

SKBF
KBS

TEKNISK
RAPPORT

80-20

**BEGAFIP. Programvård, utveckling
och bench-markberäkningar**

Göran Olsson
Stanley Svensson

Studsvik Energiteknik AB, 1980-10-14

SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB / PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET

POSTADRESS: Kärnbränslesäkerhet, Box 5864, 102 48 Stockholm, Telefon 08-67 95 40

BEGAFIP. PROGRAMVÅRD, UTVECKLING OCH
BENCHMARKBERÄKNINGAR


Göran Olsson
Peter Hägglöf
Stanley Svensson

Studsvik Energiteknik AB, 1980-12-14

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS-projektet. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarnas och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

En förteckning över hittills utkomna rapporter i denna serie, som påbörjades 1980, återfinns i slutet av rapporten. Uppgift om KBS tidigare tekniska rapporter från 1977-1978 (TR 121) och 1979 (TR 79-28) kan erhållas från SKBF/KBS.

Studsvik Arbetsrapport - Technical Report

Projektidentifikation – Project identification SKBF 8. BEGAFIP	Datum – Date 80-12-14	Org enh och nr – Report No. K2-80/383
Titel och författare – Title and author BEGAFIP. Programvård, utveckling och benchmarkberäkningar Göran Olsson, Peter Hägglöf och Stanley Svensson		
Distribution		
Godkänd av – Approved by 	Kontornr – Internal notes 54145	<input type="checkbox"/> Rapporten skall förhandsviseras
<p>HUVUDINNEHÅLL</p> <p>BEGAFIP är Studsvik Energiteknik ABs datorprogram för beräkningar av aktinid- och fissionsproduktuppbyggnad i reaktorbränsle.</p> <p>Denna rapport redovisar etapp 1 av projektet SKBF 8 omfattande nedanstående arbetsuppgifter:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Tillägg av programrutin för beräkning av neutronkällor.2. Revision av databiblioteket.3. BENCHMARK-beräkningar.4. CASMO-beräkningar på aktiniduppbyggnaden vid fall enligt 3 ovan.		

BL 4848

1980-12-14

ABSTRACT

This report summarizes improvements to BEGAFIP (the Swedish equivalent to the Oak Ridge computer code ORIGEN). The improvements are

- addition of a subroutine making it possible to calculate neutron sources
- exchange of fission yields and branching ratios in the data library to those published by Meek & Rider in 1978.

In addition, BENCHMARK-calculations have been made with BEGAFIP as well as with ORIGEN regarding the build-up of actinides for a fuel burnup of 33 MWd/kg U. The results were compared to those arrived upon from the more sophisticated code CASMO.

The work performed was made under contract with SKBF (Swedish Nuclear Fuel Supply Co).

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FIGURSAMMANSTÄLLNING	3
TABELLSAMMANSTÄLLNING	4
1. PROGRAMRUTIN FÖR BERÄKNING AV NEUTRONKÄLLOR	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Neutronkällor	5
1.3 Resultat och jämförelser	10
2. REVISION AV DATABIBLIOTEKET	14
2.1 Revision av fissionsutbyten	14
2.2 Revision av förgrenings- konstanter	17
3. BENCHMARK-BERÄKNINGAR	24
3.1 Bakgrund	24
3.2 Arbetsuppläggning	26
3.3 Beräkningsmässiga jämförelser	27
3.3.1 Allmänt	27
3.3.2 BEGAFIP	30
3.3.3 ORIGEN	34
3.4 Resultat och kommentarer	35
REFERENSFÖRTECKNING	50
APPENDIX	
Schematisk sammanställning av fissions- produkternas släktskapsförhållanden i BEGAFIPs databibliotek	

FIGURSAMMANSTÄLLNING

	<u>Sid</u>
Figur 1 Beräknad neutronproduktion som kan förväntas vid alfapartikelbombardebang av $^{238}\text{UO}_2$, vars syre har normal isotopsammansättning	6
Figur 2 Neutronspektra för olika källor	8
Figur 3 Sammansatta neutronspektra i lättvattenreaktorbränsle som funktion av utbränningen	8
Figur 4 Neutronkällor i reaktorbränsle som funktion av utbränningen	11
Figur 5 Klyvningsutbyten vid termisk fission av U-235	19
Figur 6 Klyvningsutbyten vid termisk fission av Pu-239	20
Figur 7 Klyvningsutbyten vid termisk fission av Pu-241	21
Figur 8 Klyvningsutbyten vid snabb fission av U-238	22
Figur 9 Jämförelse av klyvningsutbyten	23
Figur 10 Typisk flödesfördelning i en lättvattenreaktorhärd	27
Figur 11 Typiskt tvärsnittsutseende i låga energiområdet	28
Figur 12 Aktinidernas viktigaste uppbyggnadsvägar	33

TABELLSAMMANSTÄLLNING

	<u>Sid</u>
Tabell 1 Halveringstider för α -sönderfall och för spontan fission	7
Tabell 2 Kedjeutbyten	15
Tabell 3 Kvoter mellan nyinsatta och ut- bytta fissionsutbyten	42
Tabell 4 Reviderade förgreningskonstanter	17
Tabell 5 Jämförelse mellan CASMO-beräk- ningar och mätningar på bränsle till den italienska Trino- Vercellese-reaktorn	25
Tabell 6 BENCHMARK-resultat	39
Tabell 7 Resultat vid TEST 1 och TEST 2	40
Tabell 8 Resultat vid TEST 3, TEST 4 och TEST 5	41

1980-12-14

1. PROGRAMRUTIN FÖR BERÄKNING AV NEUTRONKÄLLOR

1.1 Bakgrund

Vid konstruktion av transportflaskor för utbränt reaktorbränsle har man att ta hänsyn till två slag av strålkällor; gamma och neutroner. Transportflaskor har under många år kunnat tillverkas enbart med avseende på skärmning mot gammakällor.

Bränsleutvecklingen och gjorda driftserfarenheter har emellertid medgivit allt högre tillåtna utbränningsnivåer. Passerar utbränningen 20 MWd/kgU kan neutronkällorna inte längre försummas.

Neutronkällornas bidrag till dosraten på en transportflaskas utsida blev aktuellt att ta hänsyn till först under senare delen av 1960-talet. Den artikel (1) som först fäste vår uppmärksamhet på problemet publicerades 1969. Mera utförliga redogörelser ges i (2, 3).

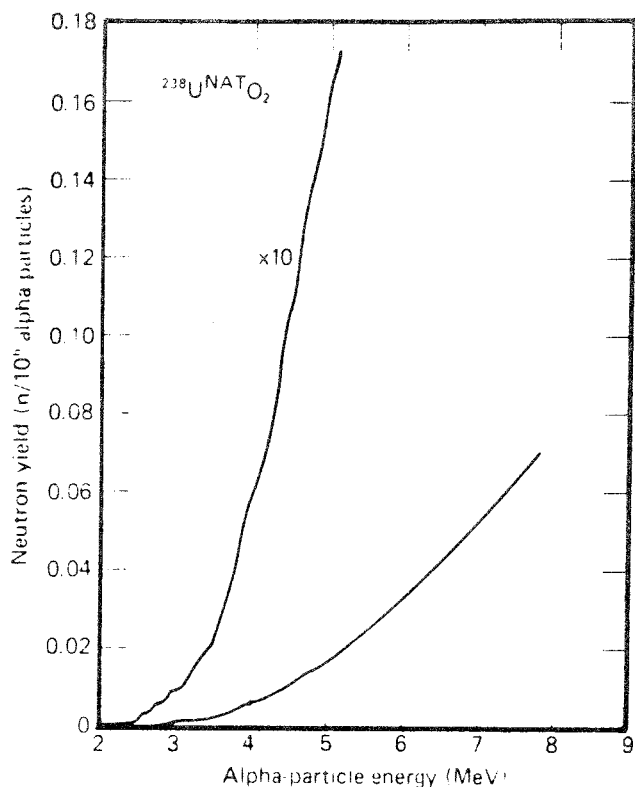
Den "första generationens" transportflaskor saknar av nyssnämnda orsaker neutronsärmar. Studsviks båda sk Ågesta-flaskor är exempel på detta.

1.2 Neutronkällor

Genom successiva neutroninfångningar och beta-sönderfall i bränslet bildas allt högre, i mass-och ordningstal, belägna transuraner. Programmet BEGAFIPS (4) databibliotek medger beräkningar upp till Es 253.

Flertalet transuraner sönderfaller mestadels genom utsändande av en α -partikel men även genom

spontan klyvning. Båda dessa reaktionstyper ger upphov till neutroner; den förstnämnda typen genom (α, n) -reaktioner med syre i bränslet, se Figur 1.



Figur 1

Beräknad neutronproduktion som kan förväntas vid alfapartikelbombardering av ²³⁸UO₂, vars syre har normal isotopsammansättning (från ref 5).

En sammanställning visas i Tabell 1 av halveringstider för α -sönderfall och för spontan klyvning. Figurerna 2 och 3 ger exempel på neutronernas energifördelning.

Vid tillägget i BEGAFIP av en programrutin för beräkning av neutronkällor har vi beaktat de två väsentligaste reaktionerna som ger upphov till neutronkällor i reaktorbränsle:

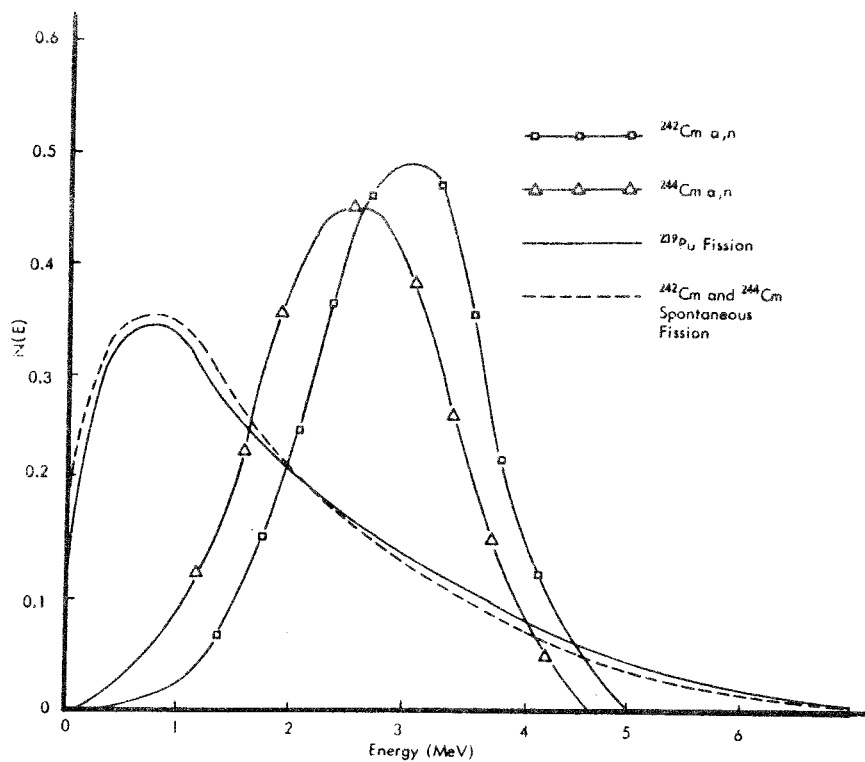
- spontan fission
- (α, n) -reaktioner i syre (UO₂)

1980-12-14

Tabell 1Halveringstider för α -sönderfall och för spontan fission (hämtade ur ref 6)

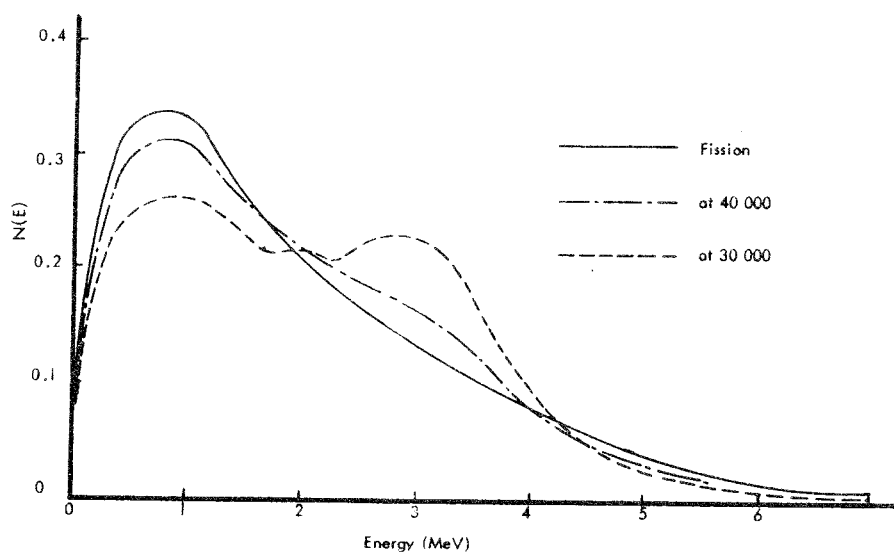
Z	Isotop	T_{α} (år)	T_{SF} (år)
92	U 234	2.45, 5	2.0, 16
	U 235	7.04, 8	3.5, 17
	U 236	2.34, 7	2.0, 16
	U 238	4.47, 9	8.2, 15
93	Np 237	2.14, 6	>1.0, 18
94	Pu 238	8.77, 1	4.8, 10
	Pu 239	2.41, 4	5,5, 15
	Pu 240	6.57, 3	1.3, 11
	Pu 242	3.76, 5	6.8, 10
	Pu 244	8.05, 7	6.6, 10
95	Am 241	4.32, 2	1.2, 14
	Am 243	7.37, 3	2.0, 14
96	Cm 242	0.446	6.1, 6
	Cm 243	2.85, 1	-
	Cm 244	1.81, 1	1.3, 7
	Cm 245	8.54, 3	-
	Cm 246	4.71, 3	1.8, 7
	Cm 247	1.56, 7	-
	Cm 248	3.70, 5	4.1, 6
98	Cf 249	3.51, 2	6.9, 10
	Cf 250	1.31, 1	1.7, 4
	Cf 251	9.00, 2	-
	Cf 252	2.73, 0	8.6, 1
99	Es 253	2.05, 1	6.3, 5

Med skrivsättet 2.45, 5 avses $2.45 \cdot 10^5$



Figur 2

Neutronspektra för olika källor (från ref 2).



Figur 3

Sammanstatta neutronspektra i LWR-bränsle som funktion av utbränningen (från ref 2).

1980-12-14

Antalet neutroner per sekund vid spontan fission (SF) av en isotop är:

$$n_A(\text{SF}) = \lambda_{\text{SF}_A} \cdot N_A \cdot \bar{\nu}_{\text{SF}_A} \quad (\text{n/s})$$

där

- N_A = antalet atomer av isotopen A
 λ_{SF_A} = sönderfallskonstanten vid (SF)
 $\bar{\nu}_{\text{SF}_A}$ = medelvärdet av antalet neutroner per spontan fission

Vidare är:

$$\lambda_{\text{SF}} = b_{\text{SF}} \cdot \lambda$$

där

- b_{SF} = andelen av sönderfall som utgör spontan fission
 λ = totala sönderfallskonstanten

Antalet neutroner per sekund som följd av (α, n) -reaktioner i urandioxiden beräknas ur

$$n_A(\alpha, n) = \lambda_{\alpha_A} \cdot N_A \cdot \sum_{i=1}^{i=N} I_{\alpha_i} \cdot f(E_{\alpha_i}) \quad (\text{n/s})$$

där

- λ_{α_A} = sönderfallskonstanten vid α -sönderfall
 I_{α_i} = relativa antalet α -partiklar per sönderfall som har energin E_{α_i}
 $f(E_{\alpha_i})$ hämtas ur Figur 1.

Denna nya programrutin medför att databiblioteket måste byggas ut. Utbyggnaden har lagts som en separat del efter den ursprungliga delen. Den kännetecknas av att ordningssiffrorna i kolumn 4 ersatts av bokstäverna A, B, C osv. Som exempel visar vi data för Pu-239:

518APU239	2.871	4.4E-12	3
518BPU239	5.155	0.733	1.86E-08
518CPU239	5.143	0.151	1.85E-08
518DPU239	5.105	0.115	1.79E-08

A-kortet har FORMAT (---,2E10,I5)

Resterande har FORMAT (---,3E10)

Talen på respektive kort representerar:

A	\bar{v}_{SF}	b_{SF}	N
B	E_{α_1}	I_{α_1}	$f(E_{\alpha_1})$
C	E_{α_2}	I_{α_2}	$f(E_{\alpha_2})$
D	E_{α_N}	I_{α_N}	$f(E_{\alpha_N})$

Grunddata till denna tillkommande del av databiblioteket har hämtats från referenserna (5 - 8).

1.3 Resultat och jämförelser

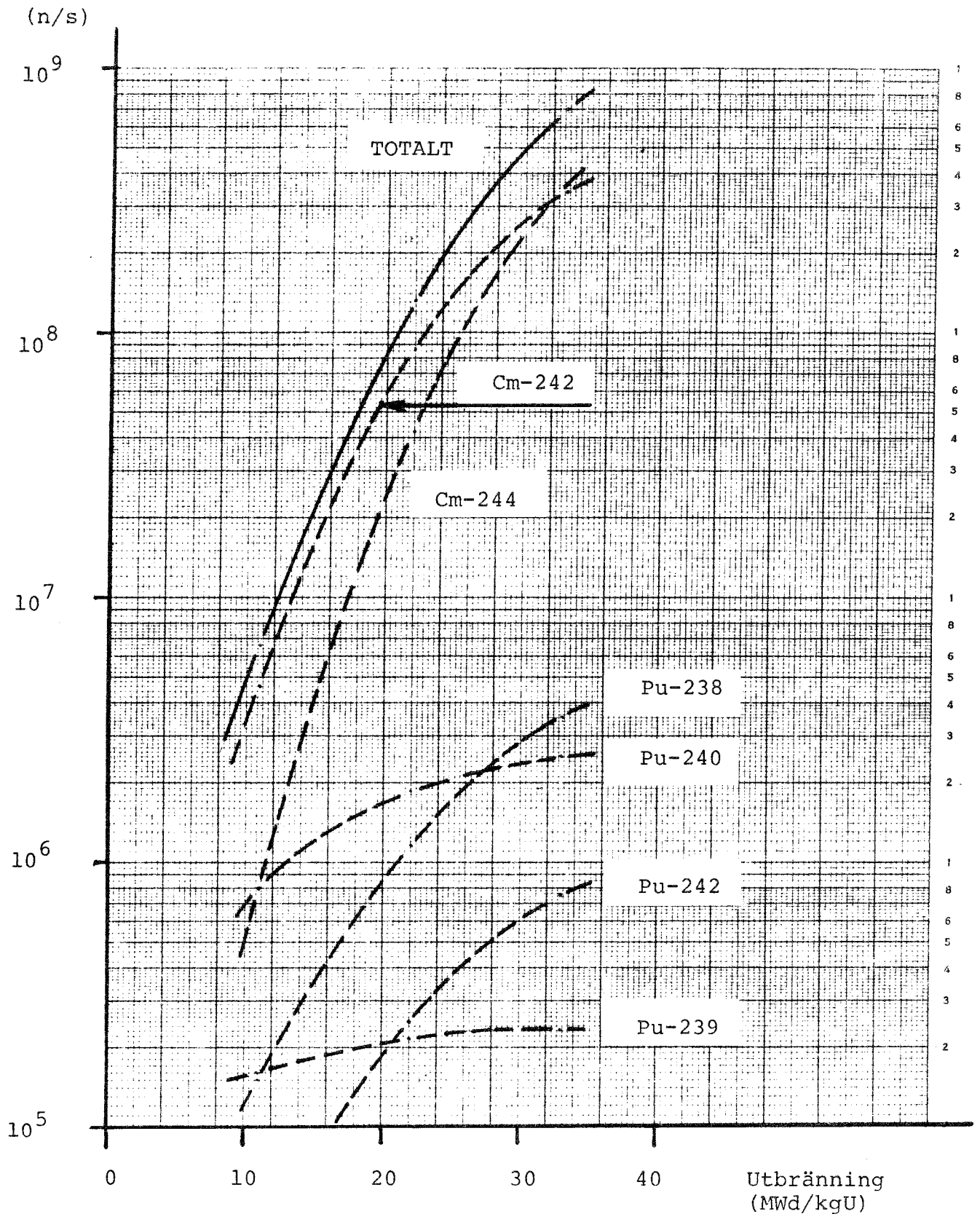
Neutronkällorna i reaktorbränsle vid tiden för avstängning domineras helt av bidraget från två aktinider, Cm242 och Cm244. Figur 4 visar resultat erhållna med den nya BEGAFIP-versionen.

Vi har tidigare omnämnt att vid utbränningen 20 Mwd/kgU börjar neutronkällorna i reaktorbränsle ge dosratsbidrag som inte längre är försumbart jämfört med det från gammakällorna.

Figur 4

Neutronkällor i reaktorbränsle som funktion av utbränningen.

Bränslemängd: 1 ton uran



I Figur 4 ser vi även neutronkällornas snabba tillväxt. Mellan 20 och 33 MWd/kgU ökar källstyrkan i det närmaste med en faktor 8. Gamma-källstyrkan i samma intervall ökar däremot bara obetydligt.

Skillnaden blir ännu mera markant om man sträcker sig bortom 33 MWd/kgU. Vid konstruktion av framtida bränsletransportflaskor kommer därför neutronsärmningen att ta ökad del av uppmärksamheten.

Av de två reaktionerna (SF) respektive (α, n) är den förstnämnda den mest betydande. För att kontrollera den nya BEGAFIP-versionens resultat har vi jämfört med tidigare gjorda ORIGEN-beräkningar (9). För (SF)-neutronerna är överensstämmelsen god, medan BEGAFIPs resultat för (α, n)-neutronerna genomgående är endast hälften av ORIGENS.

Denna dåliga överensstämmelse kan inte bero på annat än olikheter i grunddata, dvs i uppgifterna om antalet neutroner per sekund som följd av (α, n)-reaktioner i urandioxiden. En nyutkommen rapport från Oak Ridge (10) omtalar att man gjort betydelsefulla ändringar i ekvationen för beräkningen av (α, n)-neutroner i den nya programversionen ORIGEN2. Avsikten var att få bättre överensstämmelse med mätresultat.

Dessa nya grunddata i ORIGEN2 ansluter bättre till BEGAFIPs data med två viktiga undantag. Isotoperna Cm 242 och Cm 244 ger i ORIGEN2 drygt 6 gånger högre neutronproduktion än i BEGAFIP. Rent allmänt kan sägas att neutronproduktionen vid (α, n)-reaktioner stiger med ökande energi

1980-12-14

hos α -partikeln. Däremot skiljer sig uppfattningarna om hur brant denna stigning är. Vi har i brev till A G Croff, ORNL, påtalat dessa skillnader och avvaktar hans kommentarer.

Tills vidare kommer vi att behålla våra grunddata och hålla i minnet att andelen neutroner genom (α, n)-reaktioner vid α -sönderfall hos Cm 242 och Cm 244 för närvarande i BEGAFIP sammanlagt utgör cirka 10 procent av totala neutronproduktionen i bestrålat lättvattenreaktorbränsle.

Skulle vi i stället använda oss av ORIGENS grunddata för dessa två nuklider medför detta följaktligen att den totala neutronproduktionen ökar med 50 %.

2. REVISION AV DATABIBLIOTEKET

2.1 Revision av fissionsutbyten

Fissionsutbytet är den viktigaste delen i databiblioteket vad gäller beräkningar på mängder av enskilda fissionsprodukter.

Alltsedan BEGAFIPs databibliotek redovisades för första gången år 1970 har vi valt att använda de sammanställningar över fissionsutbyten som givits ut av Meek och Rider. Den av oss nu gjorda revisionen baseras på 1978 års utgåva (11) och ersätter data från närmast föregående revision (12).

Att lägga in nya fissionsutbyten i databiblioteket måste tyvärr ske manuellt, vilket är ett tidskrävande arbete. Dessutom föreligger alltid risken för att fel uppkommer. Dessa har vi sökt gallra bort genom några kontroller. Dels har vi summerat de individuella fissionsutbytena över respektive masstal (kedjeutbytet) för var och en av de fyra klyvbara nukliderna och jämfört dessa kedjeutbyten med samma uppgifter i Meek och Rider. Dels har vi summerat kedjeutbytena över samtliga masstal för att kontrollera att summan blir 200 procent. Detta visar vi i Tabell 2.

För den som önskar jämföra resultat av nya beräkningar med tidigare utförda kan det vara av intresse att veta hur mycket fissionsutbytena har ändrats. Till hjälp för detta har vi tagit fram Tabell 3 som visar kvoten mellan nya och gamla värdet för samtliga fissionsprodukter i BEGAFIP. Tabell 3 börjar på sidan 42. Den är så stor att vi föredragit att lägga den sist i rapporten.

