



**CÁLCULO DA MASSA DE ÓXIDO DE URÂNIO PARA O
ARRANJO SUB-CRÍTICO — RESSUCO**

H. R. FRANZEN, MIOCO FOSHINA E ELENICE MAZZILLI

PUBLICAÇÃO IEA N.º 130

Dezembro — 1966

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

CÁLCULO DA MASSA DE ÓXIDO DE URÂNIO PARA

O ARRANJO SUB-CRÍTICO - RESSUCO

H. R. Franzen, Mioco Foshina e Elenice Mazzilli

Divisão de Engenharia Nuclear
e
Serviço de Cálculo Analógico e Digital
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil

Publicação IEA nº 130

Dezembro - 1966

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof.Dr. Luis Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof.Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof.Dr. José Augusto Martins		
Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof.Dr. Theodoreto H.I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -

Chefe: Prof.Dr. Marcello D.S. Santos

Divisão de Radioquímica -

Chefe: Prof.Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -

Chefe: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -

Chefe: Prof.Dr. Tharcísio D.S. Santos

Divisão de Engenharia Química -

Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -

Chefe: Eng^o Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Eng^o Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Chefe: Prof.Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação

CÁLCULO DA MASSA DE ÓXIDO DE URÂNIO PARA

O ARRANJO SUB-CRÍTICO - RESSUCO

H.R. Franzen, Míoco Foshina e Elenice Mazzilli

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um formulário utilizado para a obtenção da massa de óxido de urânio de um arranjo sub-crítico moderado a água leve.

Para a escolha de cada expressão fundamental foi efetuado um teste numérico baseado nas características de arranjo de óxido de urânio (moderados a água leve) cujo encamisamento era de alumínio ou aço.

O computador IBM 1620 - modelo II, foi utilizado para todos os estudos de determinação da massa de combustível para o arranjo sub-crítico - Ressuco.

RESUMÉ

Nous presentons dans ce travail une méthode de calcul utilisée pour l'obtention de la masse d'oxyde d'uranium dans un arrangement sous critique modéré par de l'eau.

Pour le choix de chaque expression fondamentale, il a été effectué un test numérique basé sur les caractéristiques d'arrangement de l'oxyde d'uranium modéré par de l'eau, compte tenu de la gaine (aluminium ou acier).

Un calculateur IBM 1620 - modèle II a été utilisé pour le calcul de la masse de combustible de l'arrangement sous critique Ressuco.

ABSTRACT

Formulas are presented for obtaining the mass of uranium oxide in the sub-critical assembly Ressuco moderated with light water. The choice of each fundamental expression was made according to a numerical test based on the characteristics of the lattice arrangements of uranium oxide whose cladding was of aluminum or steel. A IBM 360, Model II, computer was used in all the calculations for the determination of the mass of fuel for the sub-critical, Ressuco.

INTRODUÇÃO

O arranjo sub-crítico Ressuco é constituído por elementos combustíveis de óxido de urânio moderados com água leve.

As características dos elementos combustíveis são as seguintes:

combustível:	óxido de urânio ($UO_{2.06}$)
diâmetro da pastilha:	4.02 cm
densidade do óxido:	6.7 g/cm ³
material de encamisamento:	alumínio
espessura do encamisamento:	0.1915 cm
densidade do alumínio:	2.7 g/cm ³

A relação de volumes moderador - combustível escolhida foi 1.50 de modo a permitir a passagem de um contador de neutrons BF_3 e fator de multiplicação efetivo entre 0.75 a 0.8.

A massa de óxido de urânio disponível era de 2.500 kg e tornava-se então necessário aprimorar o cálculo de modo que o valor do fator de multiplicação efetivo fôsse satisfatório, isto é

entre 0.75 a 0.80. Cada expressão fundamental foi verificada numericamente tomando-se as características de arranjos encontrados na literatura e o confronto entre os resultados calculados e experimentais mostrou a consistência das mesmas (Tabelas I e II).

