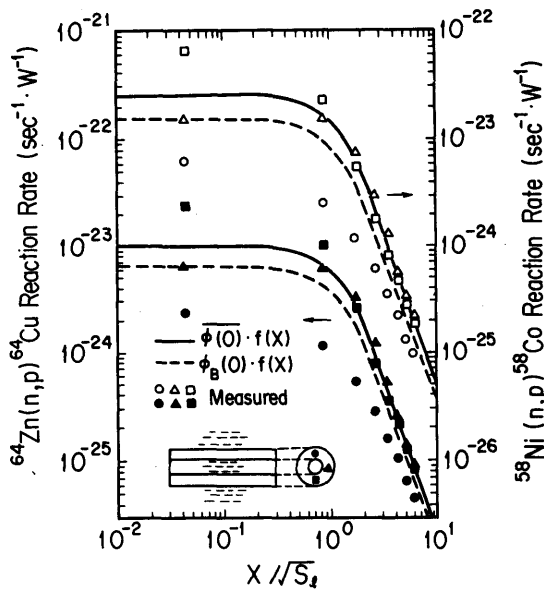


Fig.4.2.3. Comparison of the calculated values with the fast neutron flux distributions measured along the axis of the steel-walled annular duct in configuration 2 of experiment 2.5.

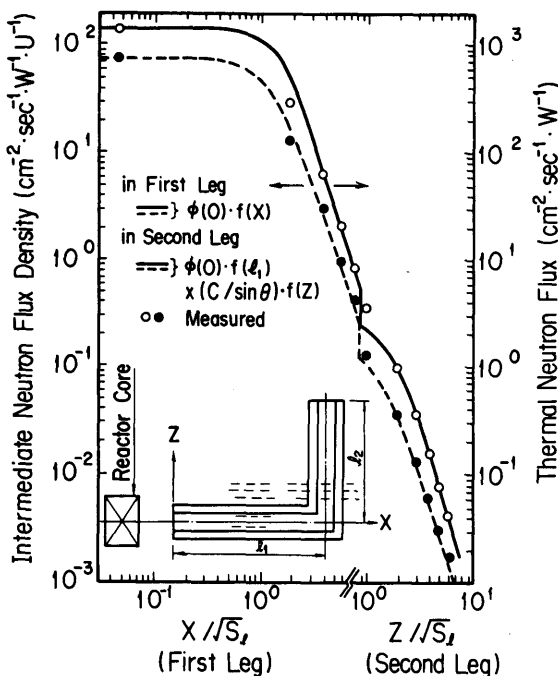


Fig.4.2.4. Comparison of results from Eq. (4.2.1.) with the thermal and epithermal neutron flux distributions measured along the axis of the steel-walled annular duct with one bend and located in a water shield.

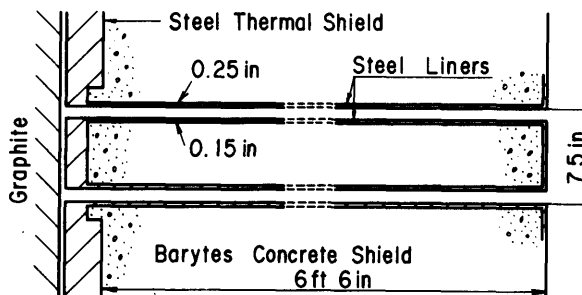


Fig.4.2.5. Experimental configuration of steel-walled annular duct penetrating through a barytes concrete shield.

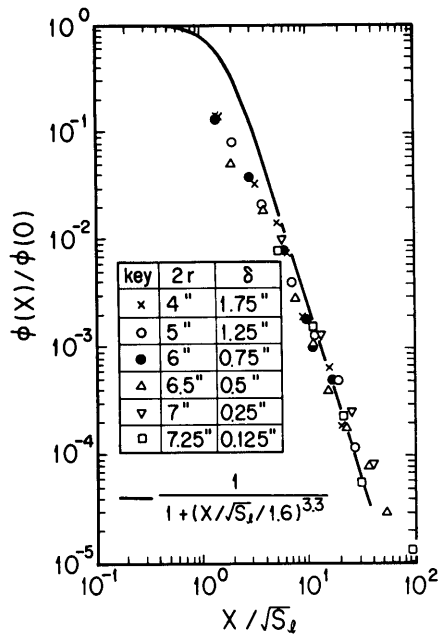


Fig. 4.2.6. Comparison of the calculated results with the thermal neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled annular ducts in a barytes concrete shield.