1980-12-14

Tabell 2

Kedjeutbyten

	U-235 (TH)	PU-239 (TH)	PU-241 (TH)	U-238 (F)
72	2.683E-05	9.605E-05	2.511E-05	9.310E-06
73	1.180E-04	2.304E-04	5.841E-05	4.772E-05
74	3.621E-04	5.328E-04	9.661E-05	9.310E-05
75	1.179E-03	1.244E-03	2.894E-04	2.420E-04
76	3.858E-03	2.755E-03	9.660E-04	8.040E-04
77	8.434E-03	7.334E-03	1.932E-03	3.330E-03
78	2.184E-02	2.853E-02	9.467E-03	1.127E-02
79	4.532E-02	4.702E-02	1.525E-02	3.338E-02
80	1.308E-01	1.133E-01	2.963E-02	6.942E-02
81	1.953E-01	1.715E-01	6.297E-02	1.429E-01
82	3.279E-01	2.056E-01	1.318E-01	2.380E-01
83	5.362E-01	2.950E-01	2.127E-01	3.930E-01
84	9.953E-01	4.743E-01	3.714E-01	8.140E-01
85	1.311E+00	5.731E-01	3.985E-01	7.300E-01
86	1.969E+00	7.588E-01	6.394E-01	1.277E+00
87	2.558E+00	9.922E-01	7.862E-01	1.585E+00
88	3.634E+00	1.364E+00	1.021E+00	2.058E+00
89	4.878E+00	1.707E+00	1.225E+00	2.842E+00
90	5.914E+00	2.108E+00	1.576E+00	3.236E+00
91	5.934E+00	2.502E+00	1.891E+00	4.064E+00
92	5.981E+00	3.008E+00	2.373E+00	4.520E+00
93	6.385E+00	3.894E+00	3.089E+00	4.969E+00
94	6.446E+00	4.428E+00	3.543E+00	4.971E+00
95	6.496E+00	4.893E+00	4.072E+00	5.099E+00
96	6.284E+00	5.078E+00	4.620E+00	5.925E+00
97	5.943E+00	5.395E+00	4.855E+00	5.519E+00
98	5.776E+00	5.830E+00	5.140E+00	5.805E+00
99	6.120E+00	6.154E+00	6.268E+00	6.241E+00
100	6.207E+00	6.808E+00	6.126E+00	6.610E+00
101	5.075E+00	5.897E+00	6.004E+00	6.077E+00
102	4.237E+00	5.968E+00	6.389E+00	6.319E+00
103	3.043E+00	6.948E+00	6.149E+00	6.222E+00
104	1.835E+00	5.912E+00	6.875E+00	4.983E+00
105	9.676E-01	5.361E+00	6.145E+00	3.970E+00
106	4.018E-01	4.281E+00	6.224E+00	2.510E+00
107	1.405E-01	3.361E+00	5.210E+00	1.301E+00
108	6.708E-02	2.172E+00	3.936E+00	6.004E-01
109	3.444E-02	1.876E+00	2.253E+00	2.668E-01
110	3.034E-02	5.987E-01	1.172E+00	1.353E-01
111	2.005E-02	3.036E-01	5.709E-01	8.056E-02
112	1.604E-02	1.333E-01	2.310E-01	6.496E-02
113	1.634E-02	6.514E-02	1.459E-01	5.261E-02
114	1.404E-02	6.059E-02	7.247E-02	3.928E-02
115	1.115E-02	3.688E-02	4.362E-02	3.493E-02
116	1.691E-02	4.948E-02	2.858E-02	4.158E-02
117	1.085E-02	5.632E-02	2.539E-02	3.674E-02
118	1.094E-02	3.640E-02	2.382E-02	3.958E-02
119	1.216E-02	3.906E-02	2.382E-02	3.572E-02

1980-12-14

Tabell 2

(forts)

	U-235 (TH)	PU-239 (TH)	PU-241 (TH)	U-238 (F)
120	1.211E-02	3.656E-02	2.394E-02	3.573E-02
121	1.300E-02	3.830E-02	2.352E-02	4.347E-02
122	1.530E-02	5.015E-02	2.351E-02	3.758E-02
123	1.585E-02	4.370E-02	2.489E-02	4.041E-02
124	2.593E-02	8.778E-02	2.916E-02	4.431E-02
125	2.939E-02	1.110E-01	4.241E-02	5.265E-02
126	5.560E-02	2.707E-01	7.663E-02	6.377E-02
127	1.256E-01	4.892E-01	2.293E-01	1.298E-01
128	3.507E-01	7.473E-01	3.543E-01	4.609E-01
129	7.437E-01	1.486E+00	7.570E-01	9.963E-01
130	1.785E+00	2.328E+00	1.651E+00	1.873E+00
131	2.884E+00	3.845E+00	2.842E+00	3.229E+00
132	4.299E+00	5.391E+00	4.217E+00	5.124E+00
133	6.703E+00	6.973E+00	6.768E+00	6.612E+00
134	7.797E+00	7.618E+00	7.416E+00	7.556E+00
135	6.543E+00	7.615E+00	7.300E+00	6.855E+00
136	6.317E+00	6.708E+00	6.680E+00	6.847E+00
137	6.223E+00	6.696E+00	6.863E+00	5.993E+00
138	6.757E+00	6.054E+00	6.769E+00	5.659E+00
139	6.378E+00	5.622E+00	5.945E+00	5.960E+00
140	6.277E+00	5.551E+00	6.168E+00	5.941E+00
141	5.797E+00	5.255E+00	4.962E+00	5.450E+00
142	5.878E+00	4.982E+00	5.031E+00	4.723E+00
143	5.939E+00	4.427E+00	4.703E+00	4.553E+00
144	5.475E+00	3.737E+00	4.333E+00	4.538E+00
145	3.918E+00	2.991E+00	3.343E+00	3.751E+00
146	2.976E+00	2.461E+00	2.861E+00	3.389E+00
147	2.254E+00	2.042E+00	2.367E+00	2.528E+00
148	1.670E+00	1.634E+00	1.989E+00	2.079E+00
149	1.067E+00	1.239E+00	1.524E+00	1.608E+00
150	6.484E-01	9.660E-01	1.248E+00	1.263E+00
151	4.185E-01	7.718E-01	9.366E-01	8.001E-01
152	2.679E-01	5.850E-01	7.464E-01	5.201E-01
153	1.614E-01	3.636E-01	5.480E-01	4.105E-01
154	7.342E-02	2.716E-01	3.960E-01	2.131E-01
155	3.205E-02	1.654E-01	2.417E-01	1.326E-01
156	1.319E-02	1.183E-01	1.760E-01	6.740E-02
157	6.155E-03	7.407E-02	1.371E-01	3.867E-02
158	2.916E-03	4.073E-02	8.622E-02	1.728E-02
159	1.004E-03	2.058E-02	4.865E-02	8.082E-03
160	3.166E-04	9.721E-03	1.916E-02	3.225E-03
161	8.527E-05	4.844E-03	8.570E-03	1.278E-03
162	1.914E-05	2.396E-03	2.491E-03	4.912E-04
163	7.676E-06	9.699E-04	8.982E-04	1.210E-04
164	2.397E-06	3.662E-04	2.887E-04	3.911E-05
165	1.167E-06	1.390E-04	9.000E-05	1.504E-05
166	5.522E-07	6.820E-05	6.033E-05	5.380E-06
TOTAL	200.012	199.920	199.895	199.616

1980-12-14

Slutligen har vi låtit vår BENSON-plotter rita upp värdena i Tabell 2 med ett figurblad för var och en av de fyra klyvbara nukliderna (Figur 5 - 8). Dessa fyra kurvor har dessutom sammantagits i Figur 9 för att visa skillnaderna i fissionsutbytena de fyra nukliderna emellan.

2.2 Revision av förgreningskonstanter

Delat betasönderfall beaktas i BEGAFIP genom angivande av en förgreningskonstant (se t ex A = 75 i Appendix). Minsta grenens bråkdel lagras i databiblioteket.

En fullständig genomgång har företagits, varvid de nya förgreningskonstanterna har hämtats ur (11). Nedanstående tabell visar ändringarna.

Tabell 4

Reviderade förgreningskonstanter

Nuklid	Tidigare värde	Nuvarande värde	Anm
GE 77 m	0.24	0.21	
AS 77	0.00012	0.003	
BR 80	0.0865	0.086	
BR 82 m	0.01	0.0024	
KR 85 m	0.23	0.2158	
SR 87 m	0.007	0.003	
SR 89	0.00009	0.0001	
ZR 95	0.02	0.01	
ZR 97	0.04	0.06	
MO 99	0.1241	0.12	
RU 103	0.02	0.01	
RU 105	0.21	0.27	
AG 108	0.0218	0.023	
AG 110 m	0.013	0.014	
PD 111 m	0.25	0.287	

Tabell 4

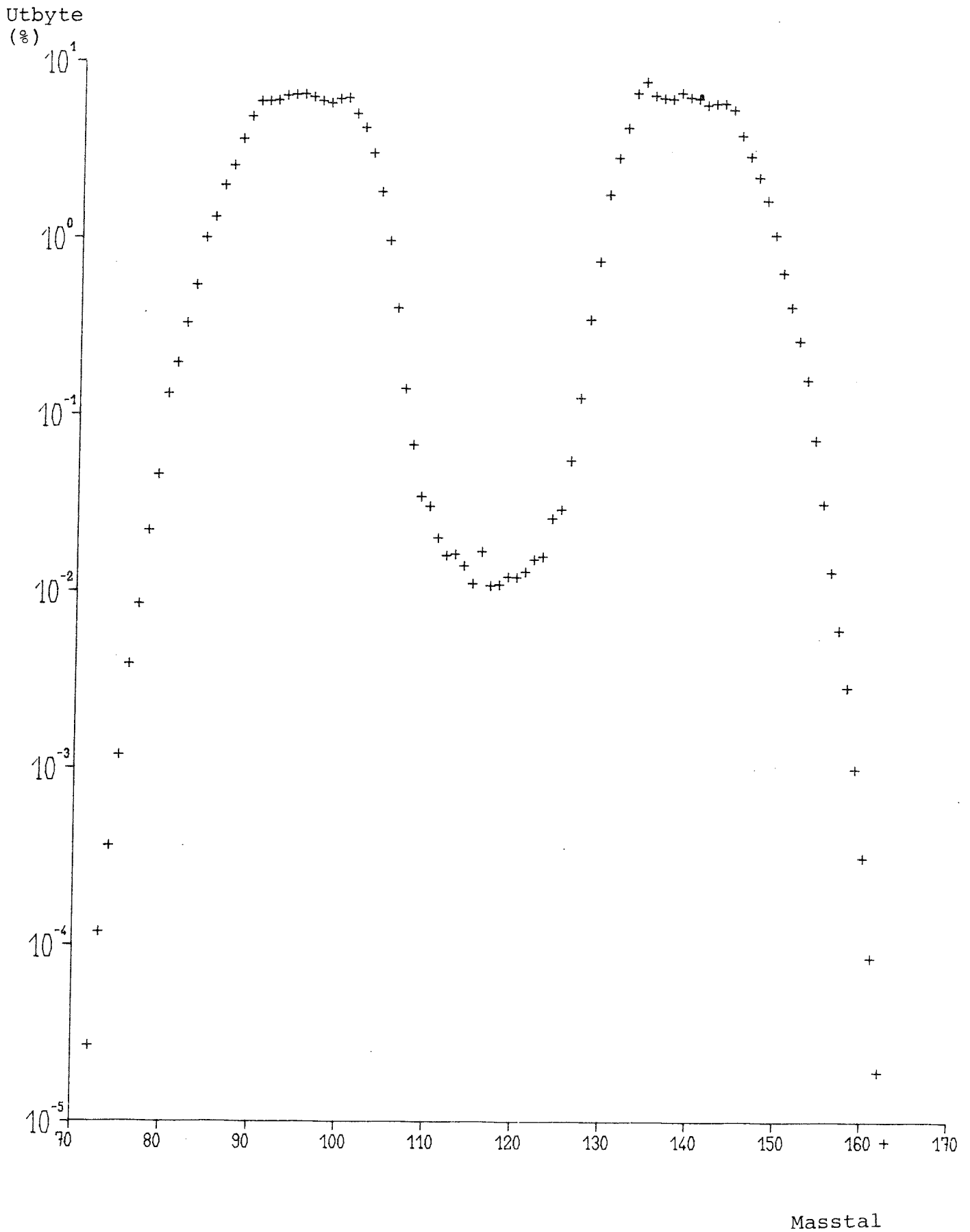
(forts)

Nuklid	Tidigare värde	Nuvarande värde	Anm
PD 113	-	0.10	Minor = AG 113 m
AG 113 m	0.10	0.045	
AG 113	-	0.013	Minor = CD 113 m
AG 115	0.09	0.085	
IN 115 m	0.05	0.037	
CD 117 m	0.39	0.44	
CD 117	0.336	0.07	
SB 125	0.216	0.225	
SB 126 m	0.15	0.14	
TE 127 m	0.008	0.024	
SN 128	0.03	0.002	
SB 129	0.146	0.166	
TE 129 m	0.36	0.364	
SN 130	0.50	0.10	
SB 131	0.068	0.070	
I 131	0.006	0.014	
SB 133	0.28	0.42	Major/Minor omkastade
I 133	0.024	0.028	
I 135	0.27	0.147	
CS 137	0.065	0.054	
PM 148 m	0.07	0.046	
EU 152 m	0.238	0.230	
EU 152	0.273	0.280	
GD 162	-	0.02	Minor = TB 162 m
DY 165 m	0.0254	0.025	

1980-12-14

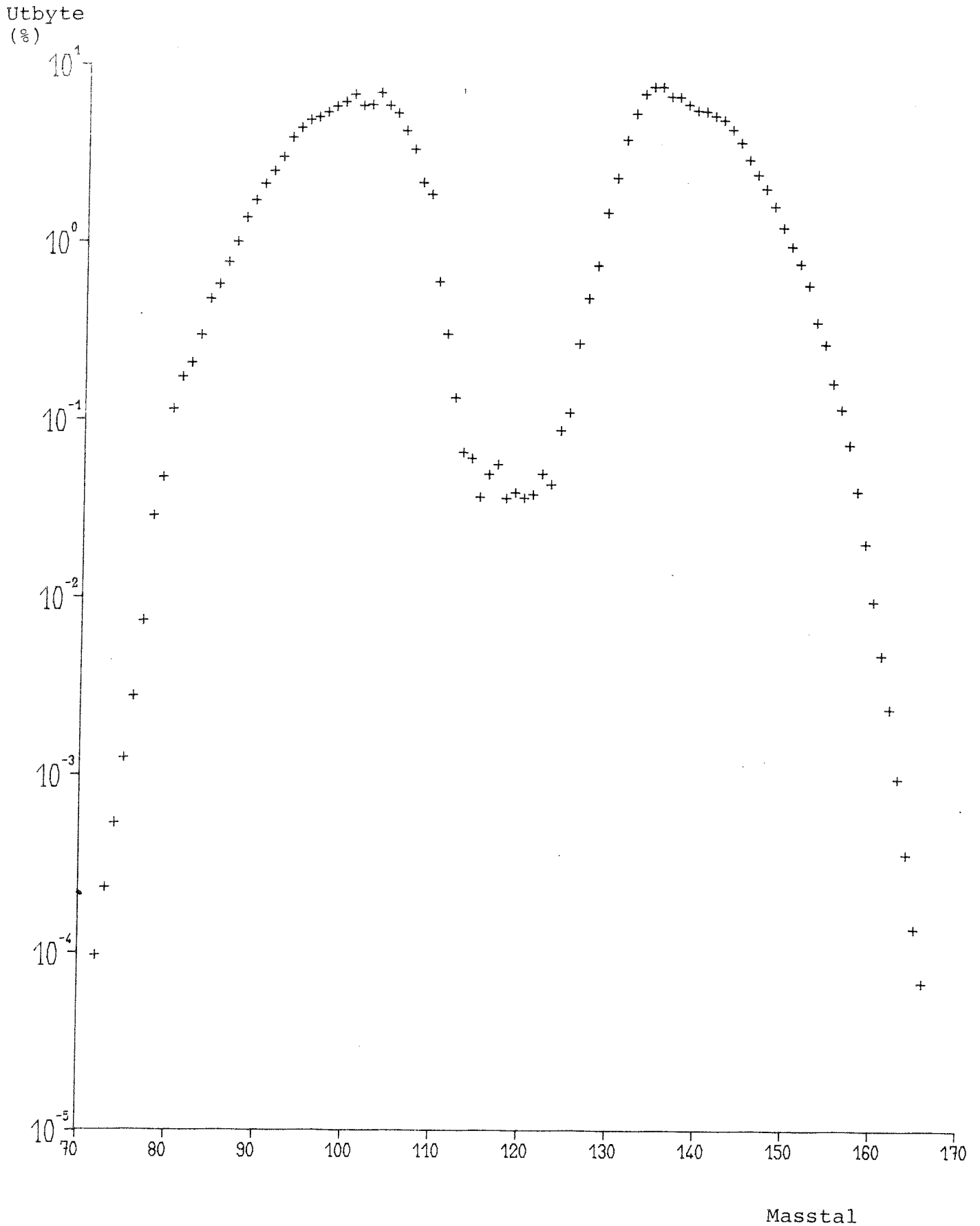
Figur 5

Klyvningsutbyten vid termisk fission av U-235



Figur 6

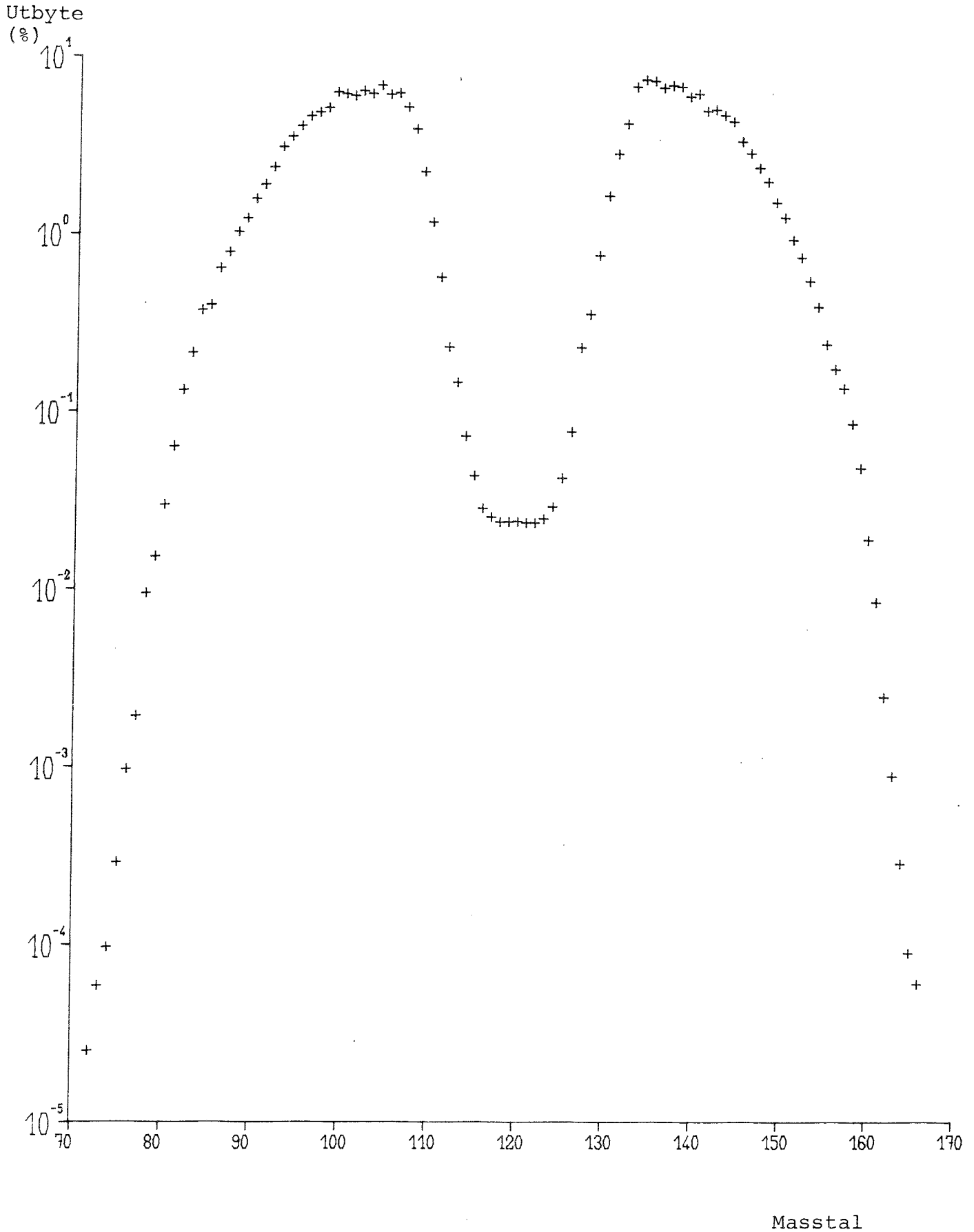
Klyvningsutbyten vid termisk fission av Pu-239



1980-12-14

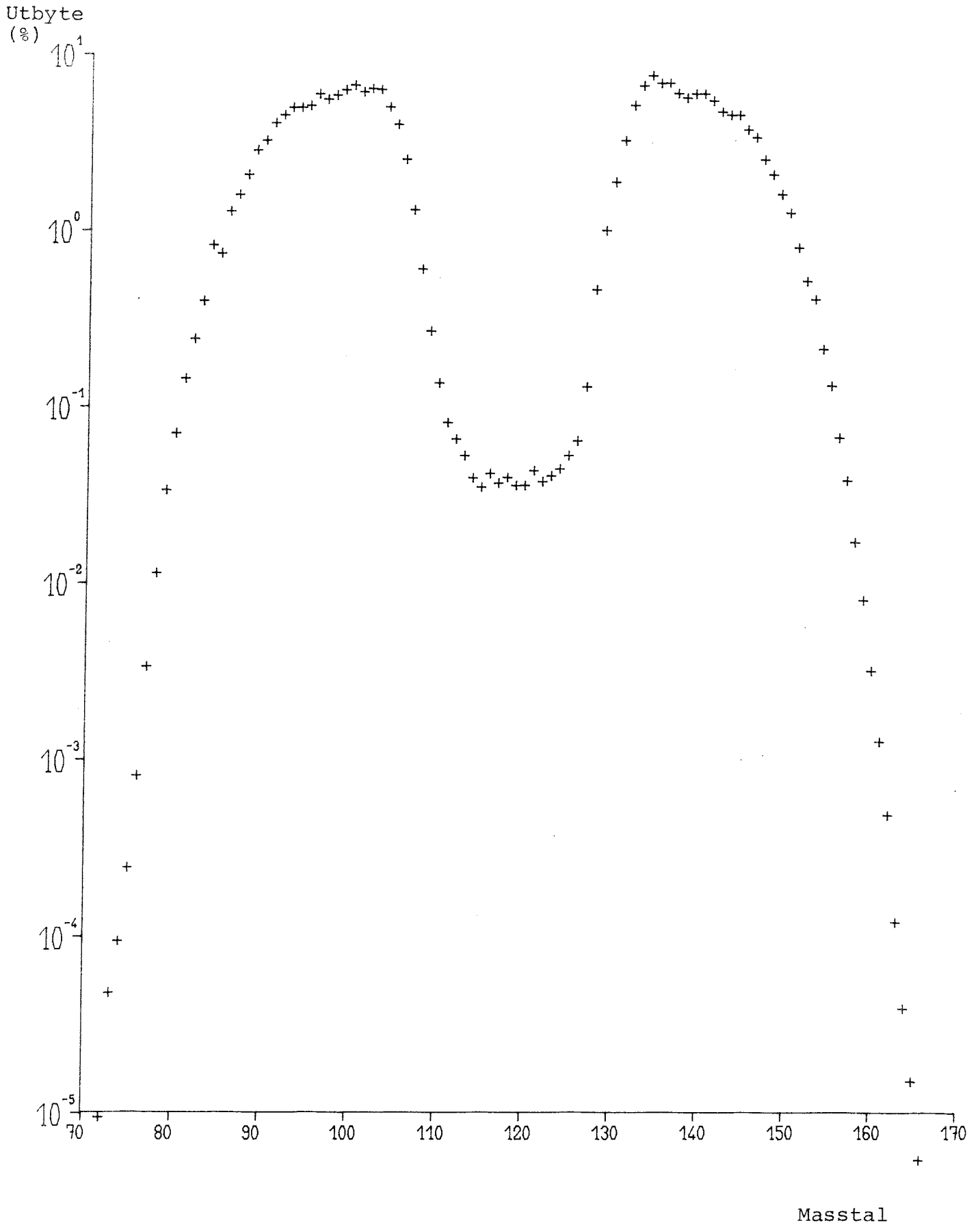
Figur 7

Klyvningsutbyten vid termisk fission av Pu-241



Figur 8

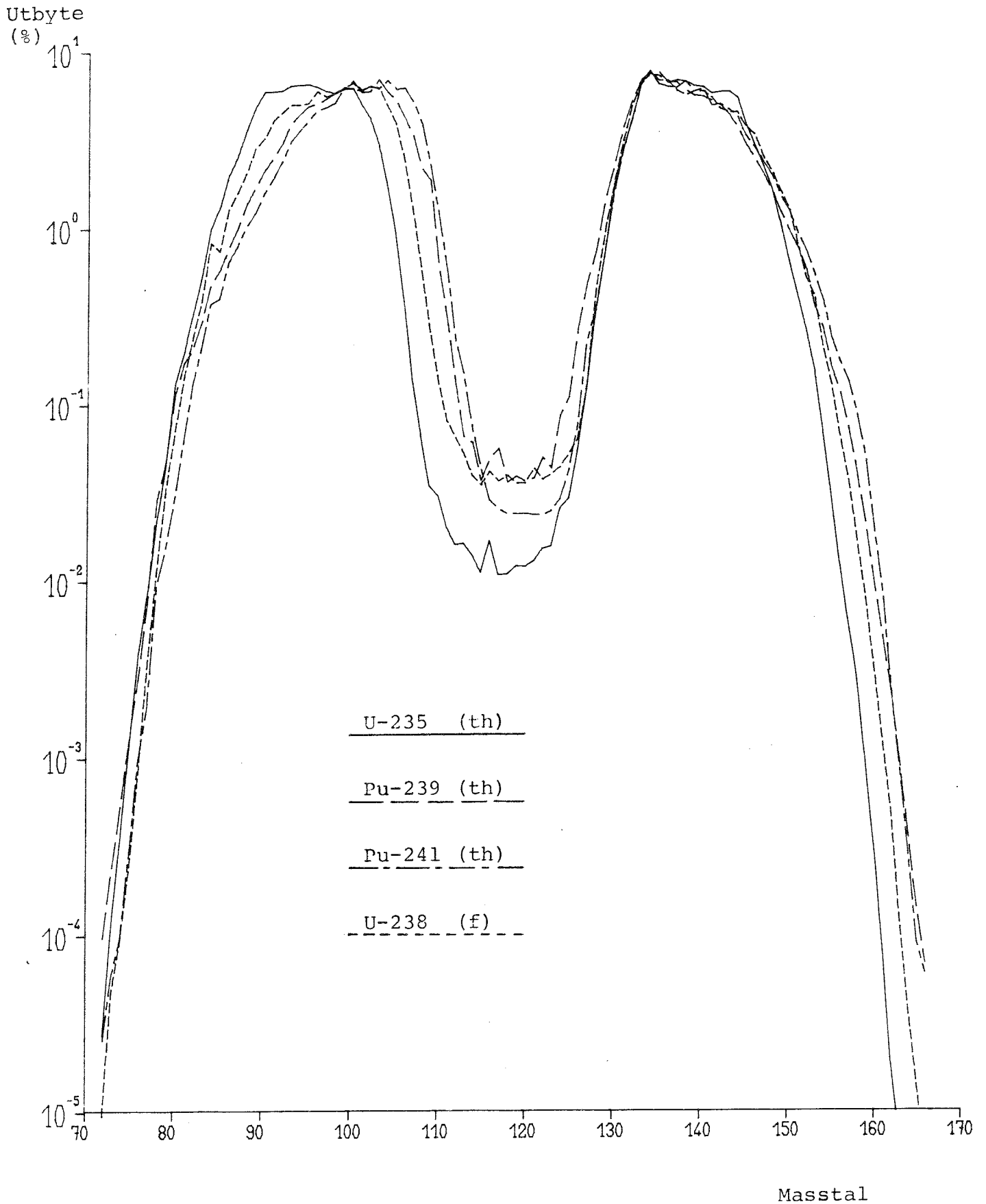
Klyvningsutbyten vid snabb fission av U-238



1980-12-14

Figur 9

Jämförelse av klyvningsutbyten



3. BENCHMARK-BERÄKNINGAR

3.1 Bakgrund

Beräkningar av aktiniduppbyggnaden i kraftreaktorbränsle, som underlag till diskussioner om bränslets eventuella upparbetning och slutförvaring, har erhållit stor uppmärksamhet sedan mitten av 1970-talet.

Härigenom har användningsområdet för program som BEGAFIP och ORIGEN m fl kommit att utvidgas. Kraven på noggrannhet i aktiniddelen av BEGAFIP vid fissionsproduktberäkningar begränsades ursprungligen till bestämningen av fissionernas fördelning mellan U-235, Pu-239, Pu-241 och U-238. Aktinidbiblioteket bestod då endast av ett tiotal nuklider.

Två utvidgningar av detta bibliotek, den första till Cm-242 och den andra till Es-253, innebär att aktiniddelen numera är fem gånger så stor som den ursprungligen var.

Det komplicerade förloppet vid uppbyggnaden av aktinider i samband med reaktorbränslets utbränning behandlas bäst med program av typ CASMO. Dess beräkningsmodell, där flödesspektrum och tvärsnitt är indelade i 69 alternativt 25 energigrupper, tar automatiskt hänsyn till självskärmningseffekter i t ex U-238 och Pu-240.

En mångfald av mätningar har gjorts under årens lopp för att verifiera CASMOs beräkningsresultat inom samtliga tillämpningsområden. För att exemplifiera CASMOs noggrannhet inom området aktiniduppbyggnad presenteras nedanstående tabell hämtad från (13).

1980-12-14

Tabell 5

Jämförelse mellan CASMO-beräkningar och mätningar på bränsle till den italienska Trino-Vercellese-reaktorn.