NOTAÇÃO

ρ_c	densidade do óxido
N_o	número de Avogadro
$(\%)^{25}$	enriquecimento em U^{25}
$(\%)^{28}$	enriquecimento em U^{28}
$(\%)^8$	concentração isotópica do O^8
σ_f^{25}	secção de choque microscópica de fissão do U^{25} para neutrons térmicos
$\sigma_a^{-25}, \sigma_a^{-28}, \sigma_a^{-8}$	secções de choque microscópicas de absorção do U^{25}, U^{28}, O^8
A_c	massa molecular do óxido
V^{18}	volume de água
V_c	volume de combustível
r_l	raio da célula equivalente
r_g	raio externo do elemento combustível
r_o	raio interno do elemento combustível
D_c	coeficiente de difusão térmica do combustível
Σ_{TR}^c	secção de choque macroscópica de transporte do combustível
k_o	inverso do comprimento de difusão térmica do combustível
$\bar{\Sigma}_a^{-18}, \bar{\Sigma}_a^c$	secções de choque macroscópicas de absorção térmica da água e combustível

k_1	inverso do comprimento de difusão térmica da água
V_{13}	volume do encamisamento
Σ_a^{13}	seção de choque macroscópica de absorção do encamisamento para neutrons térmicos
Σ_s^{13}	seção de choque macroscópica de espalhamento - encamisamento
Σ_s^{18}	seção de choque macroscópica de espalhamento da água leve
f	fator de utilização térmica
σ_{res}^c	seção de choque microscópica de ressonância do combustível
σ_{res}^{18}	seção de choque microscópica de ressonância da água
U_r	intervalo de letargia
p	probabilidade de escape à ressonância
$\Sigma_{inel}^{28}, \Sigma_{inel}^{18}, \Sigma_{inel}^{13}$	seções de choques macroscópicas inelásticas do U^{28} , água leve e encamisamento
$\Sigma_{cap}^c, \Sigma_{cap}^{18}, \Sigma_{cap}^{13}$	seções de choque macroscópicas de captura do combustível, água leve e encamisamento
ϵ	fator de fissão rápida
Σ_f^{28}	seção de choque macroscópica de fissão do U^{28}
ν^{28}	número médio de neutrons emitidos pelo U^{28}
Δu_{2B}	= $\ln 3.6$
$\Sigma_{TR}^c, \Sigma_{TR}^{18}$	seções de choque macroscópicas de transporte do combustível e da água

τ_{2B}^{18}	= 0.43
τ	área de moderação
L^2	área de difusão térmica
$\bar{\phi}_{18}, \bar{\phi}_c, \bar{\phi}_{13}$	fluxos térmicos médios no moderador, combustível e encamisamento
M^2	área de migração
K_{eff}	fator de multiplicação efetivo
K_{∞}	fator de multiplicação infinito
B_g^2	curvatura geométrica
R	raio do arranjo multiplicador
H	altura do arranjo multiplicador
M_{UO2}	massa de combustível
N	número de barras de combustível

FORMULÁRIO

$$N^{25} = \frac{No. \rho c}{A_c} (\%)^{25} \quad (1)$$

$$N^{28} = \frac{No. \rho c}{A_c} (\%)^{28} \quad (2)$$

$$N^8 = \frac{No. \rho c}{A_c} (\%)^8 \quad (3)$$

$$\eta = \frac{v_t \cdot \sigma_f^{-25}}{\sigma_a^{-25} + \frac{N^{28}}{N^{25}} \sigma_a^{-28} + \frac{N^8}{N^{25}} \sigma_a^{-8}} \quad (4)$$

$$\frac{v^{18}}{v_c} = \frac{r_1^2 - r_g^2}{r_o^2} \quad (5)$$

$$D_c = \frac{1}{3 \Sigma_{TR}^c} \quad (6)$$

$$k_o = \sqrt{\frac{\Sigma_a^c}{D_c}} \quad (7)$$

$$R = \frac{\Sigma_a^{-18}}{\Sigma_a^c} \cdot \frac{v^{18}}{v_c} \cdot \frac{k_o r_o}{2} \cdot \frac{I_o(k_o r_o)}{I_1(k_o r_o)} \quad (8)$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{\Sigma_a^{-18}}{D^{18}}} \quad (9)$$

$$1 + X1 = \frac{k_1(r_1^2 - r_g^2)}{2 r_g^2} \cdot \frac{I_1(k_1 r_1) K_o(k_1 r_g) + K_1(k_1 r_1) I_o(k_1 r_g)}{I_1(k_1 r_1) K_1(k_1 r_g) - K_1(k_1 r_1) I_1(k_1 r_g)} \quad (10)$$