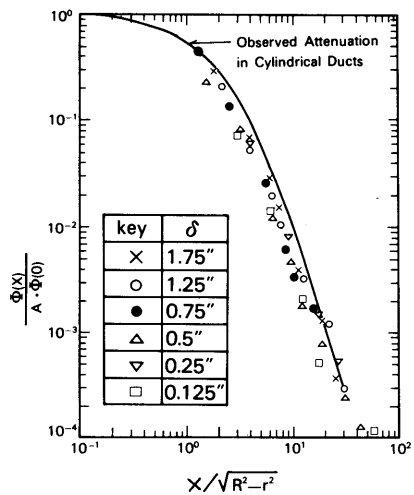


Fig. 4.2.7. Attenuation of the thermal neutron flux in steel-walled annular ducts. The unit of the abscissa is $\sqrt{R^2-r^2}$, where R and r are outer radius and inner radius, respectively (Ref.4).

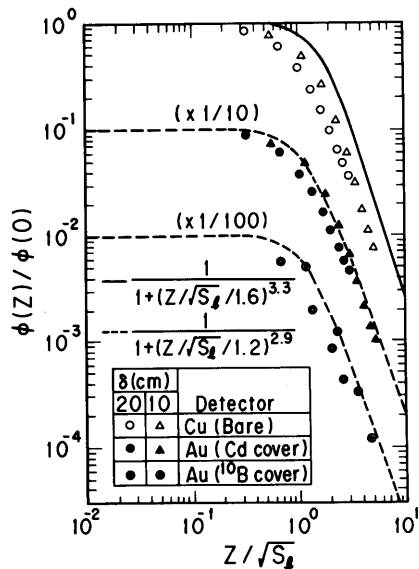


Fig. 4.2.8. Comparison of the calculated results with experimental data obtained in experiment 2.4.

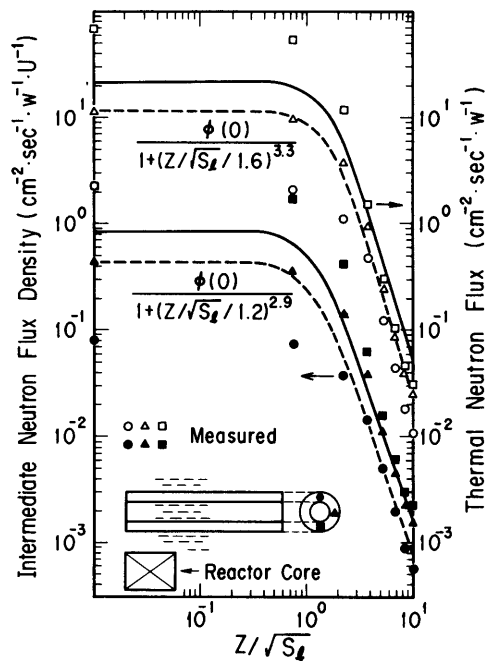


Fig. 4.2.9. Comparison of the calculated results with experimental data obtained in experiment 2.6.

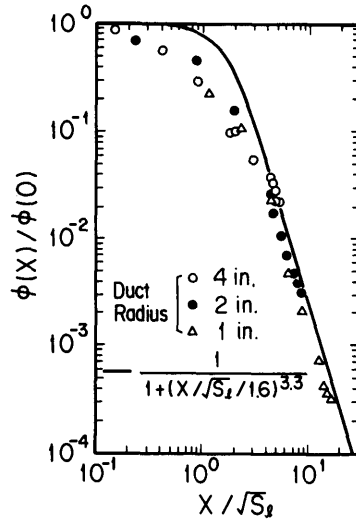


Fig.4.2.10. Comparison of the results for Eq.(4.1.2.) with the thermal neutron flux distributions measured along the axes of the steel-walled cylindrical ducts in a water shield. The axial distance is measured in units of the square root of the duct cross-sectional area.