CASMO variant	Standard**		Extended**		Measurement
	LIB25	LIB69	LIB69	LIB69	
Library					
R_y , cm	0.7824	0.7824	0.7824	0.7522	
U235***	4.493,20*	4.489	4.496	4.402	4.428
U236	7.963,19	7.959	7.843	7.831	8.239
U238***	4.157,20	4.166	4.119	4.371	4.578
Pu238	1.975,18	2.029	2.051	2.279	2.664
Pu239	1.253,20	1.261	1.236	1.359	1.375
Pu240	4.016,19	3.991	3.971	4.073	4.103
Pu241	2.160,19	2.158	2.216	2.404	2.408
Pu242	5.699,18	5.746	5.036	5.068	5.791
Am241	1.592,18	1.616	1.580	1.738	2.709
Am242M	6.813,16	6.885	3.012	3.477	5.134
Am243	7.763,17	7.871	7.831	8.535	9.963
Cm242	4.456,17	4.497	4.378	4.693	5.739
Cm244	1.418,17	1.445	1.498	1.752	2.144

* 4.493,20 skall läsas $4.493 \cdot 10^{20}$. Totalsexponenten har endast satts ut i första kolumnen.

** Standard sträcker sig upp till Cm244
Extended "- Es253

*** Tabellvärdena för denna nuklid avser antalet utbrända kärnor/cm³ bränsle.

CASMO är alltså väl lämpat att tjäna som likare vid BENCHMARK-beräkningar med BEGAFIP och ORIGEN. Man skall ha i minnet att de båda sistnämnda programmen utvecklats i första hand för fissionsproduktberäkningar. Programmens förenklade tvärsnittsbehandling kan medföra stora fel vid beräkningar på aktiniduppbyggnaden i bestrålat reaktorbränsle. Undersökningen av detta är huvudsyftet med dessa BENCHMARK-beräkningar.

3.2 Arbetsuppläggning

BENCHMARK-beräkningarna har gjorts med identiskt lika indata och resultatet från ORIGEN och BEGAFIP ställdes i relation till en likare, i detta fall CASMO-EXT, av skäl som redan nämnts.

För undersökningarna beräknades aktinidinnehållet i en PWR-U som kördes till utbränningen 33 MWd/kg U med effekttätheten 38.5 W/g U. Anrikningen var 3.25 % U-235.

Först gjordes en körning med CASMO, följt av en körning med CASMO-EXT. Detta för att få fram, för båda varianterna, nuklidinnehållet i bränslet samt för att få fram beräkningsunderlag för de spektrumparametrar som behövs som ingångsdata i ORIGEN och BEGAFIP.

Sedan undersöktes de återkopplingar i aktinid-schemat som har störst betydelse nämligen Cm-242 α Pu-238 och Am-242 β + Pu-242. Dessa båda sönderfallsåterkopplingar kan inte hanteras av BEGAFIP utan vi har löst problemet genom att införa två fiktiva uppsamlingsnuklider XX-238 och YY-242, som har samma data som Pu-238 och Pu-242. Dessa nuklider samlar upp sönderfallen från Cm-242 och AM-242 men återinför dem ej i kedjorna.

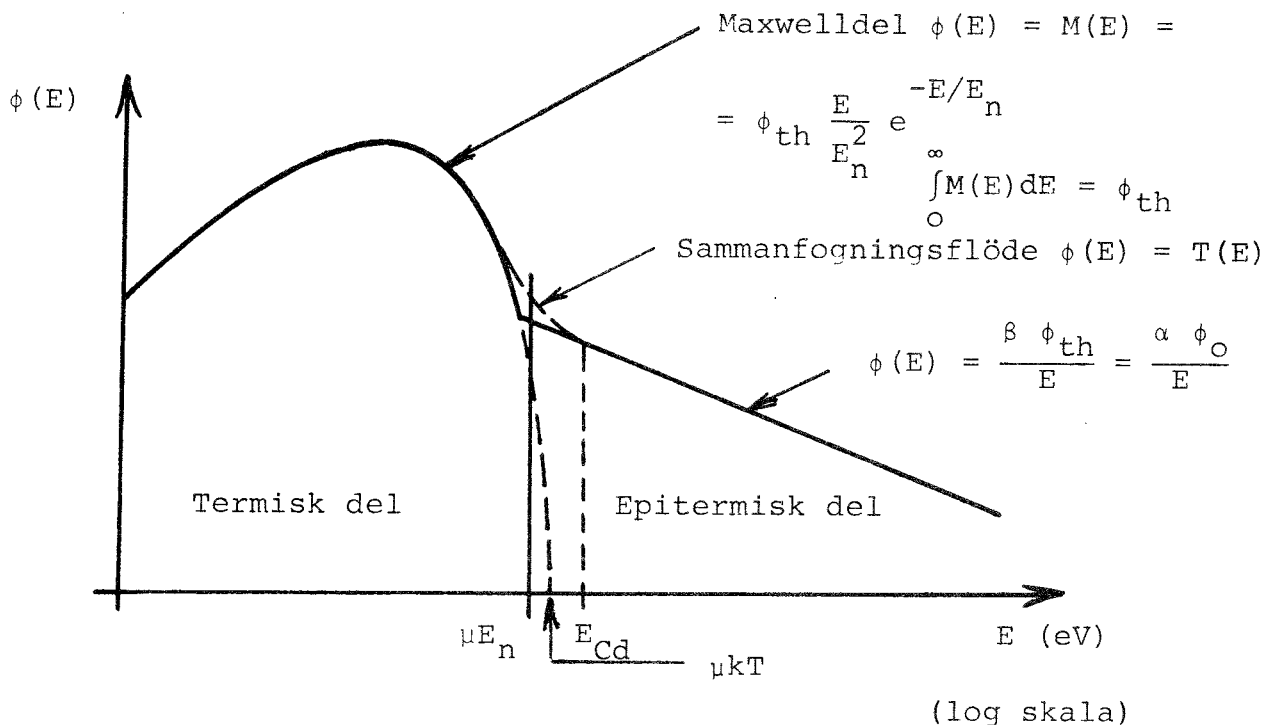
ORIGEN kan hantera dessa återkopplingar och genom att i ett par körningar bryta dem kan man studera deras inverkan.

1980-12-14

3.3 Beräkningsmässiga jämförelser

3.3.1 Allmänt

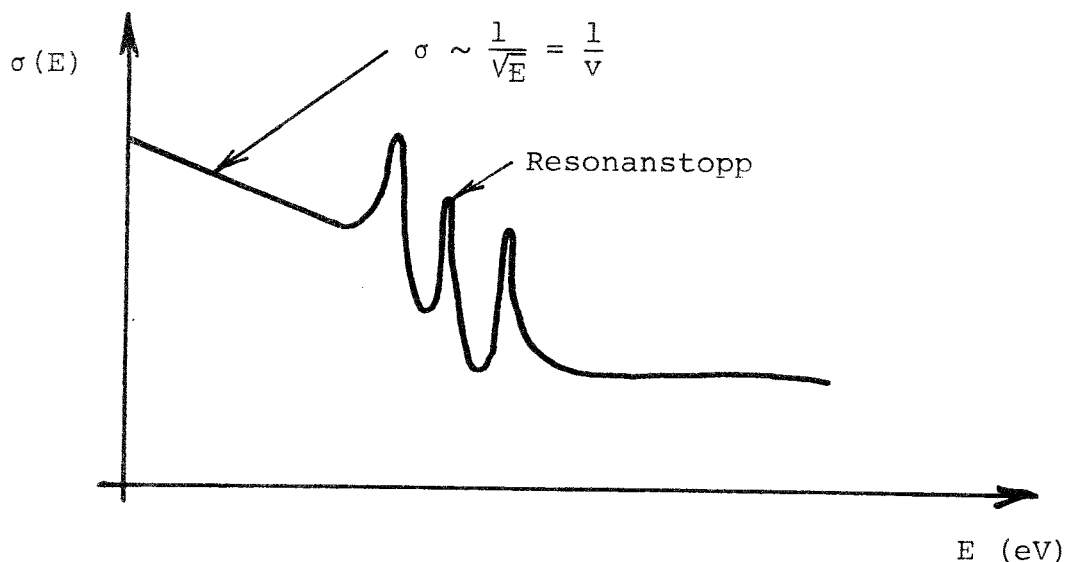
Effektutvecklingen i en reaktor bestäms av klyvningsraten $\sigma_f \cdot \phi$ där σ_f = effektivt klyvnings-tvårsnitt och ϕ = termiska neutronflödestätheten, ofta kallad flödet. Varje klyvning ger upphov till ca 200 MeV energiutveckling, mestadels som rörelseenergi hos klyvningsprodukterna. Vid klyvningen slungas 2 - 3 nya neutroner ut som kan hålla kedjereaktionen igång. Då neutronerna föds har de energier av storleksordningen 1 MeV och modereras till det termiska området där klyvningstvårsnittet för U-235 är störst i förhållande till infångningstvårsnittet för U-238. En typisk flödesfördelning ser ut som i Figur 10 där det snabba flödet har utelämnats. Uppdelningen av flödet i en maxwelldel och en 1/E del, som i figuren, är en rätt grov förenkling för beräkningar på en lättvattenreaktorhård, men är i många fall acceptabel för koder av typen BEGAFIP och ORIGEN.



Figur 10

Typisk flödesfördelning i en lättvattenreaktorhård.

Tvårsnittet, så väl för infångning som fission, exemplifieras i Figur 11. Man har i allmänhet en resonansstruktur i epitermiska området. Denna är särskilt betydande vid infångningar i U-238.



Figur 11

Typiskt tvårsnittsutseende i låga energiområdet.

Man kan nu definiera en allmän reaktionsrat

$$\int_0^{\infty} \sigma(E) \phi(E) dE$$

där $\sigma(E)$ t ex kan vara infångningstvårsnitt eller klyvningstvårsnitt. Reaktionsraten kan nu beräknas genom uppdelning av flödet i olika delar (jfr Figur 10)

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \sigma(E) \phi(E) dE &= \int_0^{\infty} M(E) \sigma(E) dE + \int_{\mu E_n}^{\infty} \frac{\alpha \phi_0}{E} \sigma(E) dE = \\ &= \sigma_0 \phi_0 + \int_{\mu E_n}^{\infty} \alpha \phi_0 \left(\sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}} + \sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}} \right) \frac{dE}{E} = \end{aligned}$$

1980-12-14

$$\begin{aligned}
&= \sigma_0 \phi_0 + \sigma_0 \phi_0 \alpha 2 \sqrt{\frac{E_0}{\mu E_n}} + \int_{\mu E_n}^{E_{cd}} \alpha \phi_0 (\sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}}) \frac{dE}{E} + \\
&+ \int_{E_{cd}}^{\infty} \alpha \phi_0 (\sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}}) \frac{dE}{E} = \sigma_0 \phi_0 + \sigma_0 \phi_0 \alpha \sqrt{\frac{4E_0}{\mu E_n}} + \\
&+ \alpha \phi_0 \int_{\mu E_n}^{E_{cd}} (\sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}}) \frac{dE}{E} + \alpha \phi_0 RI'
\end{aligned}$$

där

$$\phi_0 = \sqrt{\frac{\pi E_0}{4 E_n}} \phi_{th}$$

- ϕ_0 = den konventionella termiska neutronflödestätheten
 σ_0 = tvärsnittet för $v_0 = 2200$ m/s neutroner
 E_0 = 0.0253 eV (motsvarar $\frac{mv_0^2}{2}$)
 α, μ, E_n = spektrumparametrar, se Figur 10
 E_{cd} = cut-off energin för kadmium (~ 0.5 eV)

$$\begin{aligned}
RI' &= \int_{E_{cd}}^{\infty} (\sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}}) \frac{dE}{E} = \\
&= \text{resonansintegral exklusive } \frac{1}{v} \text{ delen.}
\end{aligned}$$

Nedan jämför vi vårt erhållna allmänna uttryck för reaktionsraten, som dock är idealiserat så till vida att det bygger på $\frac{1}{v}$ tvärsnitt i termiska området, med motsvarande uttryck i BEGAFIP respektive ORIGEN.

3.3.2 BEGAFIP

$$\sigma\phi = \sigma_0\phi_0g + \sigma_0\phi_0g\alpha\sqrt{\frac{4T_0}{\mu T_n}} + \phi_0\alpha RI'$$

$$g = \int \sigma(E)dE / \int \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}} M(E)dE$$

där

$$E_0 = kT_0 \quad (T_0 = 293.16^\circ\text{K})$$

$$E_n = kT_n \quad (T_n = \text{neutrontemp})$$

Vidare har man som approximation ansett att

$$\alpha\phi_0 \int_{\mu E_n}^{E_{cd}} (\sigma(E) - \sigma_0 \sqrt{\frac{E_0}{E}}) \frac{dE}{E}$$

är liten, vilket är en rimlig approximation.

Man har instället låtit g-faktorn verka även på den andra termen. Att RI' är definierad från E_{cd} och inte från μE_n har att göra med mätningstekniken av resonansintegralen.

Neutroninfångningsraten $\sigma\phi$ beräknas med Westcott-formalism där

ϕ_0 = den konventionella termiska neutronflödestätheten, dvs produkten av termiska neutrontätheten och neutronhastigheten v_0 vid rumstemperatur T_0 ,
 $v_0 = 2200 \text{ m/s}$

σ_0 = det termiska neutroninfångningstvärsnittet vid v_0

g = Westcotts g-faktor som korrigerar för avvikelserna från $\frac{1}{v}$ -beroendet

1980-12-14

- T_n = neutrontemperatur. Är något högre än moderatortemperaturen. I vår körning = 845 K
 μ = spektrumparameter, här $\mu = 3.68$
 α = $\frac{\phi_{epi}}{\phi_0}$; det epitermiska neutronflödet antas ha formen $\frac{\phi_{epi}}{E}$, i vår körning = 0.58
 RI' = resonansintegralen för neutroninfångning eller klyvning exklusive $\frac{1}{v}$ delen

Vid BEGAFIP-körningen används alternativet konstant effekt. Detta medför att klyvningsraten är konstant under tidssteget. Vid bestämning av flödestätheten utgår man från startvärdet ϕ_1 som erhålls från uttrycket på effekten P [MW].

$$P = \frac{(1+R) \phi_1}{3.12 \cdot 10^{40}} \sum_i \sigma_i^k N_i$$

där

- R = antalet snabba klyvningar/antalet termiska + epitermiska klyvningar
 σ_i^k = klyvningstvårsnittet för nuklid i
 N_i = antalet atomer av den klyvbara nukliden vid tiden $t=0$

Vidare är

$$\frac{P \cdot t \cdot 3.12 \cdot 10^{16}}{1+R} = n$$

där

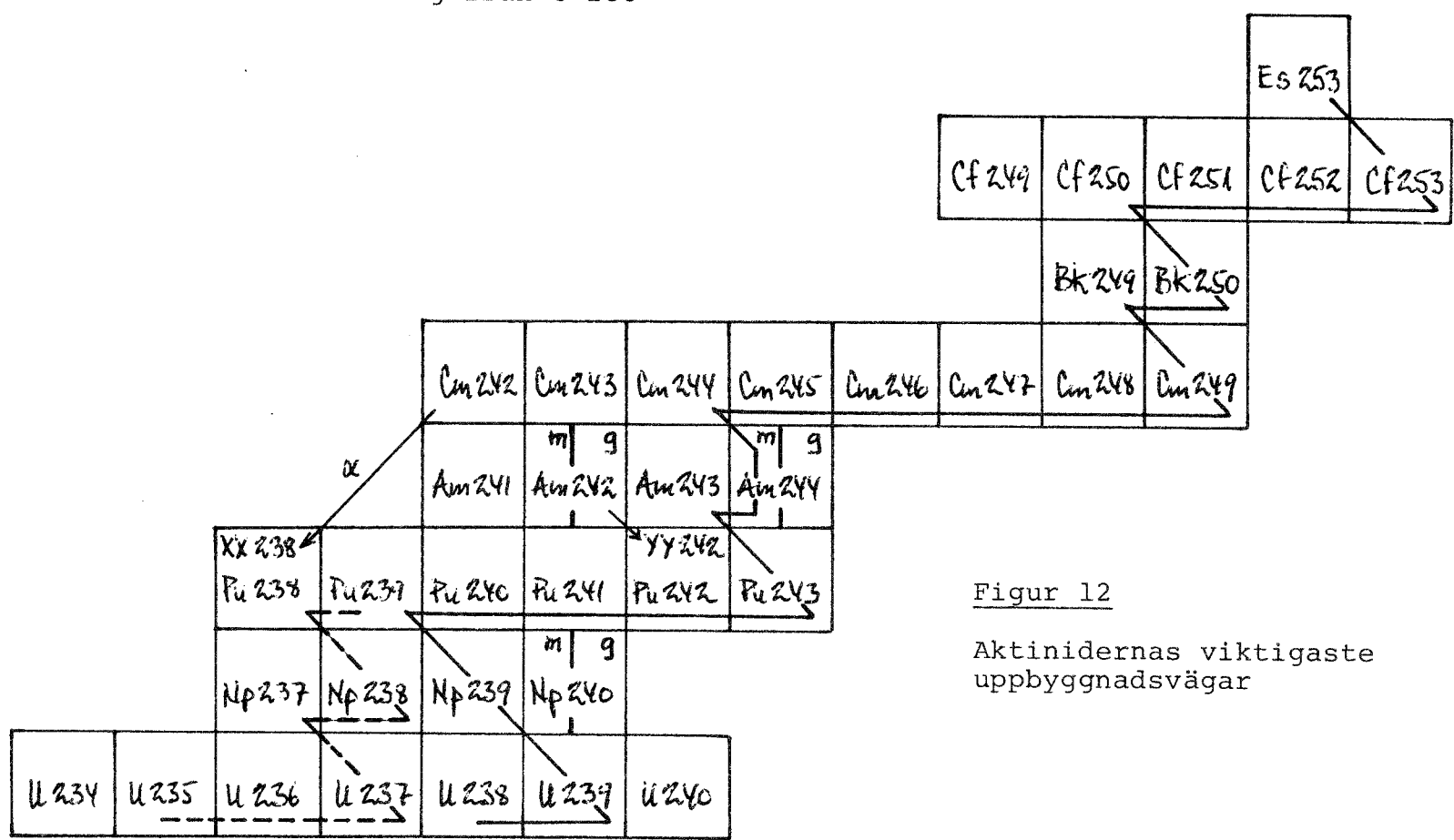
- n = antalet icke-snabba klyvningar under tiden t

Man beräknar mängderna av de tunga nukliderna och det totala antalet icke-snabba klyvningar under tidssteget t . Om detta värde skiljer sig med mer än 1 % från det som effekten P motsvarar enligt ovan korrigeras flödestätheten och beräkningen upprepas tills villkoret är uppfyllt. Denna process upprepas för varje tidssteg.

I biblioteket finns lagrade värden på $g \cdot \sigma_0$ och resonansintegraler exklusive $\frac{1}{v}$ delen. Som indata krävs mängderna av ingångsnukliderna (U-235, U-238) samt parametern α dvs ϕ_{epi}/ϕ_0 , R = snabb klyvningsfaktor, TEMP = moderatortemperatur, RESCOR = korrektionsfaktor för U-238s resonansintegral.

Vidare finns släktskapsrelationer mellan nukliderna lagrade. Där räknas t ex en nuklids metastabila tillstånd (isomer) som en särskild nuklid, vars radioaktiva sönderfall kan gå antingen till grundtillståndet (isomer övergång) eller till närmaste grund- eller ev metastabila tillstånd. Det enda α -sönderfall av betydelse, Cm-242 \rightarrow Pu-238 har här samlats upp i den fiktiva nukliden XX-238 medan det enda β^+ -sönderfallet av betydelse Am-242 \rightarrow Pu-242, samlas upp i den fiktiva nukliden YY-242, se Figur 12. Reaktioner av typen $(n, 2n)$, $(n, 3n)$, (n, p) kan inte heller hanteras då de åstadkommer besvärliga återkopplingar. Men dessa reaktioner har små tvärsnitt och deras inverkan är försumbar.

----- = Huvudväg från U-235
 _____ = Huvudväg från U-238



Figur 12
 Aktinidernas viktigaste
 uppbyggnadsvägar

3.3.3 ORIGEN

$$\sigma\phi = \bar{\phi} \left[\sigma_0 g \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T_n}} + \beta \cdot RI + 1.45 \frac{\phi_{>1 \text{ MeV}}}{\bar{\phi}} \cdot \bar{\sigma}_{>1 \text{ MeV}} \right]$$

Till skillnad från BEGAFIP använder man alltså här verkligt termiskt flöde $\bar{\phi}$. Detta bör väljas något större än det ϕ_{th} som anges i Figur 10, så att man får med den del av reaktionsraten som ligger mellan μE_n och E_{cd} . Detta sker vid bestämningen av β (=RES).

I uttrycket för reaktionsraten ovan är:

$$\left(\frac{\pi T_0}{4 T_n} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{THERM} = \text{förhållandet mellan reaktionsraten för maxwellfördelade neutroner och reaktionsraten för 2 200 m/s neutroner}$$

$$RI = \text{resonansintegralen inklusive } \frac{1}{v} \text{ delen}$$

$$\beta = \frac{\phi_{res}}{\bar{\phi}} = \text{RES} = \text{förhållandet mellan resonansflödet per letargi-intervall till termiskt flöde}$$

$$1.45 \cdot \frac{\phi_{>1 \text{ MeV}}}{\bar{\phi}} = \text{FAST} = 1.45 \text{ förhållandet mellan flödet } >1 \text{ MeV till termiska flödet}$$

$$1.45 = \frac{1}{0.69} \quad 0.69 \text{ är andelen av fissionsspektrumet över 1 MeV för U-235}$$

$$\bar{\phi}_{>1 \text{ MeV}} = \text{fissionsspektrummedlat tvärsnitt för alla reaktioner som har en tröskelenergi vid 1 MeV}$$

Faktorerna THERM, RES och FAST läses in som indata. ORIGEN har alltså sitt flöde delat i tre delar. Ett termiskt flöde som antages maxwellfördelat, ett resonansflöde som har $\frac{dE}{E}$ -fördelning och ett snabbt flöde som antas ha samma utseende som fissionsspektrumet för U-235. BEGAFIP å sin

1980-12-14

sida har flödet indelar i två delar; en termisk maxwellfördelad del och en epitermisk $\frac{dE}{E}$ -fördelad del.

I biblioteket finns data på $g\sigma_0$ och RI. Vidare finns här möjlighet att hantera α - och β^+ -sönderfall. Då programmet kan hantera återkopplingar medför det att även reaktioner av typen $(n,2n)$, $(n,3n)$, (n,p) beaktas. Dessa reaktioner har ofta en tröskelenergi vid ca 1 MeV och då tvärsnitten för reaktionerna är små spelar de en försumbar roll.

Vidstående parametervärden	{	THERM = 0.51
har använts i alla våra		RES = 0.32
ORIGEN-beräkningar		FAST = 3.17

3.4 Resultat och kommentarer

Resultaten av BENCHMARK-beräkningarna av nuklidhalterna i en PWR körd till 33 MWd/kgU kan studeras i Tabell 6. Man ser att BEGAFIPs resultat stämmer ganska bra överens med CASMO-EXTs. ORIGENS resultat skiljer sig däremot mer från CASMO-EXTs resultat, framförallt vad gäller de högre nukliderna från Cm-245 och upp till Es-253.

Vi bör kanske poängtera att resultaten i Tabell 6 erhållits med helt okorrigerade databibliotek hörande till vart och ett av de fyra programmen.

Av två skäl valde vi att i fem efterföljande testfall använda ORIGEN. Dels skiljer sig ORIGEN betydligt mera från CASMO-EXT än vad BEGAFIP gör, dels har man därmed möjlighet att studera återkopplingars inverkan.

Följande fem testfall har undersökts:

TEST 1:	ORIGEN med två-gruppsdata från CASMO-EXT		
TEST 2:	ORIGEN där	$\sigma_{n,\gamma}$	= 453 b för Pu-241
		$RI_{n,\gamma}$	= 0 för Cm-245
		$RI_{n,\gamma}$	= 70 b för Cm-248
TEST 3:	ORIGEN där	λ_{α}	= 0 för Cm-242
TEST 4:	ORIGEN där	λ_{α}	= 0 för Cm-242
		λ_{β^+}	= 0 för Am-242
TEST 5:	ORIGEN där	$\sigma_{n,\gamma}$	= 0 för Pu-238

När tvågruppstvärnsnitt från CASMOs bibliotek lades in i ORIGEN så blev resultatet både bättre och sämre (TEST 1). Bättre för nukliderna Cm-245→Bk-249 men sämre för nukliderna Cf-249→Es-253. Vad detta beror på är svårt att säga men man kan misstänka att flödesdefinitionen i ORIGEN inte passar CASMO-EXTs databibliotek.

TEST 2 gav bättre resultat än ursprungskörningen. Här ligger biblioteksändringarna utefter den "huvudgata" som visas i Figur 12. Vi har erhållit resultat som har samma storleksordning på felen som i BEGAFIP. Detta visar att det går att få ORIGEN att räkna lika bra som BEGAFIP.

Skapandet av de två fiktiva nukliderna XX-238 och YY-242 i BEGAFIP för att få en uppfattning om storleken på de mängder som tillförs Pu-238 respektive Pu-242 visar att mängden Pu-238 skulle ha ökat med ca 5 % medan mängden Pu-242 skulle ha ökat med ca 0.8 %. När vi sedan tog bort dessa återkopplingar Cm-242 $\xrightarrow{\alpha}$ Pu-238 och Am-242 $\xrightarrow{\beta^+}$ Pu-242 i ORIGEN så finner man av Tabell 8 att mängden Pu-238 sjunker med 5.4 %

1980-12-14

och mängden Pu-242 sjunker med 1.6 %. BEGAFIP använder som data att 14 % av sönderfallen för Am-242 skall gå till YU-242 medan ORIGEN använder 18 %.

Hur påverkar nu återkopplingarna de högre nukliderna? Av TEST 3 framgår att endast mängden Pu-238 har påverkats. Detta förklaras i Figur 12 där man ser att α -sönderfallet från Cm-242 inte påverkar "huvudvägen" för U-238, som är den dominerande vad gäller uppbyggnaden av transplutoniumisotoperna. Detta innebär att trots att förlusterna för Cm-242 till mer än 95 % består i α -sönderfall till Pu-238 påverkas endast denna mängd. Vidare konstateras av TEST 4 och Figur 12 att trots att bara 18 % av sönderfallen för Am-242 består i β^+ -sönderfall till Pu-242 så fås en märkbar, om än liten, påverkan för de högre nukliderna genom att "huvudvägen" för U-238 direkt berörs.

Sammanfattningsvis är inverkan av dessa återkopplingar liten sett ur transplutoniumisotopernas synvinkel.

Vi ser också av TEST 5 att "huvudvägen" U-235 \rightarrow Pu-238 har liten inverkan på nukliduppbyggnaden Pu-241 och uppåt. Här är vägen Pu-238 \rightarrow Pu-239 avstängd genom att $\sigma_{n,\gamma}$ för Pu-238 sätts = 0. Mängderna för isotoperna Pu-241 och uppåt blir oförändrade.

Vid jämförelsen mellan BEGAFIP och ORIGEN slås man av ORIGENS snabbhet. ORIGENS räknetid var ca 30 sek medan BEGAFIP krävde ca 600 sek. Den långa beräkningstiden för BEGAFIP blev en konsekvens av att programmet utvidgades med aktinider upp till Es-253. Orsaken torde vara att

antalet beräkningsoperationer ökar kraftigt. Handberäkningar visar att man inte behöver gå speciellt högt upp i kedjorna innan lösningen täcker ett par A3-ark.

I Oak Ridge har man gjort jämförelser mellan ORIGEN och programmet CITATION (14) ett diffusions-teoriprogram för hårdberäkningar. I den rapporten (14) finns jämförelser av resultat gjorda endast upp till Cm-244. Orsaken till att man ej gått högre upp är okänd, men kan vara att CITATIONs databibliotek ej sträcker sig längre.