$$\frac{v_{13}}{v_c} = \frac{r_g^2}{r_o^2} - 1 \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{\Sigma_a^{-13}}{\Sigma_a^c} \cdot \frac{V_{13}}{V_c} \cdot \frac{k_o r_o}{2} \cdot \frac{I_o(k_o r_o)}{I_1(k_o r_o)} \quad (12)$$

$$t = r_g - r_o \quad (13)$$

$$B_1 = \frac{\Sigma_s^{13}}{\Sigma_s^{18}} \cdot k_1^2 \cdot (r_1^2 - r_g^2) \cdot \frac{t}{2 r_o} \quad (14)$$

$$k_{13} = \sqrt{\frac{\Sigma_a^{-13}}{D^{13}}} \quad (15)$$

$$X_2 = \frac{1}{2} k_{13}^2 t^2 \quad (16)$$

$$\frac{1}{f} = 1 + R_1 + X_1 + R_2 + R_2 X_1 + B_1 + X_2 \quad (17)$$

$$\sigma_{res}^c = 5.25 + 26.6 \sqrt{\frac{S}{M}} \quad (18)$$

$$\frac{S}{M} = \frac{2}{r_o \cdot \rho_c}$$

$$\Sigma_{a_{res}}^c = \frac{N_o \rho_c}{A_c} \frac{\sigma_{res}^c}{U_r} (\%)^{28} \quad (20)$$

$$\Sigma_{a_{res}}^{18} = \frac{N^{18} \sigma_{s_{res}}^{18} \xi^{18}}{U_r} \quad (21)$$

$$k_o^{res} = 0.031 \rho_c \quad (22)$$

$$p = \exp \left[- \frac{1}{\frac{1}{f_r} - 1} \right] \quad (23)$$

$$P_{28} = \frac{V_o}{V_{ToT}} \quad (24)$$

$$\Sigma_{inel}^{ToT} = \Sigma_{inel}^{28} + \Sigma_{inel}^{18} + \Sigma_{inel}^{13} \quad (25)$$

$$\Sigma_{cap}^{ToT} = \Sigma_{cap}^c + \Sigma_{cap}^{18} + \Sigma_{cap}^{13} \quad (26)$$

$$\Sigma_f^{28} = \frac{N_o \rho_c}{A_c} (\%)^{28} P_{28} \sigma_f^{28} \quad (27)$$

$$\epsilon = 1 + \frac{v^{28} - (1 + \frac{\Sigma_{cap}^{28}}{f}) \chi \Sigma_f^{28}}{\Sigma_{inel}^{ToT} + \Sigma_f^{28} + \Sigma_{cap}^{ToT} - v^{28} \chi \Sigma_f^{18}} \quad (28)$$

$$\tau_1 = \frac{\tau_1^{mod} (1 + (\frac{v_o}{v_1})^2)}{\left[1 + \frac{\Sigma_{TR1}^c}{\Sigma_{TR}^{18}} \cdot \frac{v_o}{v_1} \right] \left[1 + \frac{(\xi \Sigma_s)_1^c}{(\xi \Sigma_s)_1^{18}} \cdot \frac{v_o}{v_1} \right]} \quad (29)$$

$$\tau_2 = \frac{\left[\tau_{2A}^{18} + \Delta u_{2B} \tau_{2B}^{18} \right] \left[1 + \frac{v_o}{v_1} \right]^2}{\left[1 + \frac{\Sigma_{TR2}^c}{\Sigma_{TR2}^{18}} \cdot \frac{v_o}{v_1} \right] \left[1 + \frac{(\xi \Sigma_s)_2^c}{(\xi \Sigma_s)_2^{18}} \cdot \frac{v_o}{v_1} \right]} \quad (30)$$

$$K_{eff} = K_{\infty} e^{-B_g^2 M^2} \quad (31)$$

$$M^2 = \tau + L^2 \quad (32)$$

$$\Sigma_{TR} = \frac{\Sigma_{TR}^c v_o + \Sigma_{TR}^{18} v_{18} \frac{\bar{\phi}_{18}}{\phi} + \Sigma_{TR}^{13} v_{13} \frac{\bar{\phi}_{13}}{\phi}}{v_o + v_{18} \frac{\bar{\phi}_{18}}{\phi} + v_{13} \frac{\bar{\phi}_{13}}{\phi}} \quad (33)$$