付録 I NaI(Tl) の効率決定法

シンチレーションカウンターからのパルスのうち光電ピークに入ったものの数をCとする
とCは反応率 $\int \sigma \Phi dE$ と次の関係がある。

$$C - C_B = \epsilon \eta N \frac{1 - e^{-\lambda t_r}}{\lambda} e^{-\lambda t_w} (1 - e^{-\lambda t_c}) \int \sigma(E) \cdot \Phi(E) dE \quad (1)$$

ここで C_B : バックグランドカウント数
 ϵ : NaI(Tl) の効率
 η : 1崩壊当り放出されるガンマ線の数
 N : 検出器に含まれる原子数
 λ : 崩壊定数
 t_r : 照射時間
 t_w : 待時間
 t_c : 計測時間
 $\sigma(E)$: 放射化断面積
 $\Phi(E)$: 中性子エネルギースペクトル

である。この式を用いるには NaI(Tl) シンチレーターのガンマ線に対する効率 ϵ を決定する必要がある。この決定は次のように半実験的に行った。まず2つの同じ寸法、同じ物質の放射化検出器を JRR-4 炉心タンクから16.6cm離れた点で原子炉出力 P_1 および P_2 でそれぞれ照射する。ここで P_1 および P_2 は次に示す2つの計測位置での計数値がほぼ等しくなるように決定した。出力 P_1 で照射した検出器は NaI より158cmはなした点において計測を行う。この数値を C_1 、またこの計測位置に対する NaI の効率を ϵ_1 とする。また出力 P_2 で照射した検出器は通常の計測位置すなわち NaI の面に接して置き計測を行う。この場合の計数値および効率をそれぞれ C_2 、 ϵ_2 とすると C_1 、 ϵ_1 と C_2 、 ϵ_2 の間には照射時間、待時間等の補正を行えば次の関係がある。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

上式より、ここで求めようとしている ϵ_2 は ϵ_1 がわかれば計算できる。ところで NaI より158 cm 離れた位置に置かれた放射化検出器より放出され NaI に入射するガンマ線は NaI の軸に対してほぼ平行に入射していると見なせる。したがって ϵ_1 は平行入射ガンマ線に対してモンテカルロ計算で求められた⁴⁵⁾効率を用いて決定することができる。この際厚さ6.5mmの円盤状の放射化検出器内での自己吸収およびシンチレーターの被覆を構成するアルミニウム、

スポンジおよび酸化マグネシウム中での吸収に対する補正を行った。これらは指数関数の積分あるいは指数関数によりほぼ正確に求めることができる。この方法によりシンチレーターの効率は±5%以内の精度で決定することができた。主な誤差は原子炉出力の比の決定の際生じるものが2%、放射化検出器の照射位置の不確定さによるものが2.3%である。なおモンテカルロ計算の誤差は考慮していない。

付録Ⅱ 熱、熱外中性子束の導出

熱中性子束は裸およびカドミウム被覆を施した金箔を照射することにより測定した反応率を用いて以下のように Westcott の方法²³に基づいて求めた。裸の金箔による反応率 A_B は次のように表わせる。

$$A_B = \sigma_{2200} \cdot \Phi_{2200} \left\{ g G_0 \cdot F_D + r \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1/2} \cdot S_0 \right\} \quad (3)$$

ここで

$\sigma_{2200}, \Phi_{2200}$: 2200m/sec 熱中性子に対する断面積および中性子束

g : 断面積の $1/v$ 法則からのずれを補正する因子

G_0 : 熱中性子に対する箔の自己遮蔽因子

F_D : 箔の周囲での熱中性子束のゆがみを補正する因子

r : epithermal index

T : マックスウェル分布している中性子の絶対温度

$T_0 = 273^\circ \text{K}$

である。さらに S_0 は次式で表わされる。

$$S_0 = (2/\sqrt{\pi}) (I_r / \sigma_{2200}) \quad (4)$$

ここで I_r は共鳴吸収断面積である。また $r(T/T_0)^{1/2}$ はカドミ比 R_{cd} を用いて次のように決定される。

$$r(T/T_0)^{1/2} = \frac{g G_0 F_D}{G_r S_0 (R_{cd} - 1) + g G_{1/v} - R_{cd}/K} \quad (2.3.3)$$