Vi får den största avvikelser från CASMO för nukliderna från Cm-245 och upp till Es-253.

En italiensk undersökning (15), där man lagt till en option för känslighetsanalys med avseende på tvärsnitten och därvid döpt om ORIGEN till PERSEO visar att de känsligaste tvärsnitten är $\sigma_{n,\gamma}$ för Pu-241 och $\sigma_{n,\gamma}$ för Cm-245. Vårt prov med ändrade tvärsnitt för dessa nuklider i TEST 2 gav, som nämnts, positivt resultat.

Vi skall slutligen som kortast också beröra några saker som kan verka förbryllande i ORIGEN-resultaten. Den ringa mängden U-240 beror på att U-239 saknar (n, γ)-tvärsnitt i biblioteket. Enda källa är Pu-244.

Att mängden Np-240m är så liten beror på att det inte finns något (n, γ →m)-tvärsnitt för Np-239 i biblioteket.

En förbättring av programmet BEGAFIP vore att vid varje tidsstegs slut addera mängden YY-242 till Pu-242 och mängden XX-238 till Pu-238.

1980-12-14

Tabell 6

BENCHMARK-resultat
Nuklidmängder i g/kg HM

Nuklid	A = CASMO/CASMO-EXT		B = BEGAFIP/CASMO-EXT		C = ORIGEN/CASMO-EXT		
	CASMO	CASMO-EXT	BEGAFIP	ORIGEN	A	B	C
U-235	9.40	9.43	8.77	8.52	0.997	0.930	0.903
U-236	4.01	4.01	3.96	4.43	1.000	0.986	1.105
U-237			1.69,-2	1.36,-2			
U-238	940.83	940.73	944.7	942.0	1.000	1.004	1.001
U-239			6.89,-4	6.72,-4			
U-240			3.14,-8	1.73,-24			
Np-237	4.41,-1	4.56,-1	6.05,-1	5.15,-1	0.967	1.327	1.129
Np-238			2.45,-3	1.99,-3			
Np-239			9.93,-2	9.66,-2			
Np-240m			2.17,-7	1.49,-26			
Np-240			1.74,-6	3.89,-6			
Pu-238	1.53,-1	1.58,-1	2.01,-1	1.84,-1	0.968	1.272	1.165
Pu-239	6.48	6.50	5.51	5.82	0.997	0.848	0.895
Pu-240	2.33	2.35	2.34	2.16	0.991	0.996	0.919
Pu-241	1.58	1.57	1.52	1.11	1.006	0.968	0.707
Pu-242	4.44,-1	4.41,-1	4.62,-1	3.37,-1	1.007	1.040	0.764
Pu-243			1.82,-4	1.65,-4			
Am-241	3.90,-2	4.09,-2	3.89,-2	2.40,-2	0.954	0.951	0.587
Am-242m			6.72,-1	1.01,-3			
Am-242	1.64,-3	6.84,-4	1.08,-4	8.73,-5	2.398	0.158	0.128
Am-243	9.51,-2	9.97,-2	1.02,-1	9.36,-2	0.954	1.023	0.939
Am-244			7.28,-6	5.09,-6			
Cm-242	1.42,-2	1.32,-2	1.35,-2	1.10,-2	1.083	1.023	0.833
Cm-243		6.33,-4	3.55,-4	7.91,-5		0.560	0.125
Cm-244	2.75,-2	2.97,-2	3.23,-2	3.11,-2	0.926	1.088	1.047
Cm-245		1.12,-3	1.30,-3	2.18,-3		1.161	1.946
Cm-246		1.00,-4	1.44,-4	2.29,-4		1.440	2.290
Cm-247		8.14,-7	1.40,-6	3.11,-6		1.720	3.821
Cm-248		4.76,-8	8.81,-8	2.17,-7		1.851	4.559
Cm-249				3.05,-12			
Bk-249		7.10,-10	1.38,-9	2.64,-9		1.944	3.718
Bk-250			1.93,-12	2.27,-12			
Cf-249		8.57,-11	1.57,-10	2.88,-10		1.832	3.361
Cf-250		1.94,-10	4.03,-10	3.93,-10		2.077	2.026
Cf-251		7.53,-11	1.42,-10	2.09,-10		1.886	2.776
Cf-252		3.23,-11	6.58,-11	1.06,-10		2.037	3.282
Cf-253		4.59,-14	9.83,-14	2.42,-13		2.142	5.272
Es-253		3.26,-14	7.47,-14	2.75,-13		2.291	8.436

Tabell 7

Resultat vid TEST 1 och TEST 2
Nuklidmängder i g/kg HM

Nuklid	ORIGEN	C	TEST 1	C1	TEST 2	C2
U-235	8.52	0.903	7.58	0.804	8.51	0.902
U-236	4.43	1.105	3.98	0.993	4.43	1.105
U-237	1.36,-2		1.96,-2		1.35,-2	
U-238	942.0	1.001	942.0	1.001	942.0	1.001
U-239	6.72,-4		6.98,-4		6.72,-4	
U-240	1.73,-24		9.29,-25		1.24,-24	
Np-237	5.15,-1	1.129	7.71,-1	1.691	5.15,-1	1.129
Np-238	1.99,-3		2.69,-3		1.99,-3	
Np-239	9.66,-2		1.00,-1		9.66,-2	
Np-240m	1.49,-26		8.02,-27		1.07,-26	
Np-240	3.89,-6		4.20,-6		3,89,-6	
Pu-238	1.84,-1	1.165	2.33,-1	1.475	1.85,-1	1.171
Pu-239	5.82	0.895	7.05	1.085	5.82	0.895
Pu-240	2.16	0.919	2.32	0.987	2.16	0.919
Pu-241	1.11	0.707	1.16	0.739	1.17	0.745
Pu-242	3.37,-1	0.764	3.03,-1	0.687	2.96,-1	0.671
Pu-243	1.65,-4		1.45,-4		1.45,-4	
Am-241	2.40,-2	0.587	3.48,-2	0.851	2.51,-2	0.614
Am-242m	1.01,-3				1.05,-3	
Am-242	8.73,-5	0.128	7.83,-5	0.114	9.11,-5	0.133
Am-243	9.36,-2	0.939	7.48,-2	0.750	8.17,-2	0.819
Am-244	5.09,-6		4.57,-6		4.44,-6	
Cm-242	1.10,-2	0.833	8.33,-3	0.631	1.14,-2	0.864
Cm-243	7.91,-5	0.125	2.14,-4	0.338	8.19,-5	0.129
Cm-244	3.11,-2	1.047	2.75,-2	0.926	2.70,-2	0.909
Cm-245	2.18,-3	1.946	1.29,-3	1.152	1.91,-3	1.705
Cm-246	2.29,-4	2.290	1.45,-4	1.450	1.64,-4	1.640
Cm-247	3.11,-6	3.821	1.65,-6	2.027	2.22,-6	2.727
Cm-248	2.17,-7	4.559	1.22,-7	2.563	1.56,-7	3.277
Cm-249	3.05,-12		3.13,-12		9.23,-13	
Bk-249	2.64,-9	3.718	2.21,-9	3.113	7.96,-10	1.123
Bk-250	2.27,-12		3.49,-12		6.84,-13	
Cf-249	2.88,-10	3.361	2.17,-11	0.253	8.68,-11	1.013
Cf-250	3.93,-10	2.026	6.76,-10	3.485	1.18,-10	0.608
Cf-251	2.09,-10	2.776	3.93,-10	5.219	6.28,-11	0.834
Cf-252	1.06,-10	3.282	1.98,-10	6.130	3.19,-11	0.988
Cf-253	2.42,-13	5.272	4.43,-13	9.651	7.25,-14	1.580
Es-253	2.75,-13	8.436	4.85,-13	14.877	8.25,-14	2.531

1980-12-14

Tabell 8

Resultat vid TEST 3, TEST 4 och TEST 5
Nuklidmängder i g/kg HM

Nuklid	ORIGEN	TEST 3	C3	TEST 4	C4	TEST 5	C5
U-235	8.52	8.52	0.903	8.52	0.903	8.51	0.902
U-236	4.43	4.43	1.105	4.43	1.105	4.43	1.105
U-237	1.36,-2	1.36,-2		1.35,-2		1.35,-2	
U-238	942.0	942.0	1.001	942.0	1.001	942.0	1.001
U-239	6.72,-4	6.72,-4		6.73,-4		6.73,-4	
U-240	1.73,-24	1.73,-24		1.72,-24		1.73,-24	
Np-237	5.15,-1	5.15,-1	1.129	5.15,-1	1.129	5.16,-1	1.132
Np-238	1.99,-3	1.99,-3		1.99,-3		1.99,-3	
Np-239	9.66,-2	9.66,-2		9.66,-2		9.67,-2	
Np-240m	1.49,-26	1.49,-26		1.48,-26		1.49,-26	
Np-240	3.89,-6	3.89,-6		3.90,-6		3.90,-6	
Pu-238	1.84,-1	1.75,-1	1.107	1.75,-1	1.107	2.38,-1	1.506
Pu-239	5.82	5.82	0.895	5.82	0.895	5.80	0.892
Pu-240	2.16	2.16	0.919	2.16	0.919	2.15	0.915
Pu-241	1.11	1.11	0.707	1.11	0.707	1.11	0.707
Pu-242	3.37,-1	3.37,-1	0.764	3.34,-1	0.757	3.37,-1	0.764
Pu-243	1.65,-4	1.65,-4		1.64,-4		1.66,-4	
Am-241	2.40,-2	2.40,-2	0.587	2.40,-2	0.587	2.40,-2	0.587
Am-242m	1.01,-3	1.01,-3		1.01,-3		1.01,-3	
Am-242	8.73,-5	8.73,-5	0.128	8.73,-5	0.128	8.73,-5	0.128
Am-243	9.36,-2	9.36,-2	0.939	9.27,-2	0.930	9.37,-2	0.940
Am-244	5.09,-6	5.09,-6		5.03,-6		5.10,-6	
Cm-242	1.10,-2	1.10,-2	0.833	1.10,-2	0.833	1.10,-2	0.833
Cm-243	7.91,-5	7.91,-5	0.125	7.91,-5	0.125	7.92,-5	0.125
Cm-244	3.11,-2	3.11,-2	1.047	3.08,-2	1.037	3.12,-2	1.051
Cm-245	2.18,-3	2.18,-3	1.946	2.16,-3	1.929	2.18,-3	1.946
Cm-246	2.29,-4	2.29,-4	2.290	2.27,-4	2.270	2.29,-4	2.290
Cm-247	3.11,-6	3.11,-6	3.821	3.09,-6	3.796	3.12,-6	3.833
Cm-248	2.17,-7	2.17,-7	4.559	2.15,-7	4.517	2.18,-7	4.580
Cm-249	3.05,-12	3.05,-12		3.03,-12		3.07,-12	
Bk-249	2.64,-9	2.64,-9	3.718	2.62,-9	3.690	2.65,-9	3.732
Bk-250	2.27,-12	2.27,-12		2.25,-12		2.28,-12	
Cf-249	2.88,-10	2.88,-10	3.361	2.87,-10	3.349	2.89,-10	3.372
Cf-250	3.93,-10	3.93,-10	2.026	3.91,-10	2.015	3.95,-10	2.036
Cf-251	2.09,-10	2.09,-10	2.776	2.08,-10	2.762	2.10,-10	2.789
Cf-252	1.06,-10	1.06,-10	3.282	1.06,-10	3.282	1.07,-10	3.313
Cf-253	2.42,-13	2.42,-13	5.272	2.41,-13	5.251	2.43,-13	5.294
Es-253	2.75,-13	2.75,-13	8.436	2.74,-13	8.405	2.77,-13	8.497

1980-12-14

Tabell 3

Tabellen redovisar kvoter mellan nyinsatta och utbytta fissionsutbyten. Asterisker markerar att gamla värdet är noll. Detta utesluter givetvis ej att även nya värdet kan vara noll.

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
ZN 72	.996	.894	.977	.633
GA 72	1.12	.403	.644	1.31
GE 72	1.50	.265	.626	*****
ZN 73	1.07	1.08	.990	1.04
GA 73	.279	.182	.764	.470
GE 73	.111	.365E-01	.630	.399
GA 74	.995	.950	.984	.739
GE 74	1.16	.361	.721	1.73
GA 75	.992	.960	.983	.541
GE 75M	1.87	.710	1.25	1.63
GE 75	.279	.107	.187	.222
AS 75	1.11	.266	.631	.947
GE 76	1.01	.948	.984	.985
AS 76	.990	.317	.595	1.63
SE 76	1.25	.201	.576	*****
GE 77M	.952	.943	.962	.910
GE 77	1.18	1.09	1.16	.989
AS 77	.625	.441	.703	2.03
SE 77M	2.38	.439	1.01	5.66
SE 77	.708E-01	.655E-01	.151	.772
GE 78	1.17	1.18	1.18	1.30
AS 78	.982	.458	.834	1.54
SE 78	1.44	.248	.814	2.99
AS 79	.856	.986	.933	2.15
SE 79M	.203	.769E-01	.167	.647
SE 79	1.36	.514	1.12	4.75
RR 79	.905	.161	.580	2.43
SE 80	1.02	.974	.902	1.40
RR 80M	.160	.346	.762	1.41
RR 80	.434E-01	.230	.247	.415
KR 80	.105E-01	.840E-01	0.	*****
SE 81M	.893	2.08	1.34	2.63
SE 81	.905	.937	.989	1.13
RR 81	1.00	.246	.672	1.15
KR 81	1.03	.116	.539	1.47
SE 82	.948	.957	1.16	.944
RR 82M	.193	1.59	.457	.417
BR 82	.711	.697	1.07	1.13
KR 82	2.16	.737	.742	1.30
SE 83M	.771	.742	.921	.928
SE 83	1.34	1.38	1.23	1.03
BR 83	3.99	.490	.774	.784
KR 83M	.466	.889E-01	.232	.528
KR 83	1.99	.431	1.09	2.58

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
SE 84	1.00	1.07	1.07	1.09
BR 84M	1.29	.601	.782	.770
BR 84	1.16	.601	.783	.770
KR 84	1.14	.384	.356E-01	1.18
BR 85	1.01	1.04	1.01	.687
KR 85M	.861E-01	.201	.298	.337
KR 85	1.85	.704	1.16	1.64
RB 85	.300E-01	.356	.685	2.68
KR 86	1.01	1.00	1.05	1.07
RB 86M	0.	0.	0.	0.
RB 86	.477	.581	1.28	1.90
SR 86	1.37	.337	.626	1.44
KR 87	.991	1.04	1.05	.900
RB 87	11.3	.711	.791	2.29
SR 87M	.536	.215	.242	1.94
SR 87	2.05	.820	1.06	3.66
KR 88	.991	.997	1.06	.997
RB 88	2.01	1.00	.779	1.89
SR 88	1.45	.869	.765	4.85
KR 89	.984	.989	1.04	1.00
RB 89	1.45	1.07	.918	1.26
SR 89	11.0	.726	.764	4.45
Y 89M	2.55	1.07	1.07	10.0
Y 89	.600	.173	.252	2.05
RB 90	.952	.895	.974	.992
SR 90	1.24	1.29	1.22	1.13
Y 90M	0.	0.	0.	0.
Y 90	.188	1.20	1.29	5.73
ZR 90	1.52	.500	.627	*****
RB 91	.988	.999	1.04	1.03
SR 91	1.51	1.04	.835	1.77
Y 91M	0.	0.	0.	0.
Y 91	2.46	.420	.825	1.14
ZR 91	1.34	.328E-02	.258E-02	4.46
SR 92	.994	1.00	1.05	1.10
Y 92	6.92	.738	.756	.375
ZR 92	.100E+04	.658	.738E-03	.115E-03
SR 93	.997	1.00	1.05	1.06
Y 93	1.35	.915	.949	1.70
ZR 93	1.26	.789	.793	2.81
NB 93M	.470	.293	.261	1.10
NB 93	2.14	1.25	1.12	5.34
SR 94	1.00	1.02	1.06	1.05
Y 94	.985	.880	.823	.681
ZR 94	7.16	.882	.815	1.94
NB 94M	.839	.638	.494	1.12
NB 94	1.20	.918	.714	1.88
MO 94	1.30	.755	.590	*****
Y 95	.999	.996	1.04	.963
ZR 95	2.61	.934	.786	1.65
NB 95M	.169	.145	.250	.553
NB 95	3.67	.621	1.07	2.60

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
MO 95	1.16	.586	.545	.262E-02
Y 96	1.01	.985	1.05	1.09
ZR 96	.976	1.11	.995	2.72
NB 96	.946	.962	.992	1.36
MO 96	1.26	1.18	.638	2.67
ZR 97	.998	.963	1.04	1.02
NB 97M	.434	.953	.291	.300
NB 97	1.00	.774	1.24	.245E-01
MO 97	1.44	1.21	.631	1.34
NB 98M	1.00	1.01	.995	1.05
NR 98	.440	.426	.725	1.43
MO 98	1.39	1.32	.706	2.41
NB 99	.943	.917	.993	.985
MO 99	1.12	1.18	1.06	1.00
TC 99M	.503	.564	.225	.543
TC 99	2.14	2.40	.958	2.66
RU 99	1.48	1.56	.487	0.
NB100	.977	.975	.993	1.08
NB100M	.977	.975	.993	1.08
MO100	1.59	.970	.778	1.64
TC100	.913	.908	.579	1.15
RU100	1.12	.940	.563	2.05
MO101	1.01	.996	1.01	.927
TC101	1.44	.884	.690	.796
RU101	1.72	.747	.570	.943
MO102	1.01	.991	1.01	.934
TC102	1.24	1.05	.663	.763
TC102M	1.24	1.05	.658	.867
RU102	1.77	1.15	.649	1.28
TC103	.970	.994	.936	.980
RU103	1.10	.919	.591	.781
RH103M	2.01	1.72	.941	1.05
PH103	.300	.257	.140	.144
MO104	1.01	1.01	1.01	.922
TC104	.946	.811	.754	.499
RU104	1.12	.658	.741	.638
RH104M	1.37	.793	.824	.500
PH104	.439	.260	.289	.147
PD104	1.09	.468	0.	*****
TC105	.981	.993	.964	.933
RU105	1.01	.659	.699	.540
RH105M	.262	.142	.113	.160
RH105	1.76	.952	.411	1.18
PD105	.971	.423	.554E-03	.241E-03
RU106	1.03	1.00	1.02	.900
RH106	24.9	.311	.609	.972
RH106M	24.8	.486	.609	.975
PD106	109.	.607	.595	1.79
RU107	.809	1.05	.990	1.03
RH107	24.1	.453	.665	2.65
PD107M	109.	.741	.766	7.02
PD107	55.0	.192	.374	2.94

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
AG107	*****	.217	.402	*****
RU108	.892	.950	.996	.969
RH108	23.0	3.89	1.39	389.
PD108	.134	.373E-01	.442E-02	.628
AG108	504.	12.5	.948	*****
CD108	*****	*****	*****	*****
PD109M	1.12	1.33	.906	.915
PD109	1.12	1.32	.906	.915
AG109M	0.	0.	0.	*****
AG109	127.	280.	1.09	*****
CD109	*****	596.	.401	*****
PD110	1.30	.961	.987	.998
AG110M	41.2	37.0	.808	.242E+04
AG110	16.7	17.6	.384	824.
CD110	*****	103.	.564	*****
PD111M	3.05	4.09	1.11	1.42
PD111	1.05	1.06	1.13	.996
AG111M	11.5	20.8	1.34	986.
AG111	1.73	3.11	.195	122.
CD111M	23.0	53.9	1.08	*****
CD111	6.33	15.0	.301	*****
PD112	1.26	1.24	.831	1.25
AG112	1.63	7.39	.693	51.1
CD112	.910E-05	24.6	.719	*****
PD113	1.31	.823	.949	1.10
AG113M	4.68	4.42	1.48	24.8
AG113	.684	.657	.220	3.39
CD113M	.145E-02	7.22	1.19	80.1
CD113	1.87	2.15	.355	21.3
IN113	*****	10.8	.755	*****
PD114	1.20	1.26	.988	.929
AG114	1.42	2.30	.826	4.05
CD114	2.07	4.03	.887	14.5
IN114M	1.94	6.99	.763	*****
IN114	2.01	6.77	.742	*****
SN114	*****	*****	*****	*****
AG115	1.05	.975	.988	.815
CD115M	1.06	1.08	.988	.819
CD115	1.04	1.05	.985	.819
IN115M	.583	1.62	.321	4.28
IN115	2.49	3.20	1.37	20.9
SN115	*****	.302E-01	*****	*****
AG116	1.54	1.40	.978	1.08
CD116	1.54	1.44	.977	1.08
IN116M	1.64	4.83	.722	4.69
IN116	1.64	4.83	.722	4.73
SN116	2.14	8.40	.772	*****
AG117	1.02	1.57	.989	1.01
CD117M	1.03	1.84	1.00	1.01
CD117	.949	1.54	.970	1.01
IN117M	.102	1.80	.322	1.14
IN117	1.14	7.68	1.37	5.48

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
SN117	.276E-03	7.24	.787	*****
CD118	.932	1.07	.977	1.07
IN118	2.09	4.08	1.56	3.78
SN118	.185E-02	.773E-02	.837E-03	.787E-03
CD119M	1.04	1.10	.863	.978
CD119	1.04	1.10	.863	.978
IN119M	.283	.578	19.6	.553
IN119	1.20	2.48	83.6	2.70
SN119M	.948	2.61	.137E+04	10.1
SN119	.284	.782	410.	2.68
SN120	.985	1.04	1.04	.977
IN121M	.791	.866	.971	1.16
IN121	1.07	1.10	1.04	1.17
SN121M	.709	2.60	1.22	3.27
SN121	.292	.537	.500	1.15
SB121	.134E-03	.112E-01	.832	2.26
SN122	1.10	1.31	1.06	.975
SB122M	.417	.882	.827	1.49
SB122	.361	.827	.770	1.08
TE122	.347	.737	*****	*****
SN123	.341	.318	.260	.235
SN123M	1.53	1.66	1.80	1.71
SB123	.842	1.30	.883	3.65
TE123M	1.25	2.04	1.23	*****
TE123	.387	.640	.381	*****
SN124	1.13	1.58	1.06	.975
SB124M	0.	0.	0.	0.
SB124A	*****	*****	*****	*****
SB124	2.12	1.11	.819	.944
TE124	.263	.985	.864	1.68
SN125M	1.05	.995	.624	.941
SN125	.902	.709	2.23	.964
SB125	.249	.873	129.	1.03
TE125M	.218	1.45	.358E+04	2.12
TE125	.652E-01	.434	.107E+04	.565
SN126	.958	1.36	1.04	.885
SB126M	.401	.993	1.06	.684
SB126	.112	.583	.622	.494
TE126	.154	.643	.883	.900
SN127	1.27	1.27	1.60	.973
SN127M	.415	.561	.850	.955
SB127	1.18	.773	1.27	.468
TE127M	.134	.723	1.37	.865
TE127	.157	.295	.559	.305
I127	.112	.392	.897	.402
SN128	.998	.921	1.05	.908
SB128	.994	.729	.587	.334
SB128M	.994	.674	1.04	.461
TE128	.994	.441	.812	.437
I128	.811E-01	.828	.592	.176
XE128	.657E-04	.247E-03	*****	*****
SN129M	1.20	1.02	1.02	.915

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
SN129	1.12	1.03	1.02	.919
SB129	1.10	.936	.901	.473
TE129M	.268	1.02	1.07	.299E-01
TE129	.101	.416	.436	.192
I129	1.03	.647	.659	.193
XE129M	0.	0.	0.	0.
XE129	.535E-01	.967	1.09	0.
SN130	1.27	.741	1.11	1.02
SB130M	1.12	.933	1.04	1.90
SB130	1.15	1.08	.612	1.38
TE130	1.24	1.90	.800	5.34
I130	.818	.884	.552	6.84
XE130	273.	129.	133.	.147E+05
SN131	.894	.708	1.05	.898
SB131	1.11	.916	.837	1.36
TE131M	1.15	2.16	1.04	4.73
TE131	.701	1.04	.415	1.53
I131	1.01	3.09	.604	4.58
XE131M	2.67	8.79	.598	6.11
XE131	1.09	3.59	.245	.161E-04
SN132	.872	1.64	1.19	.993
SB132	1.85	2.27	1.72	1.81
TE132	.640	.594	.456	.380
I132	.810	1.54	.593	2.01
XE132	.211E-01	2.68	.547	4.72
SB133	1.06	1.02	1.17	.944
TE133M	.952	1.21	1.33	2.31
TE133	1.06	.753	.542	.805
I133	.570	1.03	.794	1.77
XE133M	1.05	1.14	.796	122.
XE133	.223	1.15	.325	42.3
CS133	.277E-03	2.99	.480	.483
TE134	1.02	1.08	.969	1.06
I134	.975	.886	.703	1.26
XE134	1.29	2.19	.644	1.75
CS134M	0.	0.	0.	0.
CS134	1.25	5.99	.925	5.03
BA134	.195	4.61	.424	5.76
TE135	.984	1.36	1.08	.987
I135	.982	.888	.953	1.40
XE135M	1.49	1.16	1.46	3.94
XE135	.629	.800	.598	1.32
CS135	1.92	2.48	.725	4.42
BA135M	0.	0.	0.	0.
BA135	3.07	6.36	1.04	.359
I136	1.09	.772	.948	1.02
XE136	.931	1.15	.899	1.60
CS136	1.04	.771	.863	1.07
BA136	1.42	2.66	.824	2.92
XE137	.989	.968	1.04	.953
CS137	1.21	1.44	.882	2.36
BA137M	1.88	3.87	.985	6.70

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
BA137	.766	1.58	.402	2.36
XE138	1.02	1.05	1.07	.937
CS138	.552	1.18	.940	.680
BA138	.684	1.33	.787	2.80
CS139	.984	1.03	.971	.983
BA139	1.03	.615	.765	3.78
LA139	1.15	4.81	.648	1.15
CS140	.969	.940	.996	.983
PA140	1.33	1.30	2.06	3.16
LA140	.965	1.14	.210	3.15
CE140	1.35	4.93	.561	.377
BA141	.985	.968	1.03	1.00
LA141	.982	3.01	.739	2.44
CE141	1.20	5.37	.349	4.05
PR141	1.31	12.4	.484	*****
BA142	.991	.956	1.05	.954
LA142	.973	2.21	.754	2.35
CE142	1.33	5.30	.718	7.10
PR142M	0.	0.	0.	0.
PR142	2.49	21.2	1.03	16.5
ND142	1.68	24.0	*****	*****
LA143	.995	.965	1.04	.962
CE143	.987	3.43	.693	6.26
PR143	1.14	5.34	.757E-01	1.63
ND143	1.33	11.5	.343	*****
CE144	1.00	.975	1.05	.958
PR144	.870	1.36	.560	1.44
ND144	.907E-05	.528	.540	.265E-02
CE145	.994	.970	1.05	.964
PR145	1.17	4.42	.688	7.00
ND145	1.27	10.1	.550	16.2
CE146	.993	.959	1.05	.957
PR146	.980	3.33	.690	5.68
ND146	1.28	7.94	.656	21.0
CE147	.983	.921	1.06	1.03
PR147	1.13	2.85	.828	6.88
ND147	1.22	6.31	.612	13.4
PM147	1.43	12.2	.569	48.0
SM147	*****	41.2	*****	*****
PR148	.988	.955	1.04	.954
ND148	1.26	4.92	.751	17.8
PM148M	.642E-02	16.9	.757	47.8
PM148	.642E-03	7.21	.325	17.7
SM148	1.57	33.5	.512	*****
ND149	.975	.981	1.05	.919
PM149	1.01	6.73	.674	4.84
SM149	.649	22.5	.527	10.1
ND150	1.00	.971	1.05	.941
PM150	.552E-01	.676	.641	2.42
SM150	1.16	14.0	.604	6.26
ND151	.992	.974	1.05	.930
PM151	.928	3.15	.755	1.55