$$\Sigma_a = \frac{\Sigma_a^c v_o + \Sigma_a^{18} v_{18} \frac{\bar{\phi}_{18}}{\phi} + \Sigma_a^{13} v_{13} \frac{\bar{\phi}_{13}}{\phi}}{v_o + v_{18} \frac{\bar{\phi}_{18}}{\phi} + v_{13} \frac{\bar{\phi}_{13}}{\phi}} \quad (34)$$

$$\Sigma_{\text{ToT}} = \Sigma_a + \Sigma_{\text{TR}} \quad (35)$$

$$L^2 = \frac{1}{3 \Sigma_a \Sigma_{\text{ToT}}} \quad (36)$$

$$M_{\text{UO2}} = \pi R_o^2 H \rho_c N \quad (37)$$

$$N = \frac{R^2}{R_o^2} \quad (38)$$

APRANJOS : $UO_2 - SS - H_2O$

TABELA I

REF.	DIÂMETRO DO COMBUSTÍVEL (cm)	ENRIQ. U^{25} (%)	DENSIDADE (g/cm ³)	RELAÇÃO VOLUMES (V ₁ /V ₀)	f _{exp.}	f _{calc.}	$\frac{28}{P}$ P _{exp.}	$\frac{28}{P}$ P _{calc.}	ϵ _{exp.}	ϵ _{calc.}	T	T _{calc.}	L ²	L ² L _{calc.}
(1)	1.128	3.00	9.408	1.00	0.8209	0.8255	0.733	0.723	1.057	1.048	40.00	41.03	1.48	1.04
	"	"	"	2.00	0.7853	0.7895	0.843	0.851	1.034	1.030	33.30	34.26	1.63	1.31
	"	"	"	5.00	0.6898	0.6908	0.930	0.937	1.024	1.015	28.90	29.95	2.30	2.11
(2)	1.122	3.00	9.30	1.29	0.8034	0.8132	-	-	1.046	1.041	-	-	-	-
	"	"	"	1.60	0.7904	0.8020	-	-	1.034	1.035	-	-	-	-
	"	"	"	2.05	0.7718	0.7858	-	-	1.033	1.030	-	-	-	-
	"	"	"	2.80	0.7420	0.7595	-	-	1.025	1.023	-	-	-	-
	"	"	"	4.00	0.6966	0.7198	-	-	1.040	1.017	-	-	-	-
(3)	0.762	3.00	10.20	1.06	-	-	0.7204	0.6917	1.0576	1.0502	-	-	-	-
	"	"	"	1.39	-	-	0.7748	0.7559	1.0473	1.0423	-	-	-	-
	"	"	"	1.87	-	-	0.8186	0.8120	1.0387	1.0345	-	-	-	-
(4)	1.122	3.00	9.30	1.29	0.8157	0.8132	-	-	-	-	-	-	-	-
	"	"	"	1.60	0.8017	0.8020	-	-	-	-	-	-	-	-
	"	"	"	2.05	0.7835	0.7858	-	-	-	-	-	-	-	-
	"	"	"	2.80	0.7523	0.7595	-	-	-	-	-	-	-	-
	"	"	"	4.00	0.7100	0.7198	-	-	-	-	-	-	-	-

ARRANJOS : $UO_2 - AL - H_2O$

TABELA II

REF.	DIÂMETRO DO COMBUSTÍVEL (cm)	ENRIQ. U ²³⁵ (%)	DENSIDADE (g/cm ³)	RELAÇÃO VOLUMES (V ₁ /V ₀)	f _{exp.}	f _{calc.}	²⁸ P _{exp.}	²⁸ P _{calc.}	ε _{exp.}	ε _{calc.}
	1.524	1.30	7.53	1.07	0.873	0.873	0.805	0.792	1.042	1.045
	"	"	"	1.40	0.837	0.843	0.838	0.836	1.035	1.037
	"	"	"	1.76	0.805	0.811	0.869	0.867	1.030	1.031
(5)	0.9855	1.30	7.53	1.39	0.836	0.842	0.832	0.808	1.037	1.036
	"	"	"	1.73	0.807	0.814	0.853	0.842	1.032	1.031
	"	"	10.53	1.42	0.874	0.878	0.775	0.774	1.046	1.046
	"	"	"	1.72	0.848	0.855	0.815	0.815	1.042	1.039
	"	"	"	2.40	0.809	0.816	0.850	0.859	1.034	1.031