ここで $G_r, G_{1/v}$ はそれぞれ箔の自己遮蔽因子で断面積の共鳴領域および $1/v$ 領域に対応するものである。また K はカドミウム被覆の厚さおよび入射中性子の方向性²³で定まる定数である。このようにして求めた Φ_{2200} から熱中性子束 Φ_0 は

$$\Phi_0 = (2/\sqrt{\pi}) \cdot \Phi_{2200} (1-f) \quad (5)$$

で求められる。ここで f は Φ_{2200} に含まれる熱外中性子の寄与分で $r = f \sqrt{\pi \mu} / 4$ の関係にある。

μ は熱中性子の切断エネルギーを μkT で表わす値で $\mu=5$ ととると $f=1.01r$ となる。

次に熱外中性子束は熱外領域の中性子スペクトルを $1/E$ と仮定して次のように求めた。カドミ被覆をした箔によって求めた反応率を A_{cd} とすると次のように表わすことができる。ただし A_{cd} は箔の自己遮蔽の補正を施すまえの値である。

$$A_{cd} = G_{1/v} \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_{1/v}(E) \frac{\theta'}{E} dE + G_r \cdot \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_r(E) \frac{\theta'}{E} dE$$

$$= \theta' (G_{1/v} \cdot I_{1/v} + GrIr) \quad (6)$$

ここで

$\sigma_{1/v}(E)$: 断面積のうち $1/v$ 部分

$\sigma_r(E)$: 断面積のうち共鳴部分

$$I_{1/v} \equiv \int_{E_{cd}}^{\infty} \frac{\sigma_{1/v}(E)}{E} dE$$

$$I_r \equiv \int_{E_{cd}}^{\infty} \frac{\sigma_r(E)}{E} dE$$

θ' : 定数

である。(6)式より θ' を求めれば熱外領域の中性子束は θ'/E と決定できる。ここでとった $1/E$ スペクトルの仮定は本研究において実施したすべての円環ダクトは炉心からかなり離れているので容認されうるものである。実際、 $1/E$ スペクトルは $10^4 \sim 10^5$ eVまでの領域で成り立っていると考えられる。本実験で使用した 25μ の厚さの金箔で測定した θ' は等方入射を例にとれば $GrIr/G_{1/v}, I_{1/v} = 12.4$ となりほぼ金の共鳴エネルギーである4.9eVの中性子束を表わすものであるが、上記の理由により、この値は $10^4 \sim 10^5$ eV程度まで用いることができる。以上熱および熱外中性子束の導出法について述べたが、導出に必要な諸定数をTable Iにまとめておく。なお中性子の入射方向に依存する定数は等方入射およびビーム入射について示す。またTable Iの値および式(3)~(6)より厚さ 25μ の金箔で得た反応率から熱および熱外中性子束を求める式を2つの入射条件に対して次に示す。ただし反応率の単位は $\text{sec}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ であり、中性子束の単位は $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ である。

(a) 等方入射の場合

$$\Phi_0 = \frac{AB \times 10^{24}}{86.26} \times \left(1 - \frac{1.092}{R_{cd}}\right) \quad (7)$$

$$\theta' = A_{cd} \times 10^{24} / 503.8 \quad (8)$$

(b) ビーム入射の場合

$$\Phi_0 = \frac{AB \times 10^{24}}{88.03} \times \left(1 - \frac{1.058}{R_{cd}}\right) \quad (9)$$

$$\theta' = A_{cd} \times 10^{24} / 716.8 \quad (10)$$

一般にダクト内の測定ではビーム入射、遮蔽体の中での測定では等方入射と近似することができる。