1980-12-14

Tabell 3, forts

NUKLID	U-235	PU-239	PU-241	U-238
SM151	1.08	5.54	.580	2.32
EU151	.339E-05	15.9	.516	*****
PM152	.985	.955	1.06	.897
SM152	.922	2.01	.758	89.1
EU152M	.953	7.58	.561	.709E+05
EU152	.953	7.58	.561	.709E+05
GD152	*****	17.3	*****	*****
SM153	.988	.973	1.05	.963
EU153	.177E-02	6.24	.596	5.17
GD153	.757	12.2	.500	*****
PM154	.988	.879	1.08	.931
SM154	.911	1.42	.834	1.17
EU154	.957	3.91	.583	2.92
GD154	1.22	7.67	.552	*****
SM155	.962	.965	1.07	.977
EU155	.969	2.40	.691	2.70
GD155	.982	3.50	.559	4.94
SM156	.969	.978	1.05	.950
EU156	.759	2.11	.406	2.25
GD156	.967	3.74	.660	4.90
EU157	.936	.970	1.06	.992
GD157	.928E-01	3.77	.644	7.89
EU158	.881	.983	1.04	1.01
GD158	.898	3.42	.706	10.0
EU159	.954	.943	1.05	1.01
GD159	.877	3.44	.739	10.4
TB159	.861	.872E-01	.629	28.1
EU160	.765	.877	1.04	1.07
GD160	3.96	3.77	.809	16.7
JB160	.759	10.4	.589	38.5
DY160	*****	33.0	.557	*****
GD161	.968	.960	1.05	.861
TB161	1.05	9.62	.722	12.4
DY161	1.11	31.6	.541	*****
GD162	.643	.963	1.04	.988
TB162M	.644	1.88	.710	1.88
TB162	.647	1.88	.712	1.88
DY162	.846	3.40	.662	4.56
TB163M	0.	0.	0.	0.
TB163	1.49	1.96	2.07	1.98
DY163	.863	2.68	.655	3.41
TB164	.838	.967	1.04	.987
DY164	1.00	2.33	.744	3.06
DY165M	.807	.903	1.02	.984
DY165	.857	1.07	1.04	.987
H0165	.986	3.36	.658	2.95
DY166	1.13	.988	1.03	.987
H0166M	2.12	3.45	.907	3.04
H0166	.292	1.48	.389	1.13
ER166	.476E-03	4.53	.595	*****

REFERENSFÖRTECKNING

1. BAILEY, H S et al
Neutron Shielding Problems in High Burnup Thermal Reactor Fuel Shipping. ANS Trans, Vol 12, No 2, pp 448 - 449 (1969).
2. BAILEY, H S et al
Neutron Shielding Problems in the Shipping of High Burnup Thermal Reactor Fuel. Nucl Techn, Vol 17, pp 217 - 224 (March 1973).
3. DEVILLERS, C and BLUM, P
Neutron Multiplication and Shielding Problems in PWR Spent Fuel Shipping Casks. Nucl Tech, Vol 35, pp 112 - 118 (Mid-August 1977).
4. ELKERT, J et al
BEGAFIP - Ett program för beräkning av klyvningsprodukternas aktivitet, beta- och gammaeffekter. AB Atomenergi. (Intern rapport RF-72-374. 1972.
5. BAIR, J K and GOMEZ del CAMPO, J
Neutron Yields from Alpha-Particle Bombardement. Nucl Sci Eng, Vol 71, pp 18 - 28 (1979).
6. LEDERER, C M and SHIRLEY, V S (editors)
Table of Isotopes, 7th edition. J Wiley & Sons, Inc, New York (1978).
7. RYTZ, A
Catalogue of Recommended Alpha Energy and Intensity Values. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 12, pp 479 - 498 (1973).
8. EWBANK, W B et al
Spontaneous Fission Activities. Nuclear Data Sheets 26, 1 (1979).
9. EKBERG, K och OLSSON, G
Uppdatering av BEGAFIP. Studsvik Energiteknik AB. STUDSVIK/RF-77/2268. 1977.
10. CROFF, A G
ORIGEN2 - A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code. ORNL-5621 (July 1980).

1980-12-14

11. RIDER, B F and MEEK, M E
Compilation of Fission Product Yields.
NEDO-12154-2(E). (1978).
12. MEEK, M E and RIDER, B F
Compilation of Fission Product Yields.
NEDO-12154-1. (1974).
13. JOHANSSON, E
Amount and activity of heavy nuclides
from Sweden's 12 first LWRs with or
without plutonium recycling.
SKI project B28/79.
STUDSVIK/K2-79/230.
14. CROFF, A G and BJERKE, M A
Revised Uranium-Plutonium Cycle PWR
and BWR for the Origen Computer Code.
ORNL/TM-6051, 1980.
15. MENAPACE, E, OLIVIA, G and TONDINELLI, L
Preliminary sensitivity studies for
trans-curium isotope build up in thermal
reactors.
Proceedings. First Technical Meeting on
the Nuclear Transmutation of Actinids.
(Ispra, March 1977).

SCHEMATISK SAMMANSTÄLLNING AV
FISSIONSPRODUKTERNAS SLÄKTSKAPS-
FÖRHÅLLANDEN I BEGAFIPS DATABIBLIOTEK

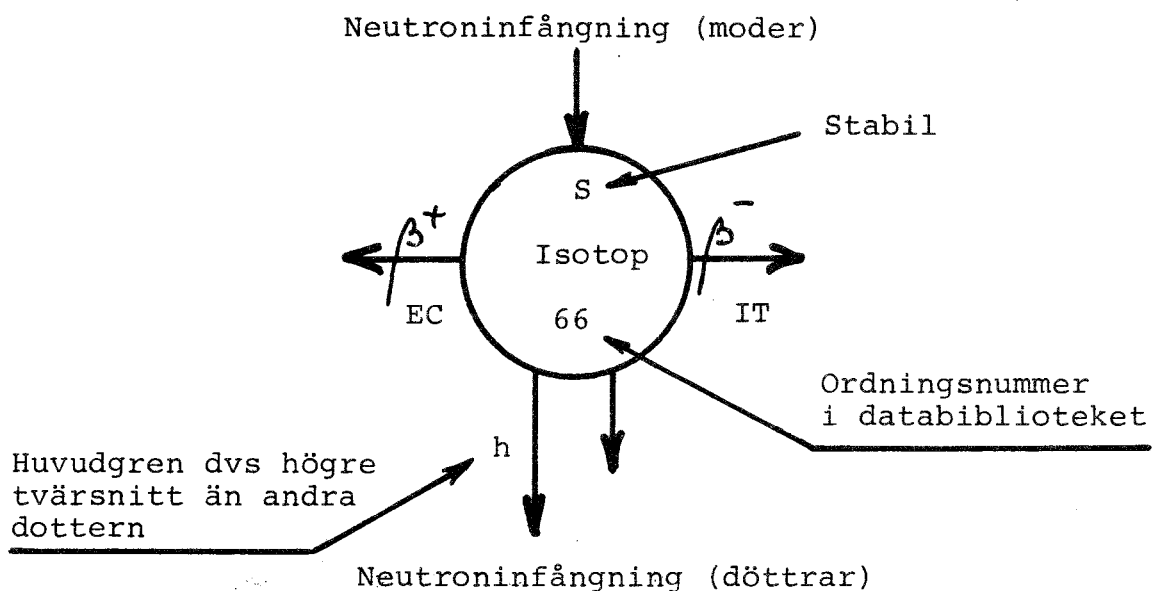
Såväl programmet BEGAFIP som dess databibliotek ligger lagrade på skivminne vid Studsvik Energitekniks CYBER-dator.

En aktuell utskrift av databiblioteket kan följaktligen tas fram närhelst man så önskar. Släktskapsförhållandena nukliderna emellan utgör en av alla detaljuppgifter i detta bibliotek.

Presentationsformen, även om den i utskriften är redigerad för ökad läsbarhet, är i första hand datoranpassad. När man läser släktskapslistan är det svårt att få en överskådlig bild av sammanhangen.

Vid utvärderingar av fissionsproduktdata har man emellertid ofta behov av att ha denna bild klar framför sig. Detta appendix visar i figurform släktskapsförhållandena mellan samtliga 414 fissionsprodukter (inklusive 8 hjälpnuklider).

Nedanstående figur beskriver hur uppställningen har arrangerats.



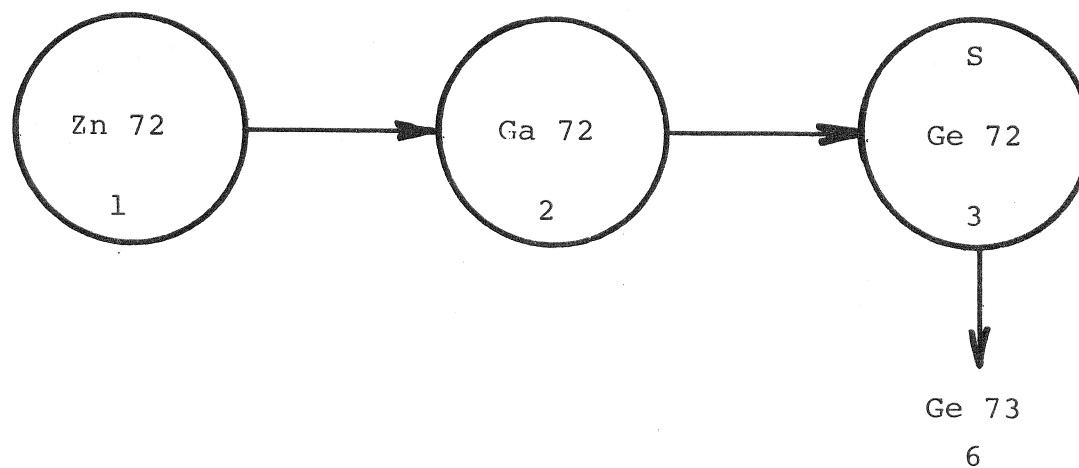
Fissionsprodukterna är sammankopplade genom betasönderfall i kedjor vars längd sträcker sig från två till åtta isotoper/isomerer. Dessa kedjor är sinsemellan sammankopplade genom neutroninfångningar. Teoretiskt är på så sätt samtliga fissionsprodukter kopplade till varandra.

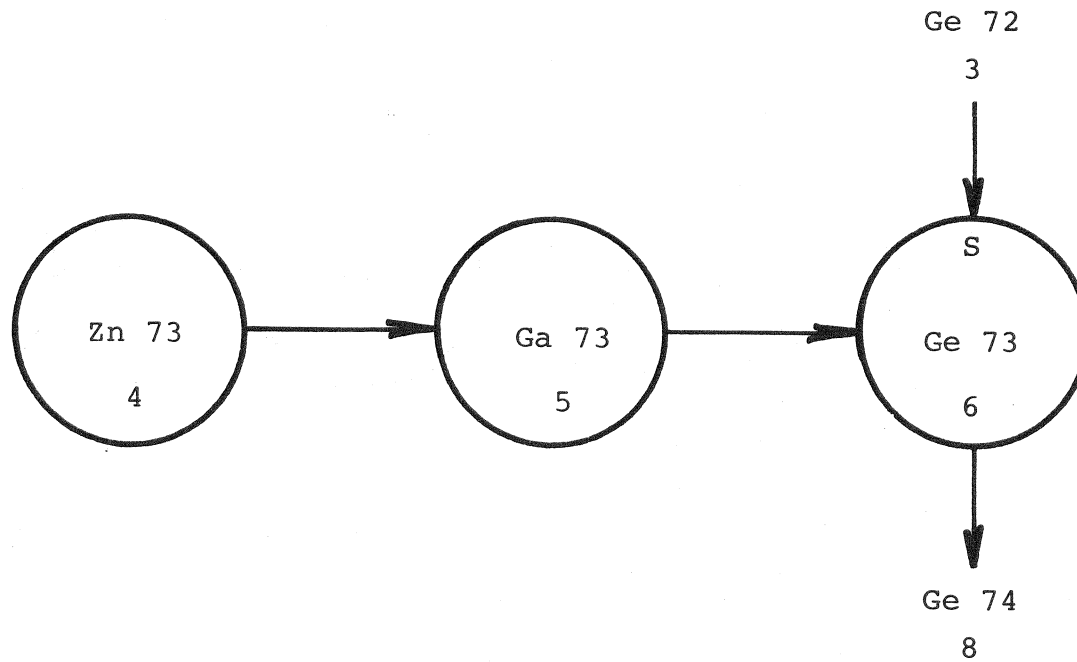
Av praktiska skäl måste man bryta upp denna 414 nuklider stora kedja i ett antal mindre. Brytningarna har gjorts där bindningarna (genom neutroninfångningar) är svaga. På så sätt består fissionsprodukt delen av 8 delkedjor.

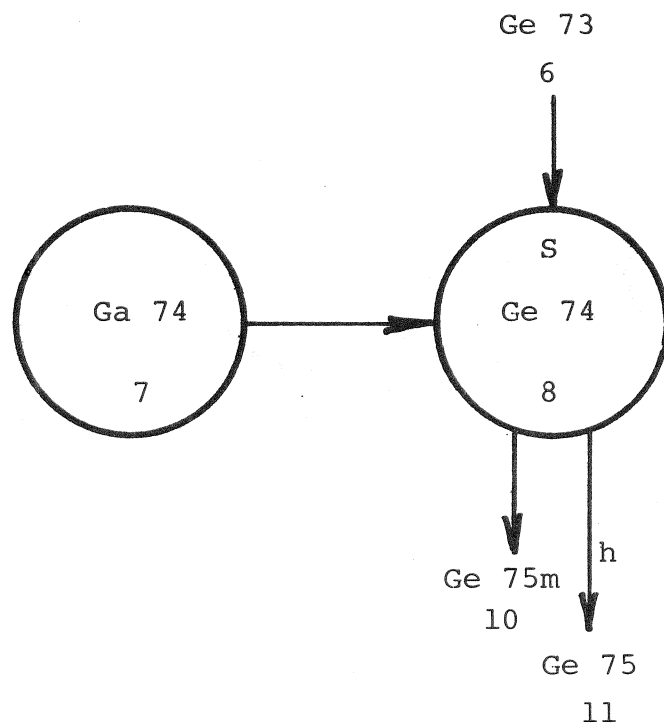
Två isotopbeteckningar är ej konventionella och måste därför förklaras:

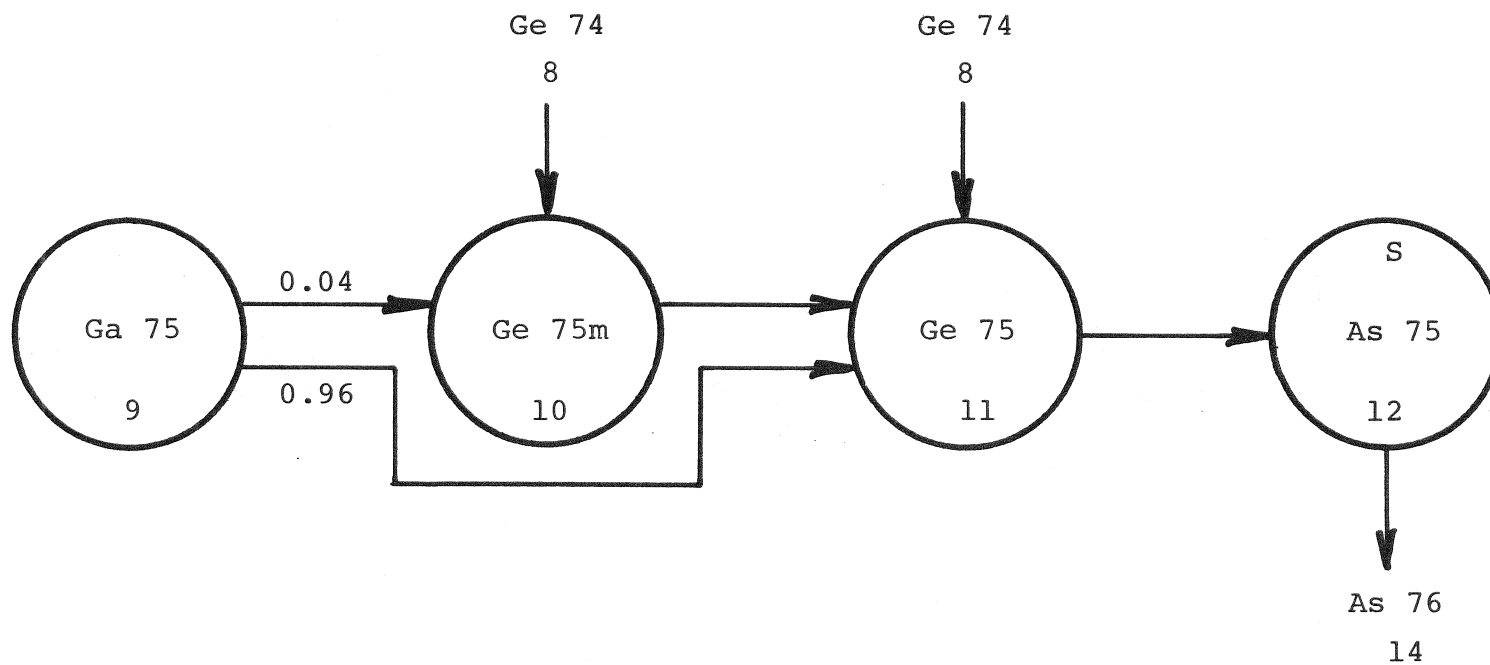
Kemiska tecknet för hjälpnukliderna utgörs av två lika bokstäver AA, BB, ---, HH.

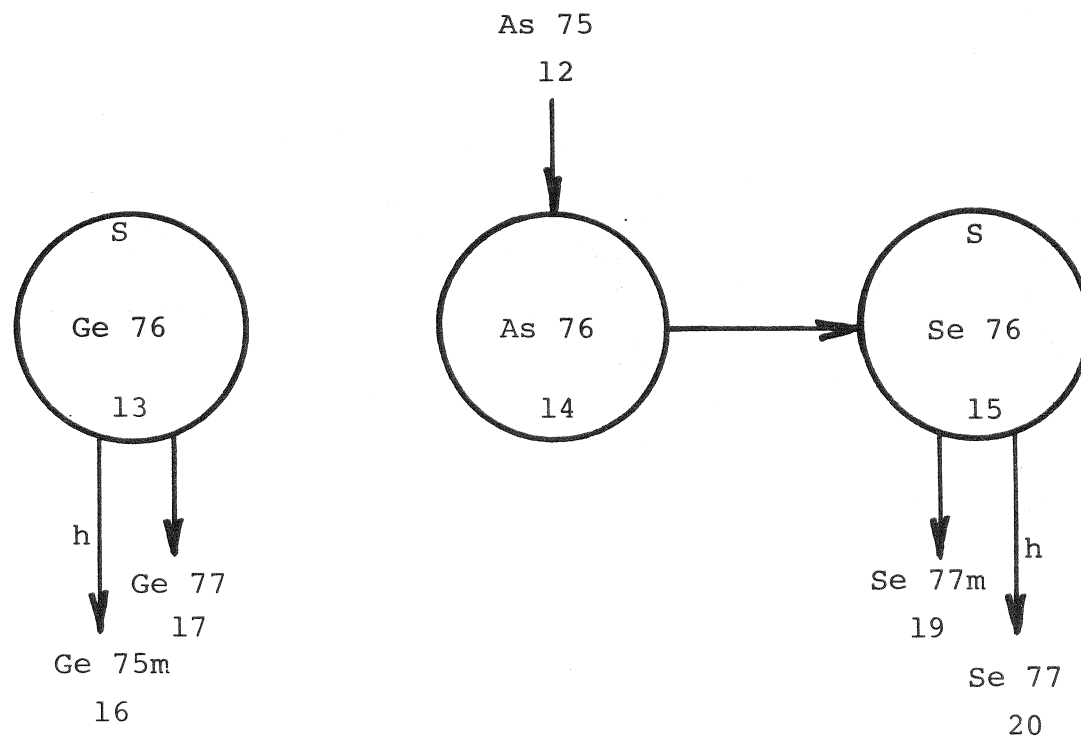
Sb 124 har två metastabila tillstånd. Det ena betecknas, som vanligt, med ett M, det andra med ett A.