PARÂMETROS DO ARRANJO SUB-CRÍTICO RESSUCO

Baseado nas características do arranjo sub-crítico , através do computador IBM 1620, modelo II foram obtidos os seguintes resultados finais:

K_{∞}	=	0.8711
p	=	0.8990
f	=	0.7123
η	=	1.3182
ϵ	=	1.0319
L^2	=	5.2747 cm^2
τ	=	42.8582 cm^2
B_g^2	=	29.34
H	=	99.79 cm
R	=	54.01 cm
N	=	266 barras
K_{eff}	=	0.755
M_{UO_2}	=	2 268 kg

O estudo da variação de K_{eff} em função da massa também é apresentado:

K_{eff}	M
.80	4 936 kg
.78	3 342 kg
.76	2 435 kg
.74	1 863 kg
.72	1 476 kg
.70	1 200 kg

Para uma variação de ± 0.1 na densidade do óxido a massa variou de aproximadamente 100 kg.

PROGRAMAÇÃO

Para êstes cálculos foi desenvolvida uma programação em Fortran- II-D para o computador IBM-1620 - modelo II, cuja listagem vem a seguir:

C CALCULO DOS PARAMETROS MICROSCOPICOS E MACROSCOPICOS
 C DE ARRANJOS SUBCRITICOS
 C ESP - ESPESSURA DO ENCAMISAMENTO (CM)
 C DENSU - DENSIDADE DO OXIDO DE URANIO (G/CM3)
 C CAEF - FATOR DE MULTIPLICACAO EFETIVO
 C NRV - INDICA QUANTAS REL. DE VOLUMES (MOD./COMB.)
 C ENTRARAO NO CALCULO
 C RV - RELACAO DE VOLUMES (MOD./COMB.)
 C NRCEL - INDICA QUANTOS VALORES PARA O RAO DA CE-
 C LULA ENTRARAO NO CALCULO
 C RCEL - RAO DA CELULA EQUIVALENTE (CM)
 CAZERO(A)=A*RAIOU
 ERRE1(B,C,D)=B/C*RV*D/2.*FB10(D)/FB11(D)
 ERRE2(Z,ZZ,ZZZ)=Z/ZZ*V13VF*ZZZ/2.*FB10(ZZZ)/FB11
 1(ZZZ)
 CA1R1(E)=E*RCEL
 CA1RG(W)=W*RG
 X1(G,H,U)=G*(RCEL**2-RG**2)/(2.*RG)*((FB11(H)*
 IFBK0(U)+FBK1(H)*FB10(U))/(FB11(H)*FBK1(U)-FBK1(
 2H)*FB11(U))-1.
 B1(BE1,BE2,BE3)=BE1/BE2*BE3**2*(RCEL**2-RG**2)*
 1ESP/(2.*RAIOU)
 CA13Q(Q1,Q2)=Q1/Q2
 SF5=582.E-24
 SA5=683.E-24
 SA28=2.71E-24
 SA8=.0002E-24
 AC=270.07
 P5=.0071
 P28=1.-P5
 AN0=6.023E+23
 UN5=2.43
 GA5=.978
 GF5=.9759
 SA18=.66E-24
 AN18=.03337E+24
 SS5=10.E-24
 SS8=4.21E-24
 UM8=.0417
 SS28=8.29E-24
 UMF=.0028
 D18=.155.