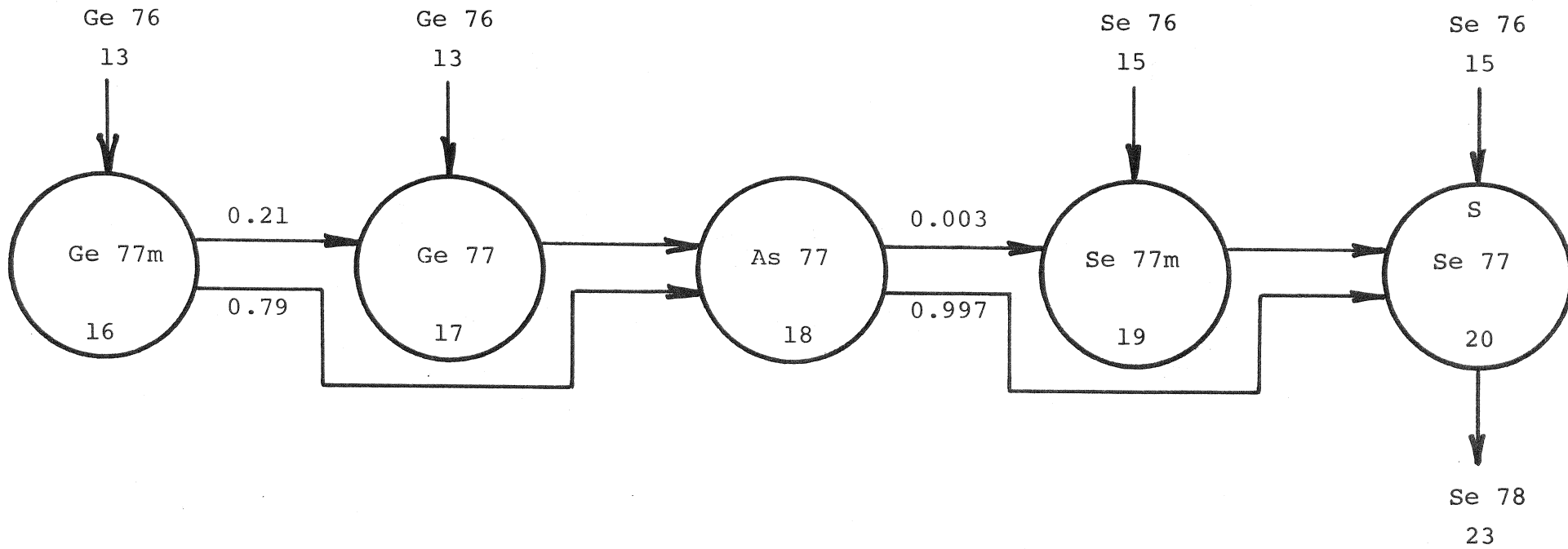


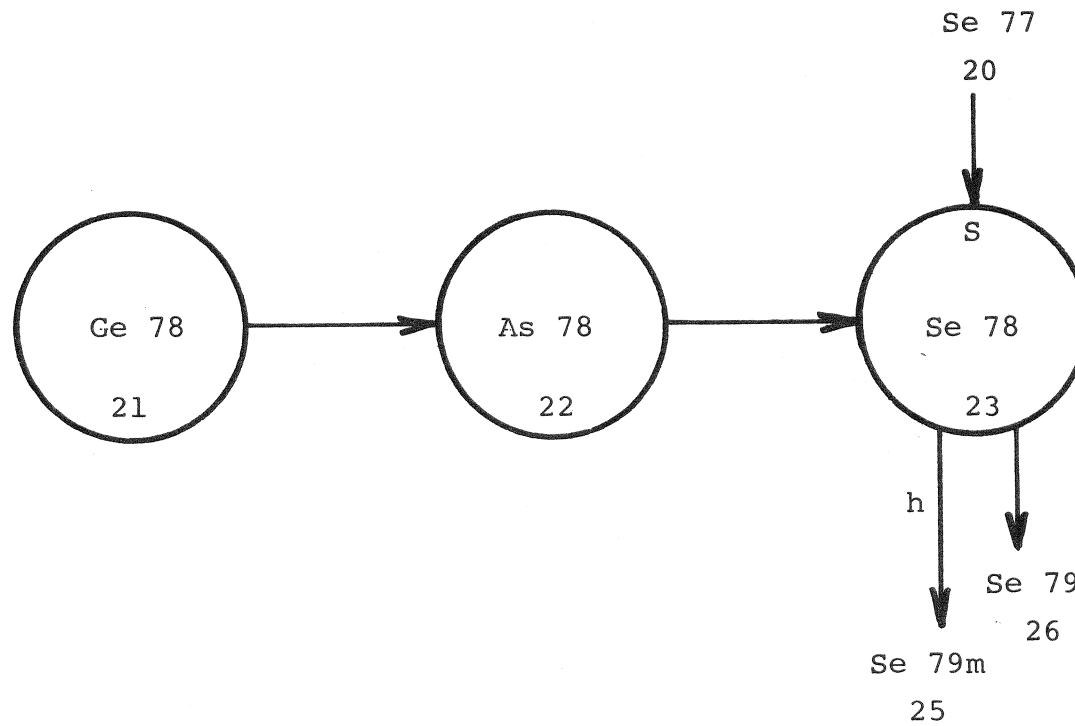


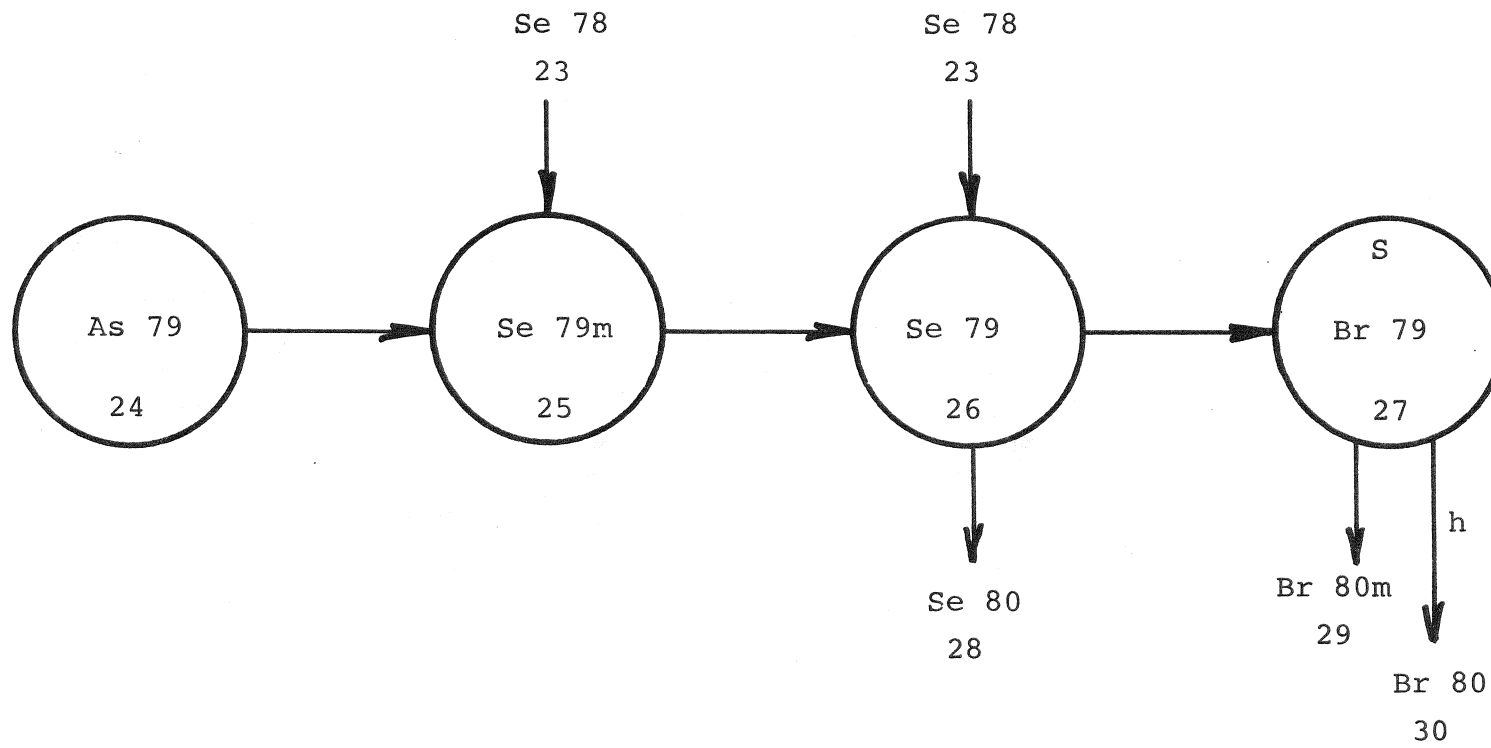


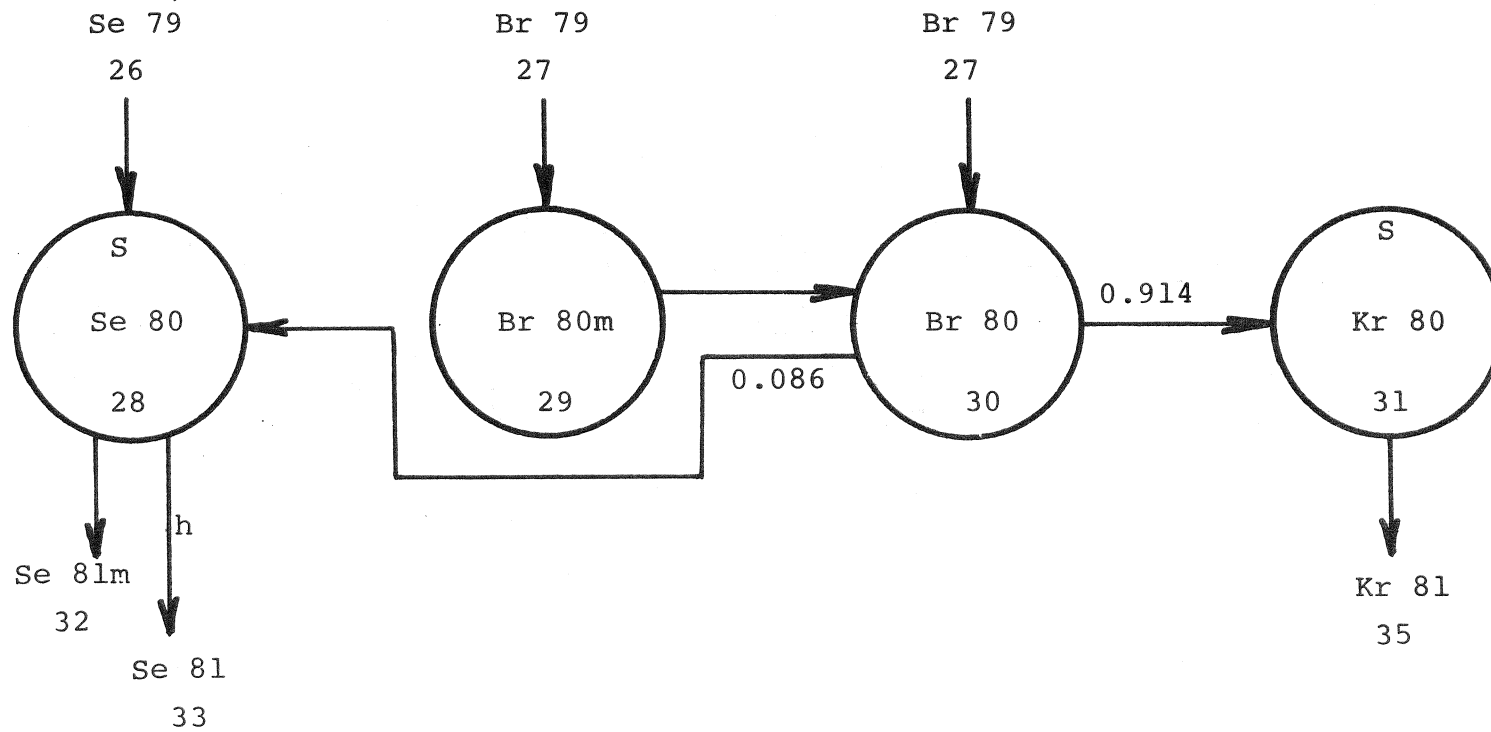






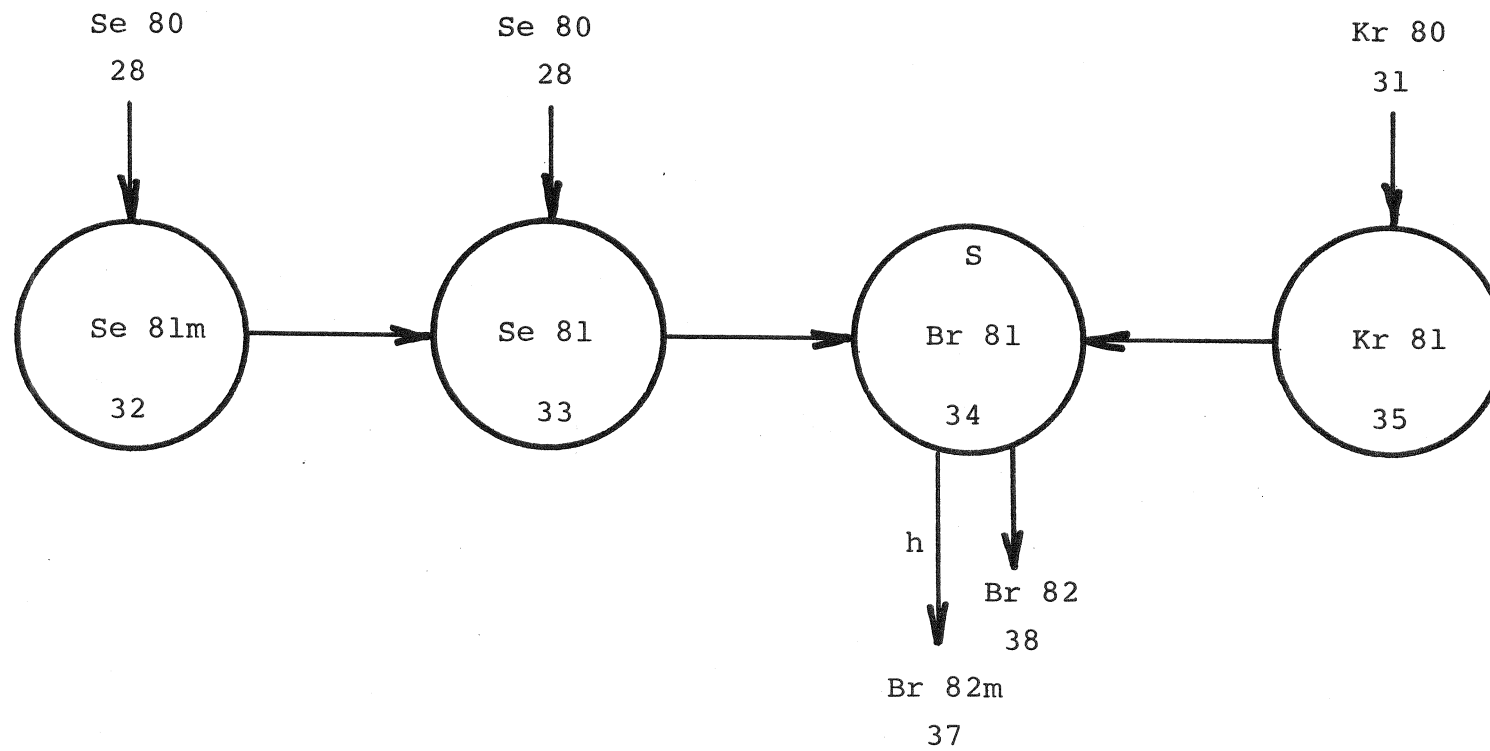


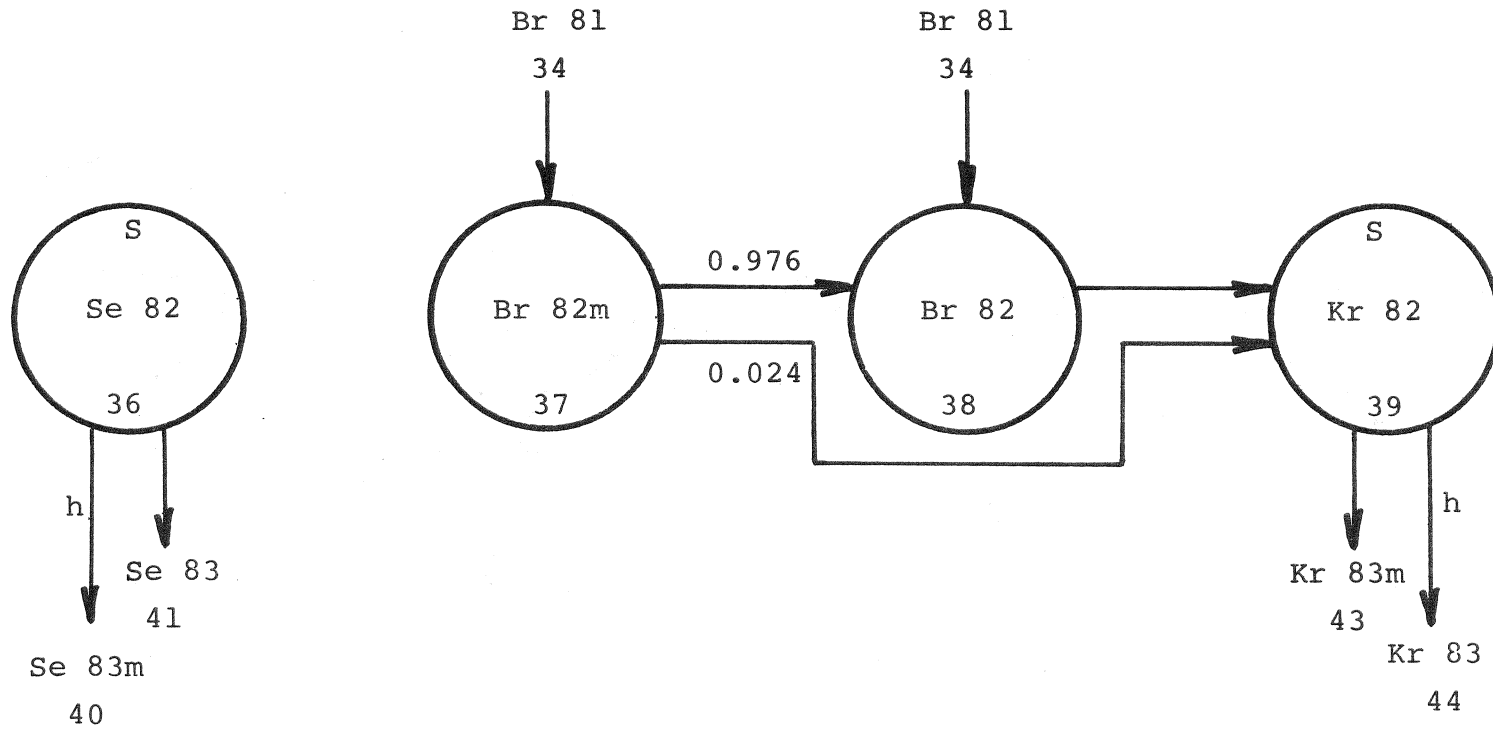


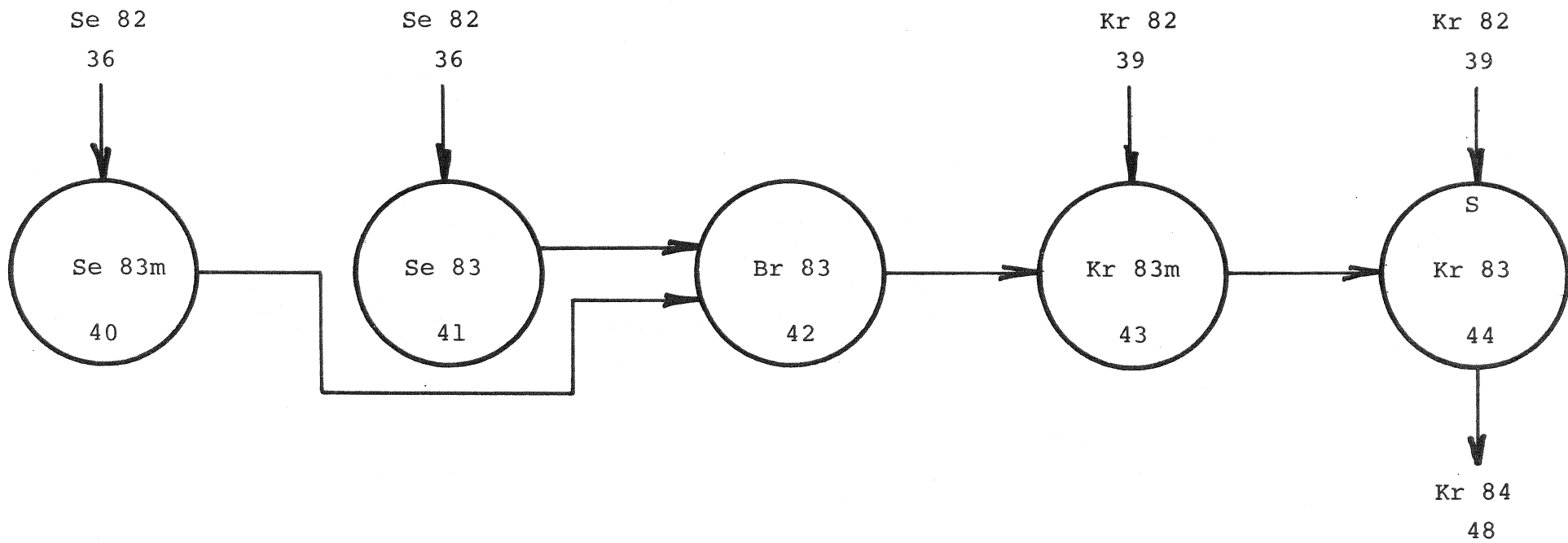


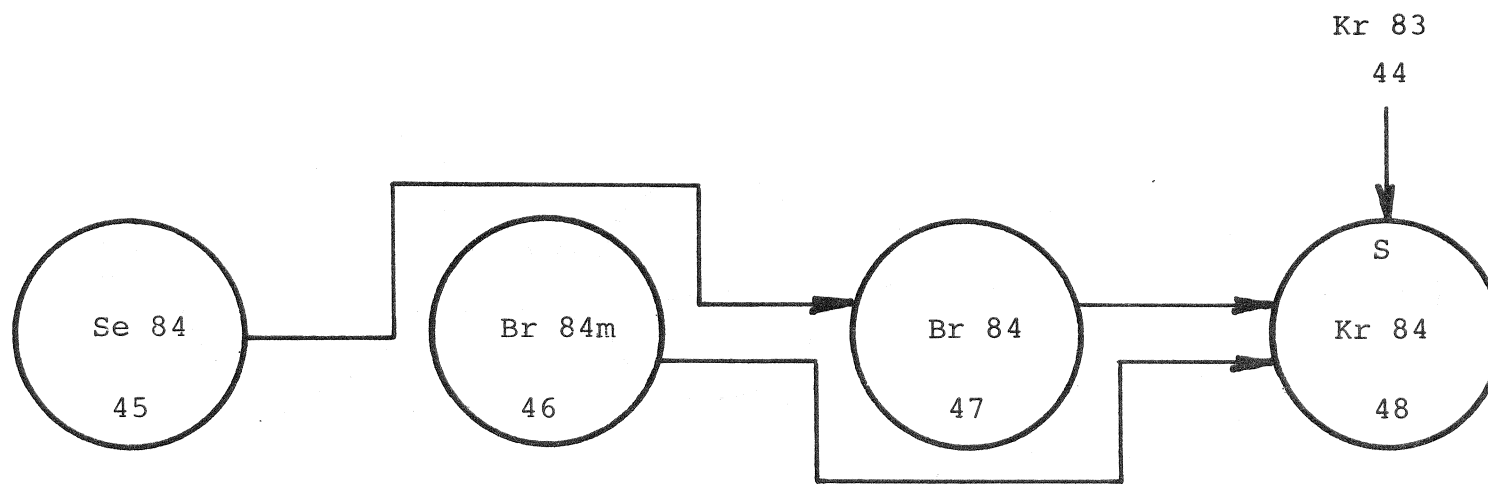
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdelen

A=81

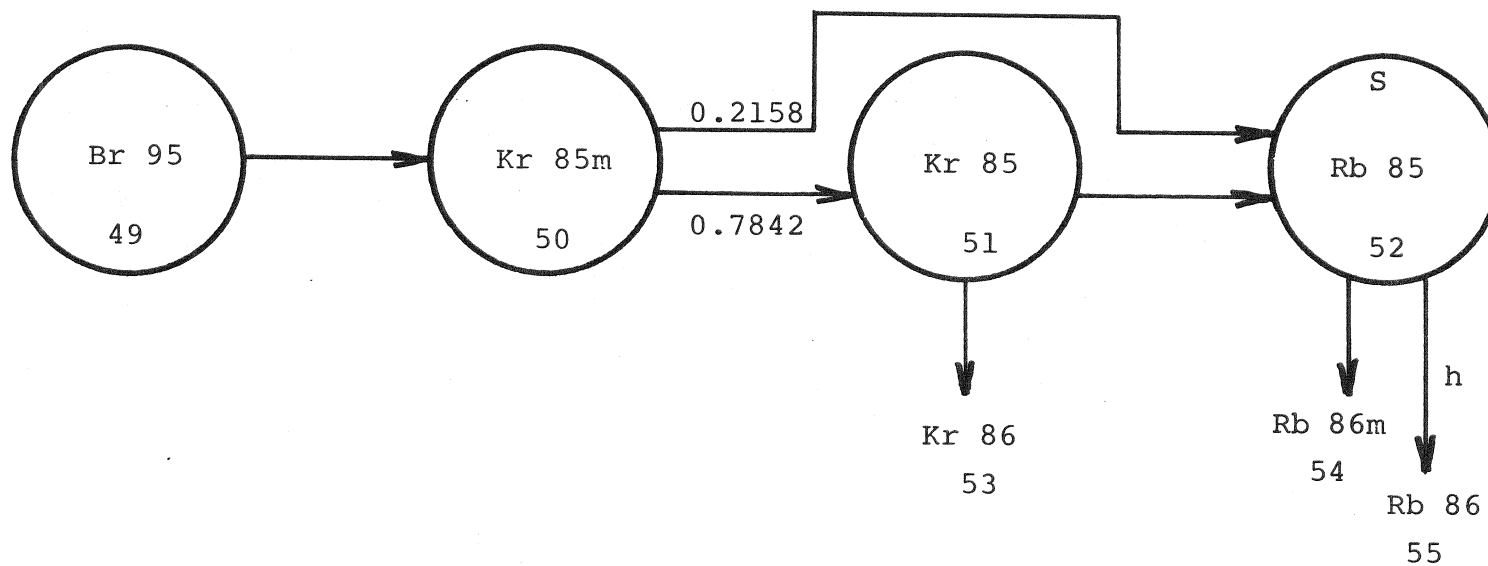


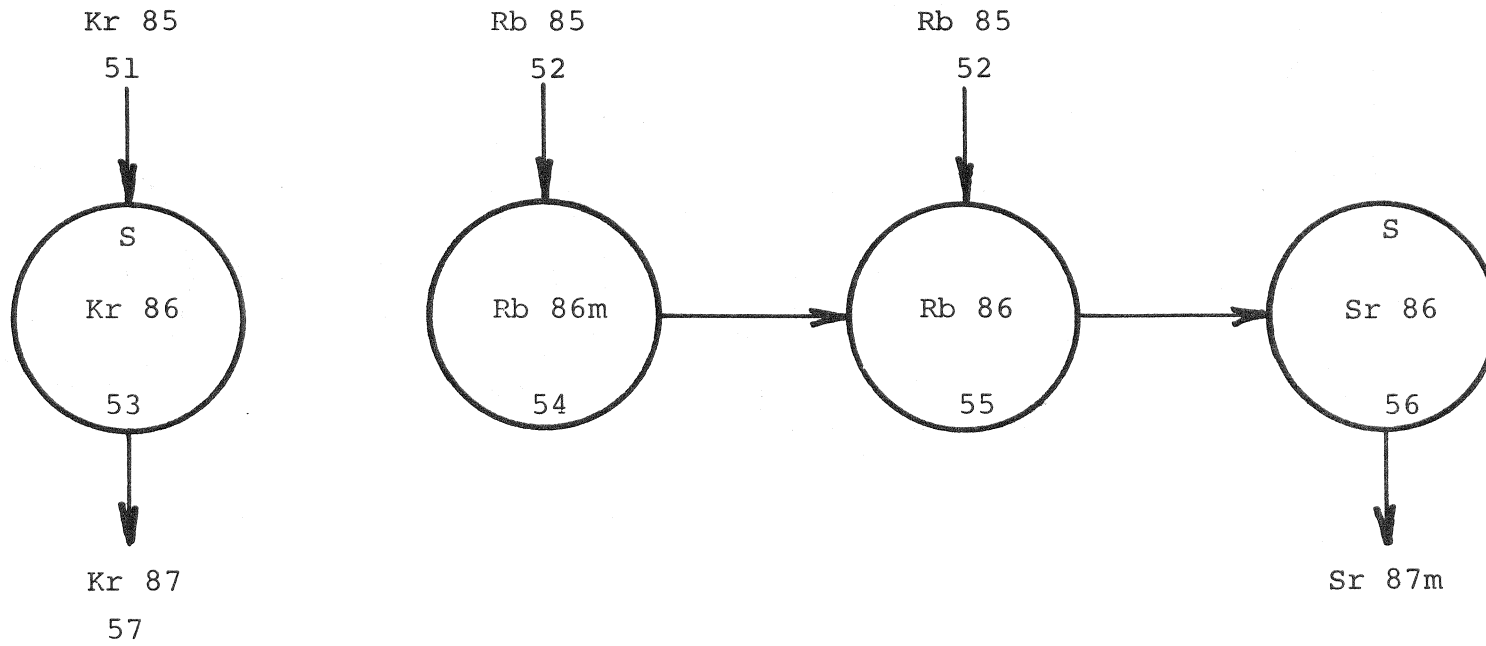


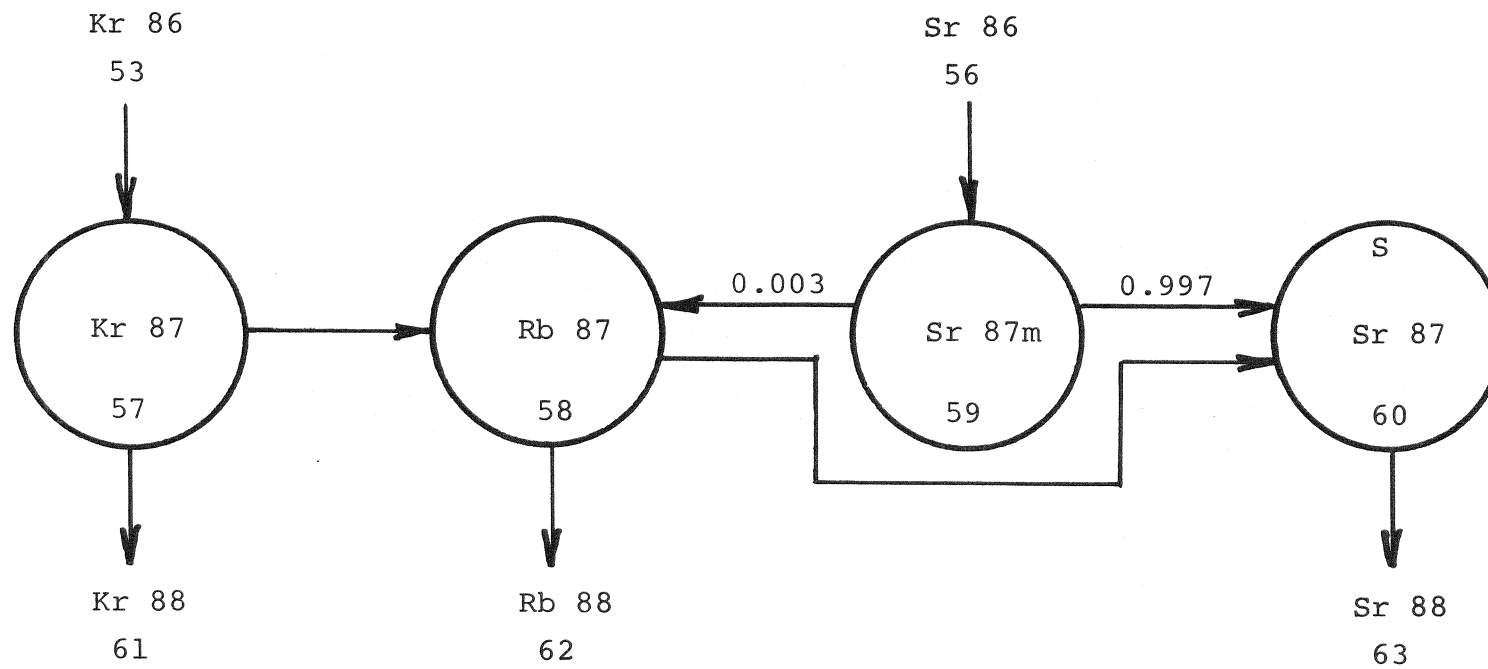


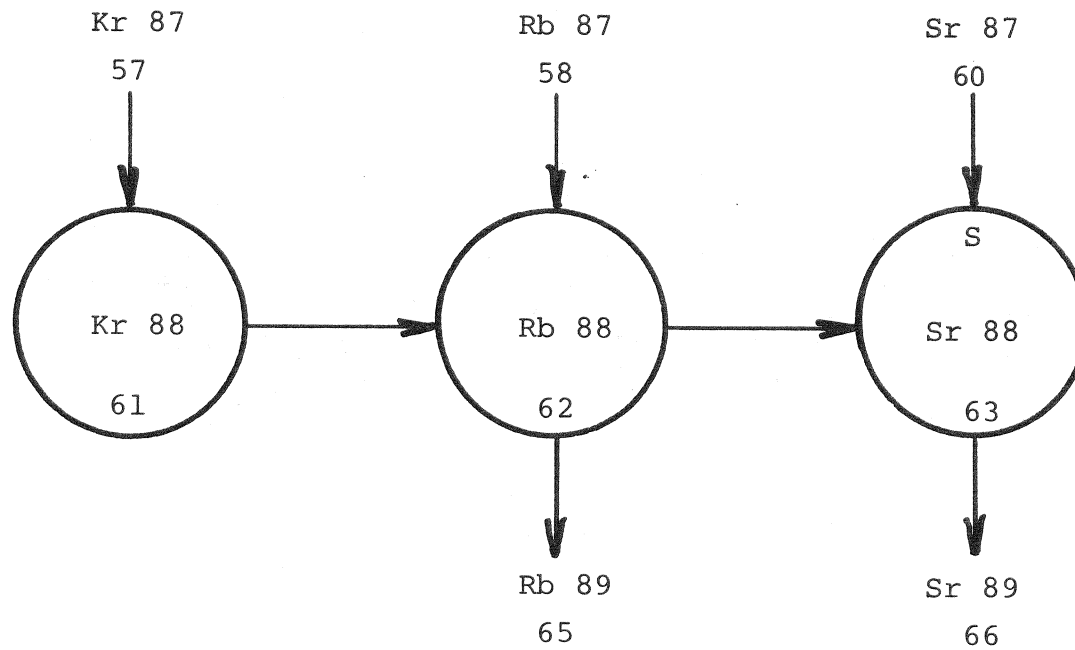


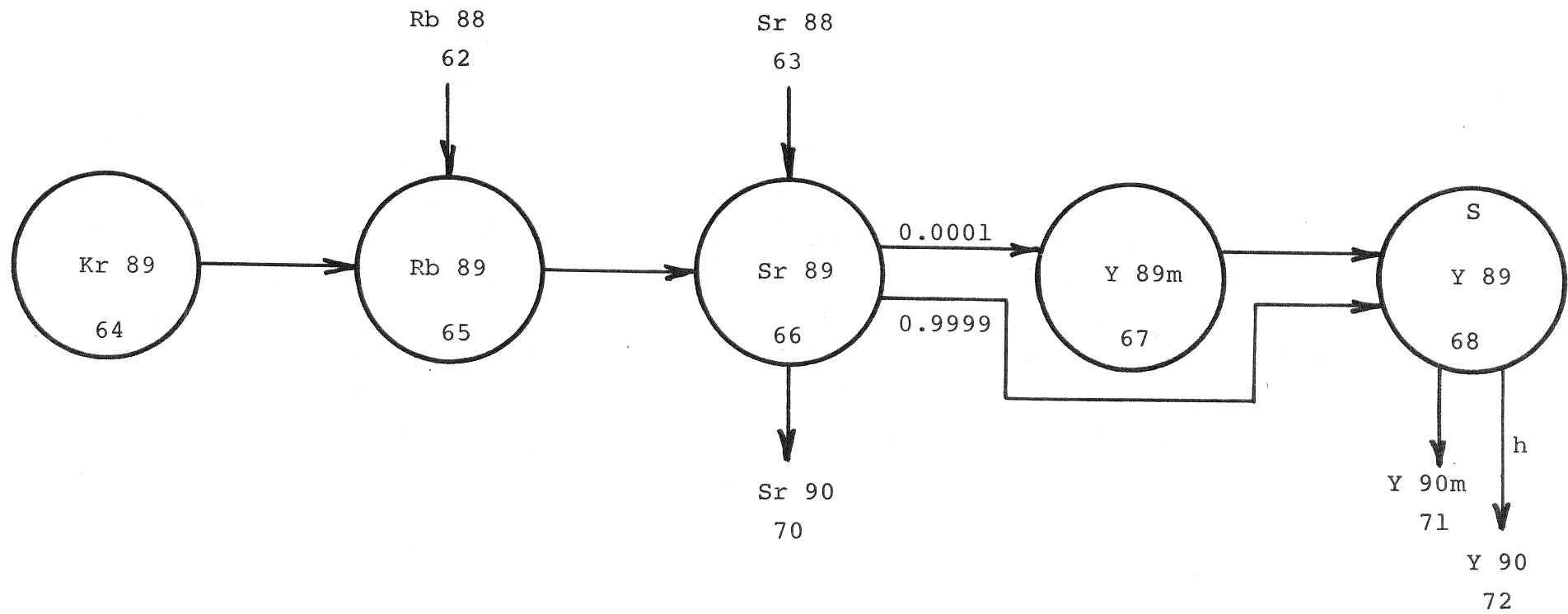
Startnuklid

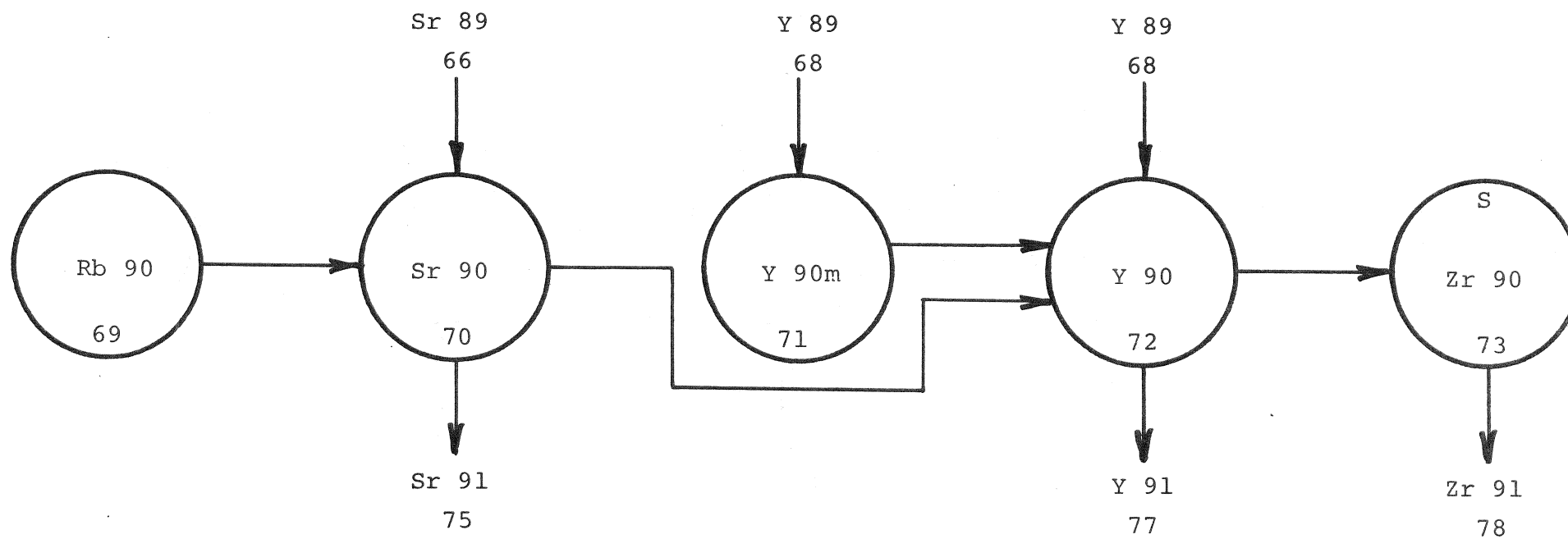






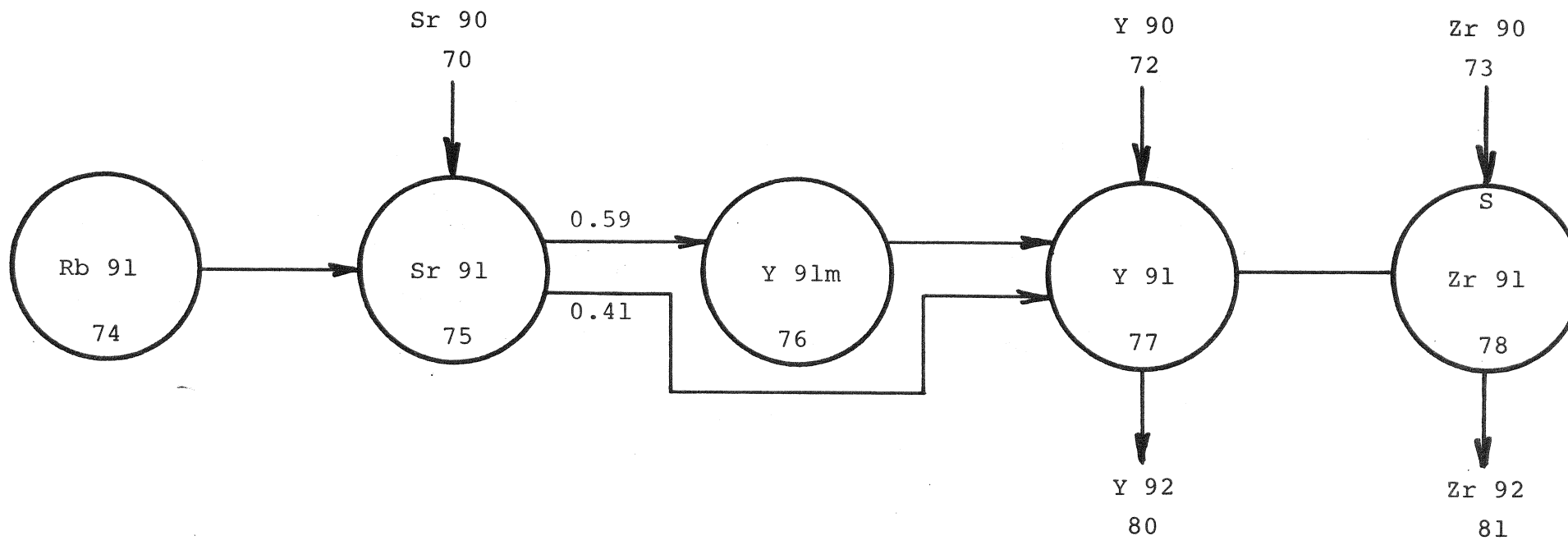


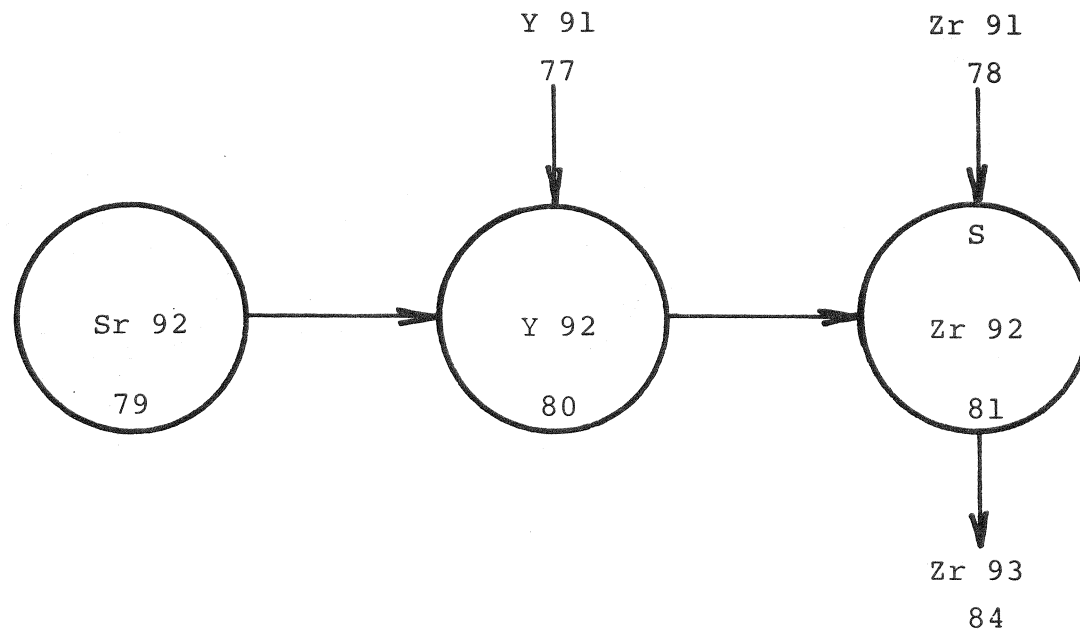


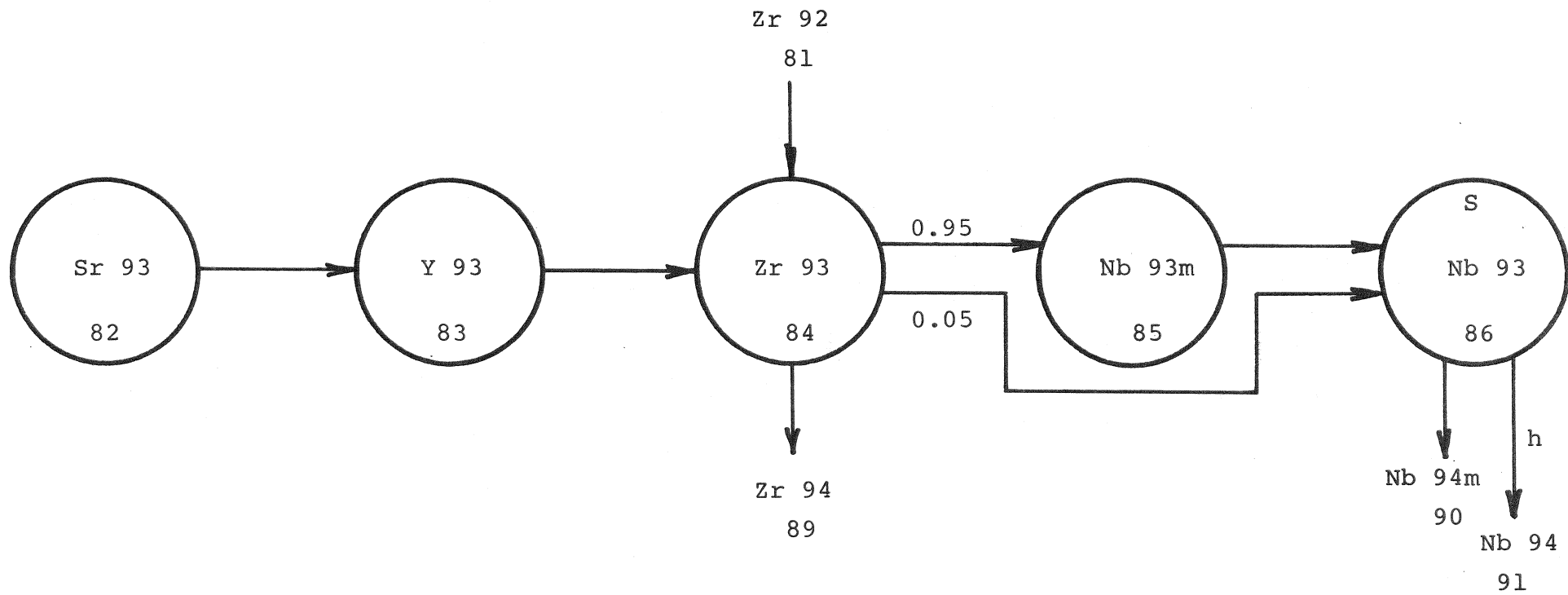


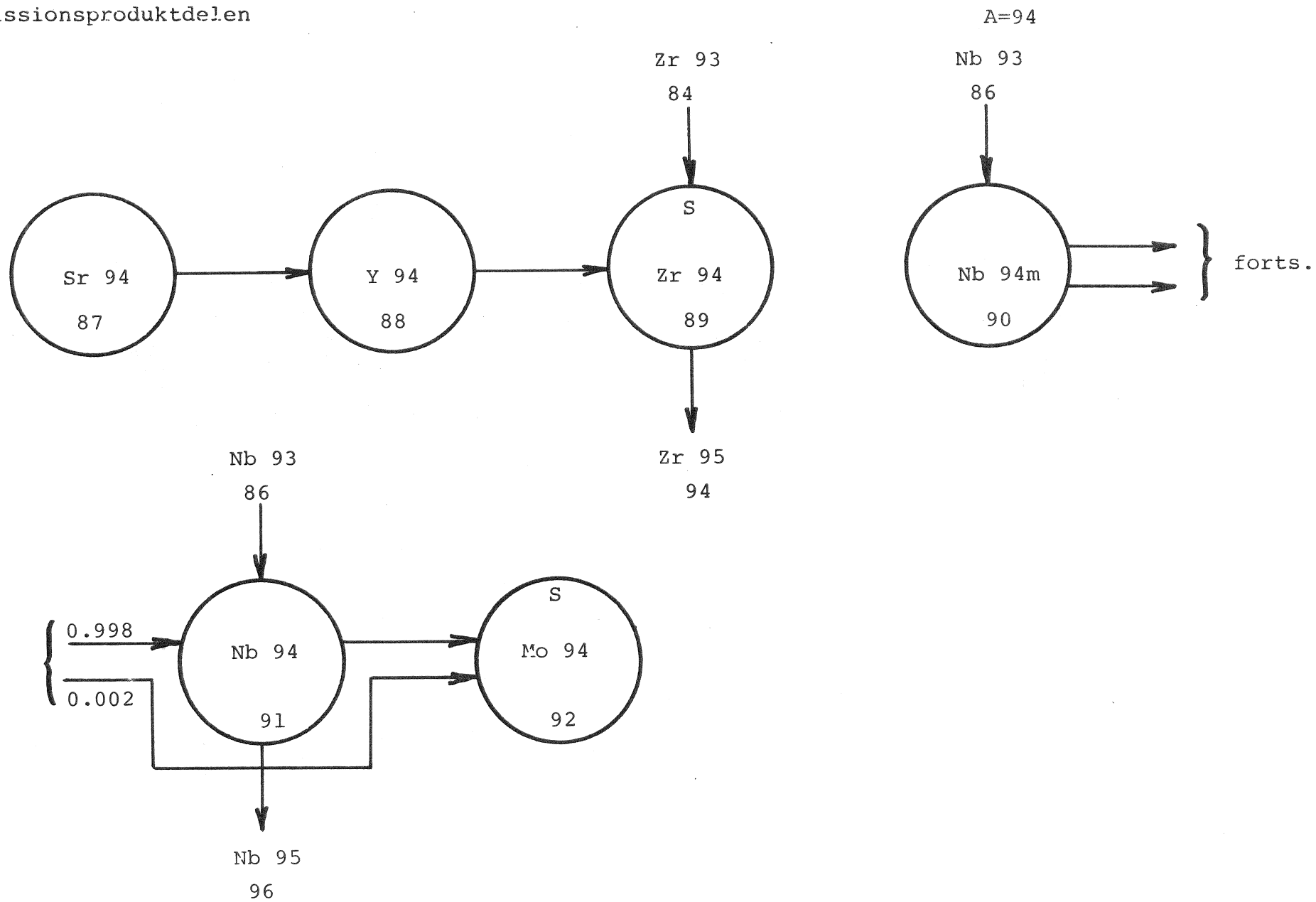
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