 SS18=103.E-24
 A13=26.98
 SA13=.23E-24
 DENS13=2.7
 D13=3.666

```
UM13=.0249
SS13=1.4E-24
SSR18=44.5E-24
DR18=1.269
SSR13=1.4E-24
CS118=.9927
CS113=.0739
DR13=3.858
SI28=2.32E-24
SI8=.171E-24
SIH=1.38E-24
SI13=.319E-24
SCF=.042E-24
SC8=.024E-24
SC13=.007E-24
SR28=.549E-24
UNR28=2.48
UM18=.324
TAU1M=18.8
TAU2A=6.7
TAU2B=.43
DENSUE=9.408
P28E=.97
DELTAU=LOG(3.6)
STRFM1=.298
STRFM2=.447
STR181=.202
STR182=.550
CSSMF1=.144
CSSMF2=.0185
CSM181=.353
CSM182=1.061
ISA=0
ACR=.2
READ 10,COR
513 READ 10,ESP
READ 10,DENSU,CAEF
READ 210,NRV,RV
RV=RV-ACR
RVI=RV
READ 210,NRCEL,RCEL
210 FORMAT(14,E14.8)
RCEL=RCEL-ACR
TYPE 51,CAEF,DENSU
51 FORMAT(25X,5HKEFF=F5.3/25X,10HDENSIDADE=F5.2//)
DO 500 I=1,NRCEL
RV=RVI
```

```

RCEL=RCEL+ACR
DO 600 J=1, NRV
RV=RV+ACR
TSRV=2.*ESP/(1.+RV)
RAIOU=(-TSRV+(TSRV**2+4.*(RCEL**2-ESP**2))/(1.+
1RV)**.5)/2.
RG=RAIOU+ESP
SF5C=SF5*GF5/COR
SA5C=SA5*GA5/COR
SA28C=SA28/COR.
SA8C=SA8/COR*2.
AN5=AN0*DENSU*P5/AC
AN28=AN0*DENSU*P28/AC
AN8=AN0*DENSU/AC
ETA=UN5*SF5C/(SA5C+AN28/AN5*SA28C+AN8/AN5*SA8C)
SA18C=SA18/COR
SAM18C=AN18*SA18C
SAMFC=DENSU*AN0/AC*(P5*SA5C+P28*SA28C)+DENSU*AN0
1/AC*SA8C
SCHMS8=AN0*DENSU*SS8/AC
SCH8MU=SCHMS8*(1.-UM8)
SCHSF=P5*SS5+P28*SS28
SCHMSF=AN0*DENSU*SCHSF/AC
STMF=SAMFC+SCH8MU+SCHMSF*(1.-UMF)
DF=1./(3.*STMF)
CAZ=(SAMFC/DF)**.5
CA1=(SAM18C/D18)**.5
CAZERF=CAZERO(CAZ)
ERRE1F=ERRE1(SAM18C, SAMFC, CAZERF)
CAIR1F=CAIR1(CA1)
CAIRGF=CAIRG(CA1)
X1F=X1(CA1, CAIR1F, CAIRGF)
SA13C=SA13/COR
AN13=AN0*DENS13/A13
SAM13C=AN13*SA13C
STM13=SAM13C+SS13*AN13*(1.-UM13)
V13VF=(RG/RAIOU)**2-1.
ERRE2F=ERRE2(SAM13C, SAMFC, CAZERO(CAZ))
SSM18=AN18*SS18
SSM13=AN13*SS13
B1F=B1(SSM13, SSM18, CA1)
CA13QF=CA13Q(SAM13C, D13)
X2=.5*CA13QF*ESP**2
UMSF=1.+ERRE1F+X1F+ERRE2F+ERRE2F*X1F+B1F+X2
F=1./UMSF
SSRF=5.25+26.6*(2./(RAIOU*DENSU))**.5
SAMRF=AN28*SSRF/3.*1.E-24.
SAMR18=AN18*CS118*SSR18/3.

```

```
CARMO=(SAMR18/DR18)**.5
CARFU=.031*DENSU
SAMR13=AN13*SSR13*CS113/3.
CAR13=(SAMR13/DR13)**.5
SSMR13=SSR13*AN13
SSMR18=SSR18*AN18*CS118/3.
ERRE1P=ERRE1(SAMR18,SAMRF,CAZERO(CARFU))
X1P=X1(CARMO,CA1R1(CARMO),CA1RG(CARMO))
ERRE2P=ERRE2(SAMR13,SAMRF,CAZERO(CARFU))
B1P=B1(SSMR13,SSMR18,CARMO)
CA13QP=CA13Q(SAMR13,DR13)
X2P=.5*CA13QP*ESP**2
UMSFP=1.+ERRE1P+X1P+ERRE2P+ERRE2P*X1P+B1P+X2P
P=EXP(-1./(UMSFP-1.))
PF=1./(1.+RV+V13VF)
P18=RV/(1.+RV+V13VF)
P13=V13VF/(1.+RV+V13VF)
SIM28=AN28*PF*SI28+AN8*2.*SI8*PF
SIM18=AN18*P18*(2.*SIH+SI8)
SIM13=AN13*P13*SI13
SIT=SIM28+SIM18+SIM13
SCMF=AN28*PF*SCF+AN8*2.*SC8
SCM18=AN18*P18*SC8
SCM13=AN13*P13*SC13
SCT=SCMF+SCM18+SCM13
SRM28=AN28*PF*SR28
EPS=1.+(UNR28-(1.+SCMF/SRM28))* .561*SRM28/(SIT+
10 SRM28+SCT-UNR28*.561*SRM28)
FORMAT(5E14.8)
CAINF=EPS*ETA*P*F
STM18=SAM18C+AN18*SS18*(1.-UM18)
STR=STM18*RAIOU
TBF=TABF(STM18*RAIOU)
TBC=TABC(STR)
DQ=TBC/STM18+4.*(1.-2.*TBF*SAMFC*RAIOU)/(6.*STM
118*TBF*SAMFC*RAIOU)
FIMFIF=STM18*3.*SAMFC*RAIOU/(2.*CA1)*(CA1*DQ+(
1FB10(CA1RGF)*FBK1(CA1R1F)+FB11(CA1R1F)*FBK0(CA1
2RGF)))/(FB11(CA1R1F)*FBK1(CA1RGF)-FB11(CA1RGF)*
3FBK1(CA1R1F))-2.*CA1RGF/(CA1R1F**2-CA1RGF**2))
F13FIF=(1.+FIMFIF)/2.
STMM=(STMF+STM18*RV*FIMFIF+STM13*V13VF*F13FIF)/
1(1.+RV*FIMFIF+V13VF*F13FIF)
STAM=(SAMFC+SAM18C*RV*FIMFIF+SA13C*F13FIF*V13VF
1)/(1.+RV*FIMFIF+V13VF*F13FIF)
ELE2=1./(3.*STAM*(STAM+STMM))
FC=DENSU*P28/(DENSUE*P28E)
RI=1./RV
```

```
ANUM=(1.+RI)**2
DENO=(1.+RI*FC*STRFM1/STR181)*(1.+RI*FC*CSSMF1/
1CSM181)
TAU1=ANUM/DENO*TAU1M
TAU2=(TAU2A+DELTAU*TAU2B)*ANUM/((1.+FC*STRFM2/
1STR182*RI)*(1.+CSSMF2/CSM182*FC*RI))
TAU=TAU1+TAU2
AM2=TAU+ELE2
B2G=-LOG(CAEF/CAINF)/AM2
H=5.441/B2G**.5
R=2.945/B2G**.5
ANCEL=R**2/RCEL**2
AMASSA=ANCEL*3.1416*RAIOU**2*DENSU*H/1.E+06
IF(ISA)31,30,31
30 TYPE 50
50 FORMAT(3X2HRV4X2HR04X1HK4X4HELE22X3HTAU5X2HB22X
16HN.BAR.3X1HM7X1HR5X1HH4X6HR.CEL.)

ISA=ISA+1
31 TYPE 52,RV,RAIOU,CAINF,ELE2,TAU,B2G,ANCEL,AMASS
1A,R,H,RCEL
52 FORMAT(F6.2,F6.3,F6.4,2F6.2,F7.5,I5,F7.2,2F7.2
1,F6.2)

600 CONTINUE
500 CONTINUE
GO TO 513
END
```

REFERÊNCIAS

- 1 - K. KOWALSKA, K.I. MATSUOKA AND N.L. SNIDOW, Critical Calculations of the Spectral Shift Reactor with the Savannah fuel charge, KR-21, May 1962.

- 2 - H. HONECK, The Calculation of the Thermal Utilization and Disadvantage Factor in Uranium/Water Lattices, N.S.E., Vol. 18, 67, 1964.

- 3 - DEUTSCH, R.W., Method for Analyzing. Low-Enrichement Light-Water Cores, GNEC-133, 1960.

- 4 - H.C. HONECK, The Calculation of the Thermal Utilization and Disadvantage Factor in Uranium Water Lattices, Light Water Lattices, nº 12, 261, 1962.

- 5 - H. KOUTS et al., Physics of Slightly Enriched, Normal Water Lattices, Peaceful Use of Atomic Energy, Vol. 12, 451, 1958.

**** **** ****