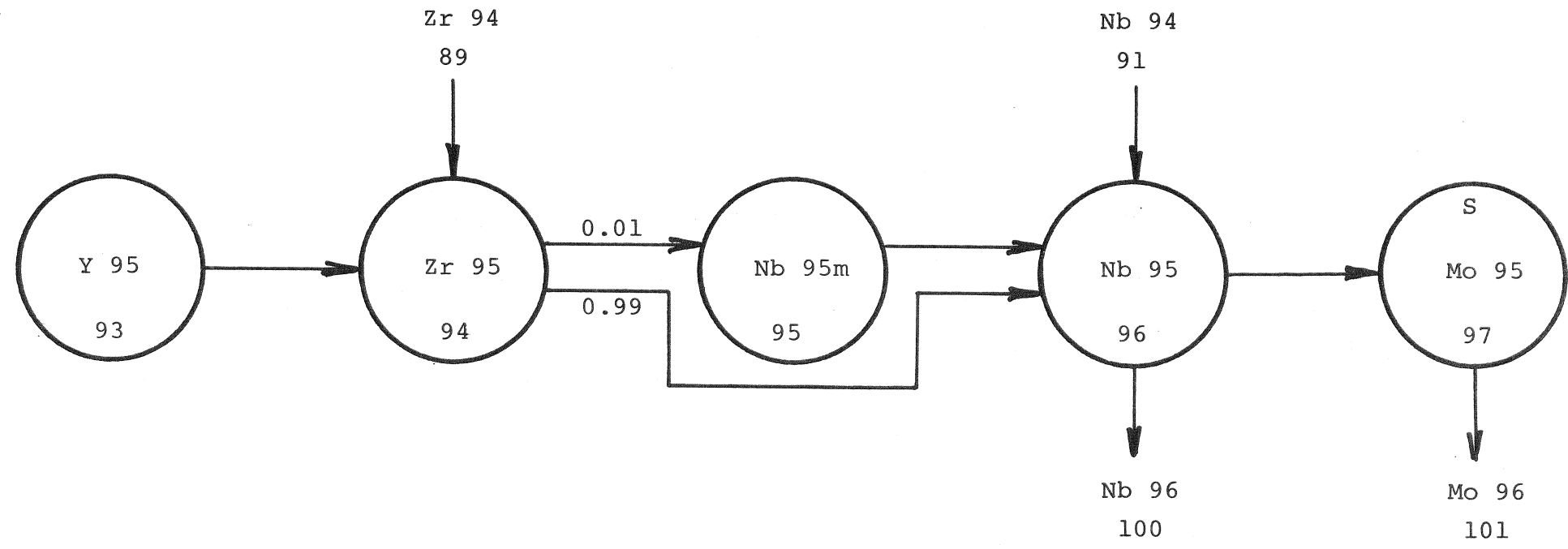
A=91

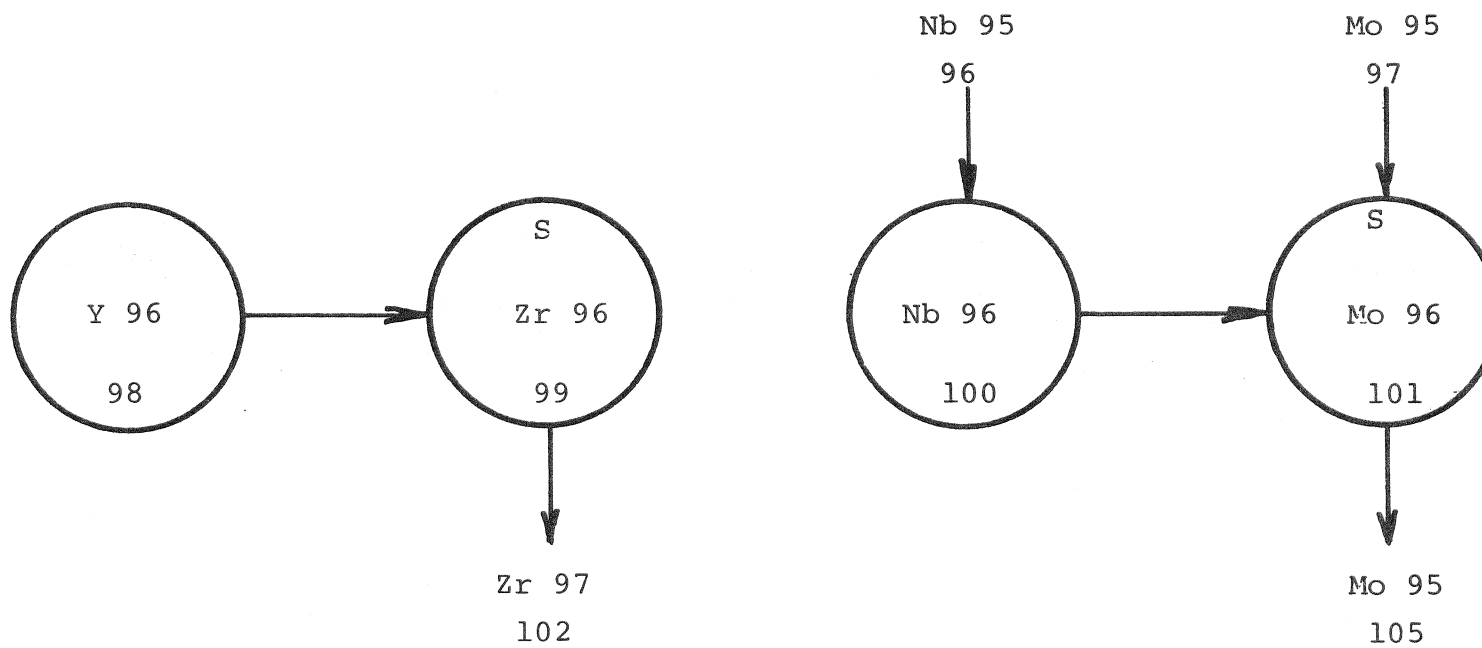






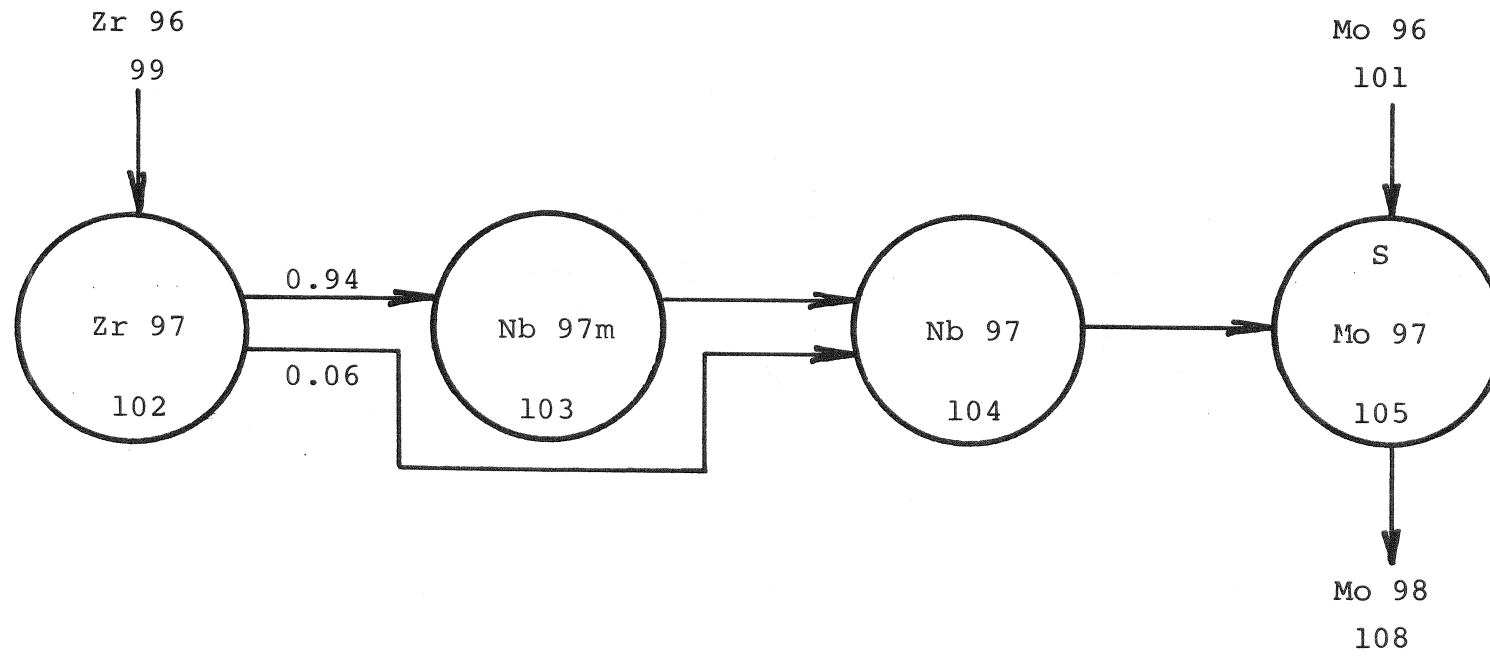


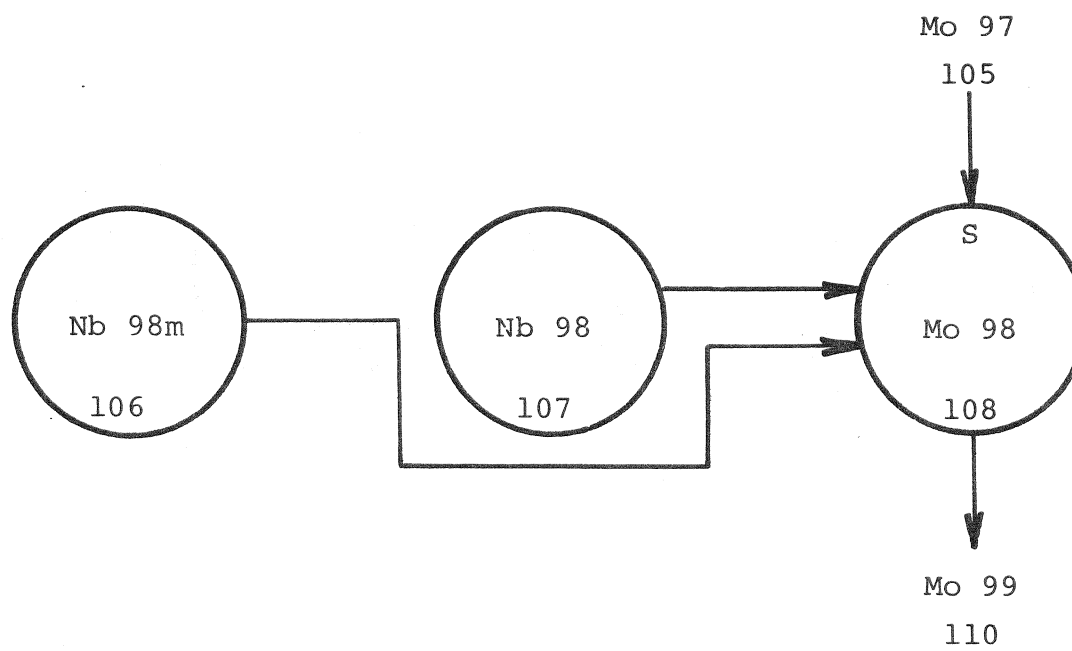


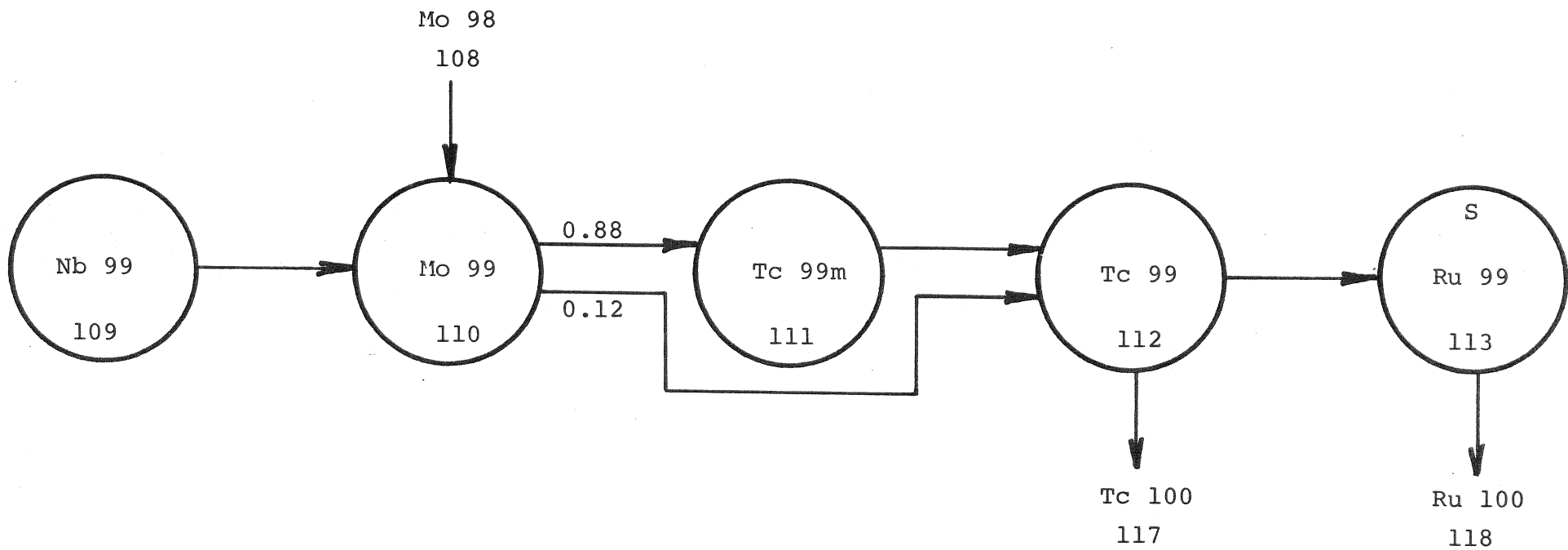


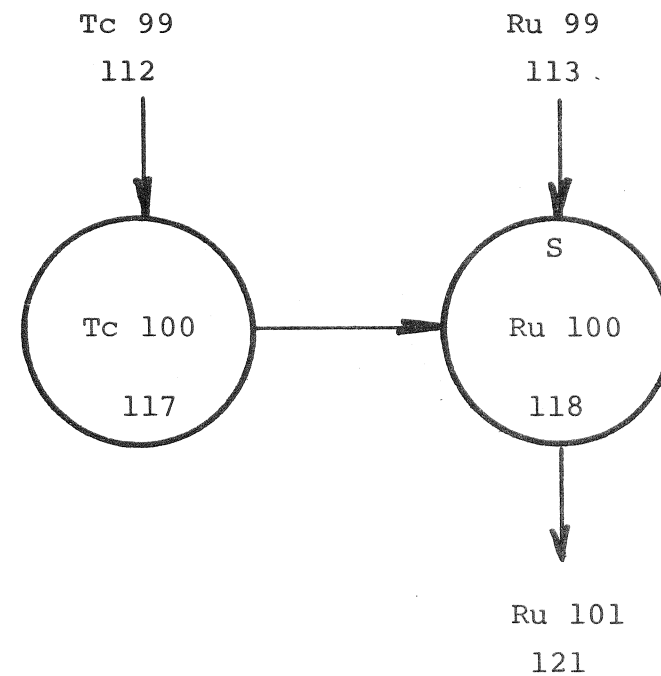
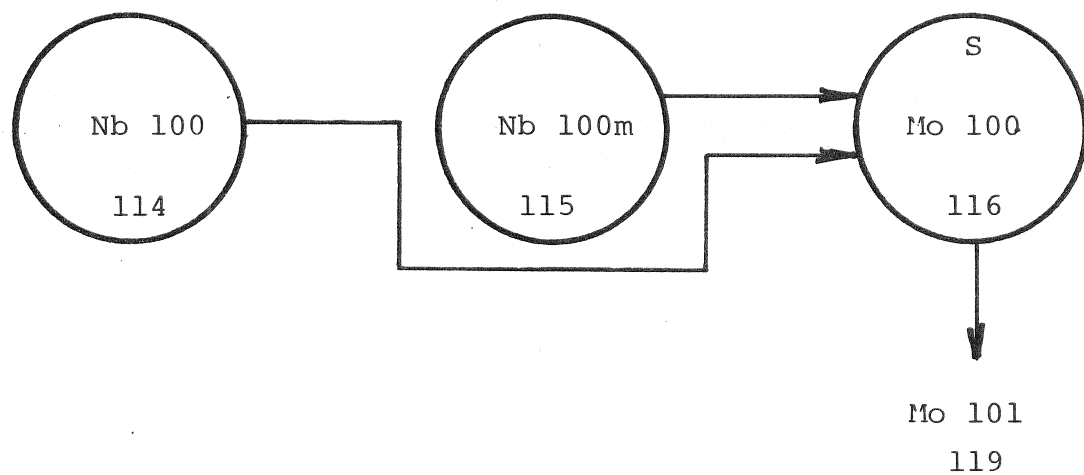
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdegen

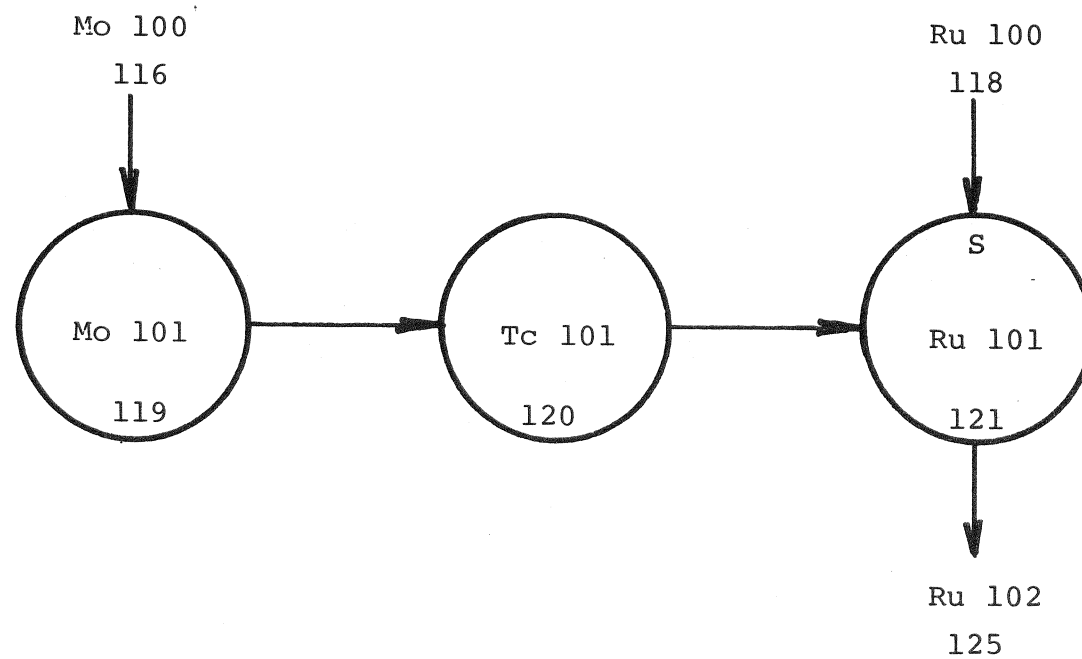
A=97





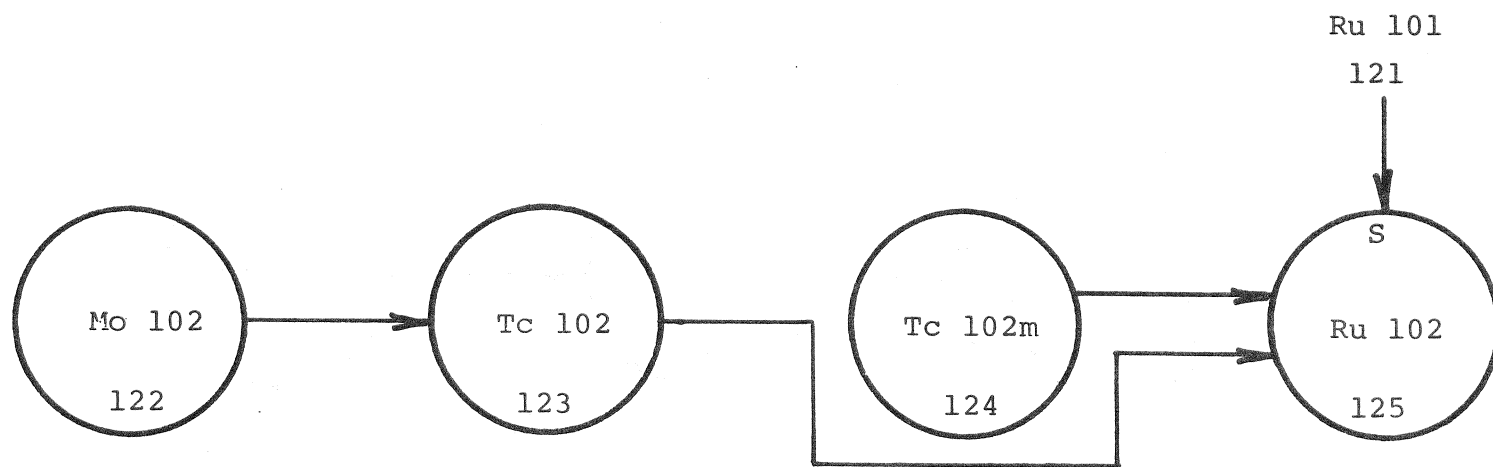




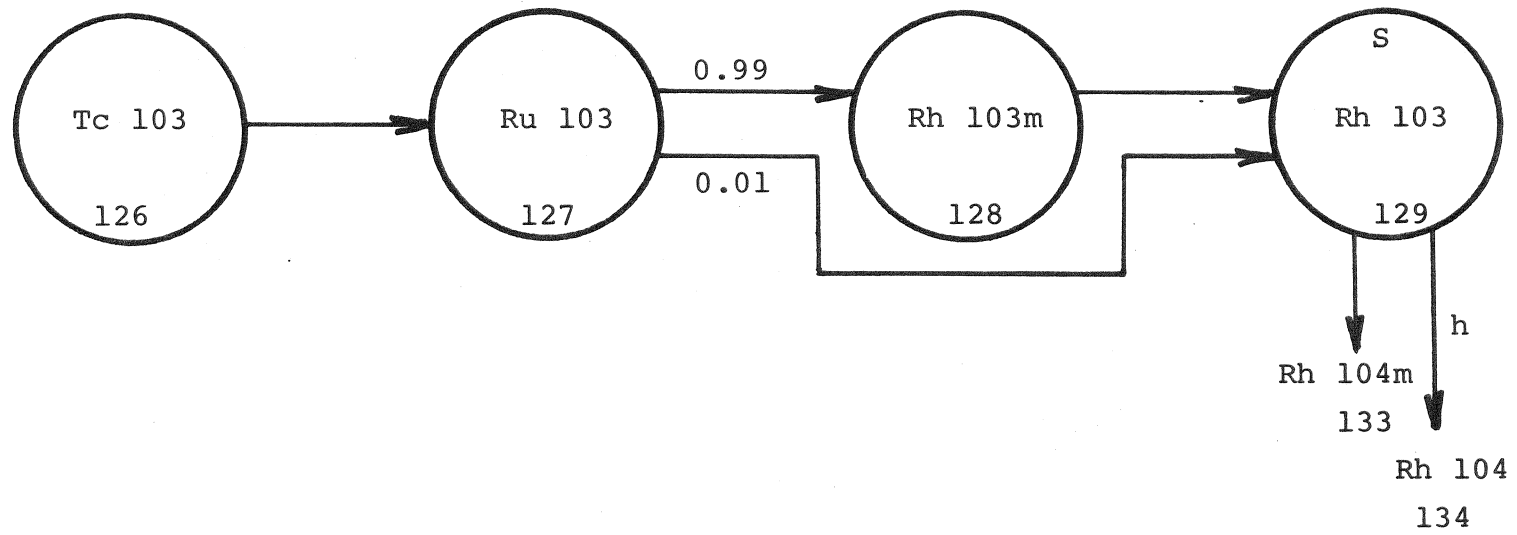


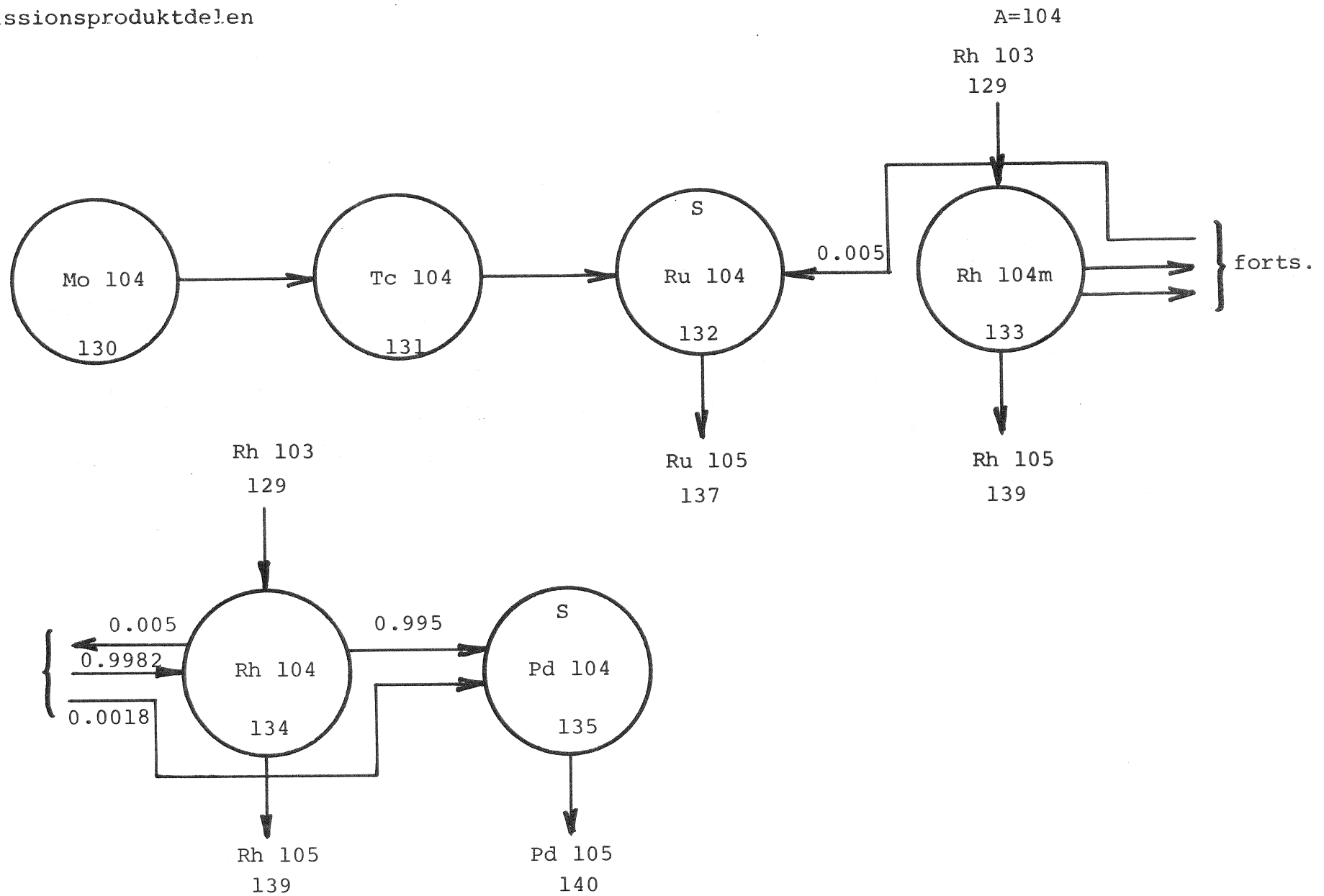
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdegen

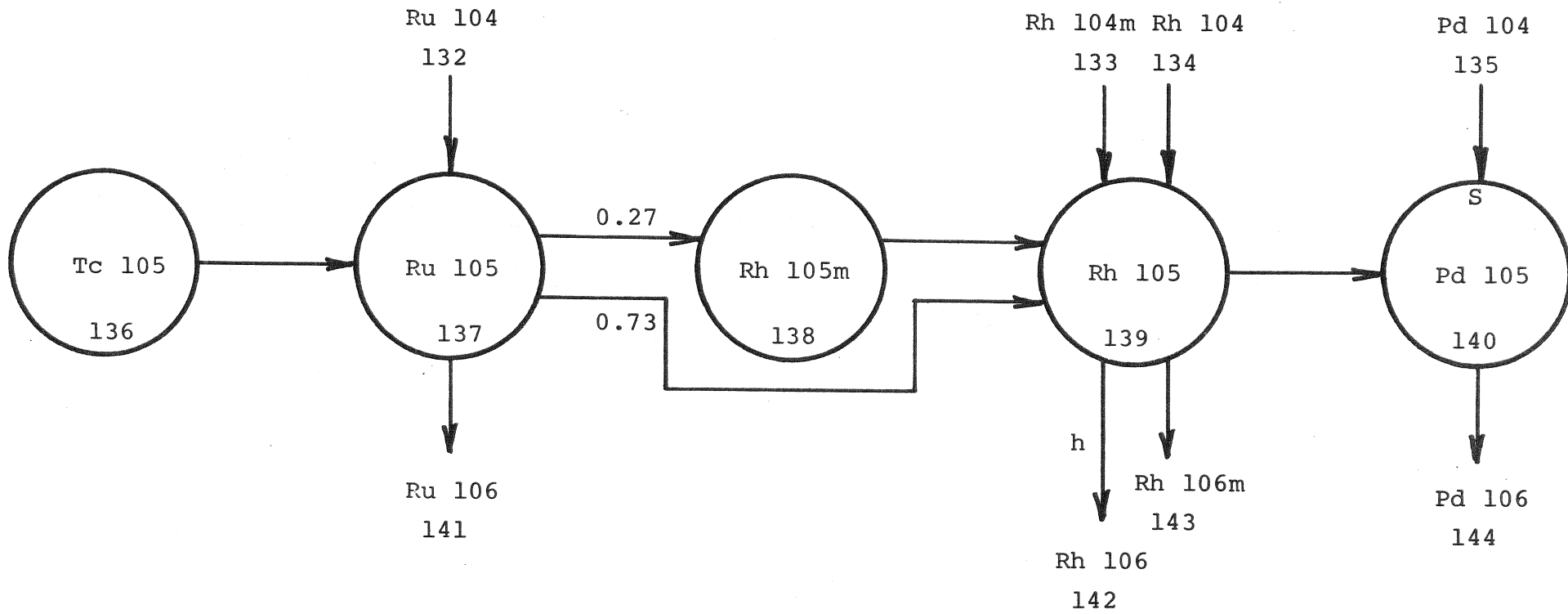
A=102

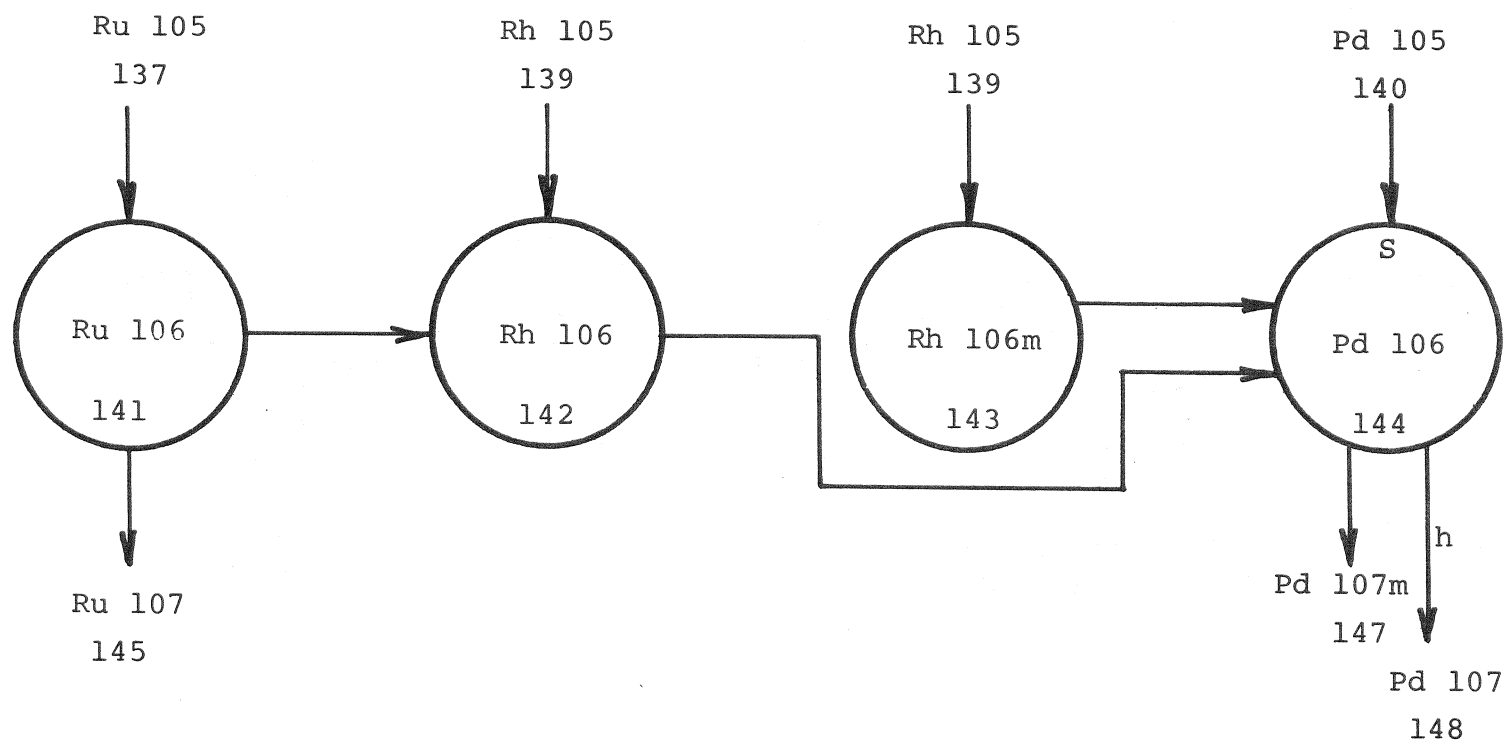


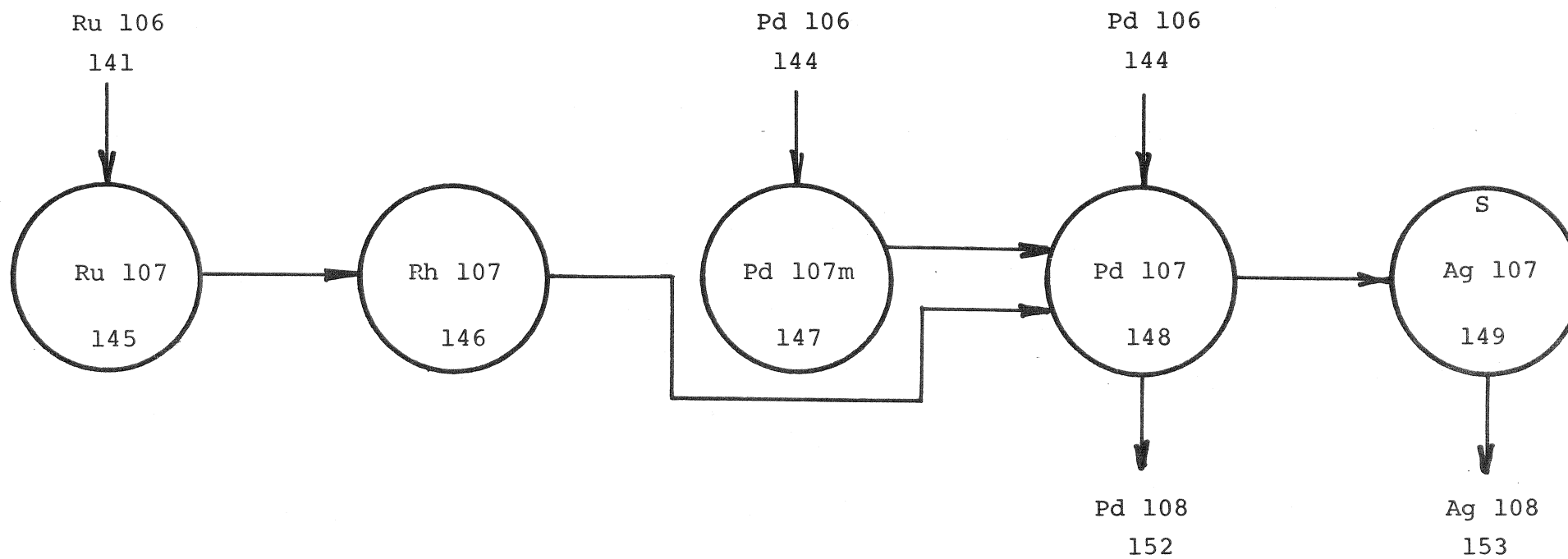
Startnuklid

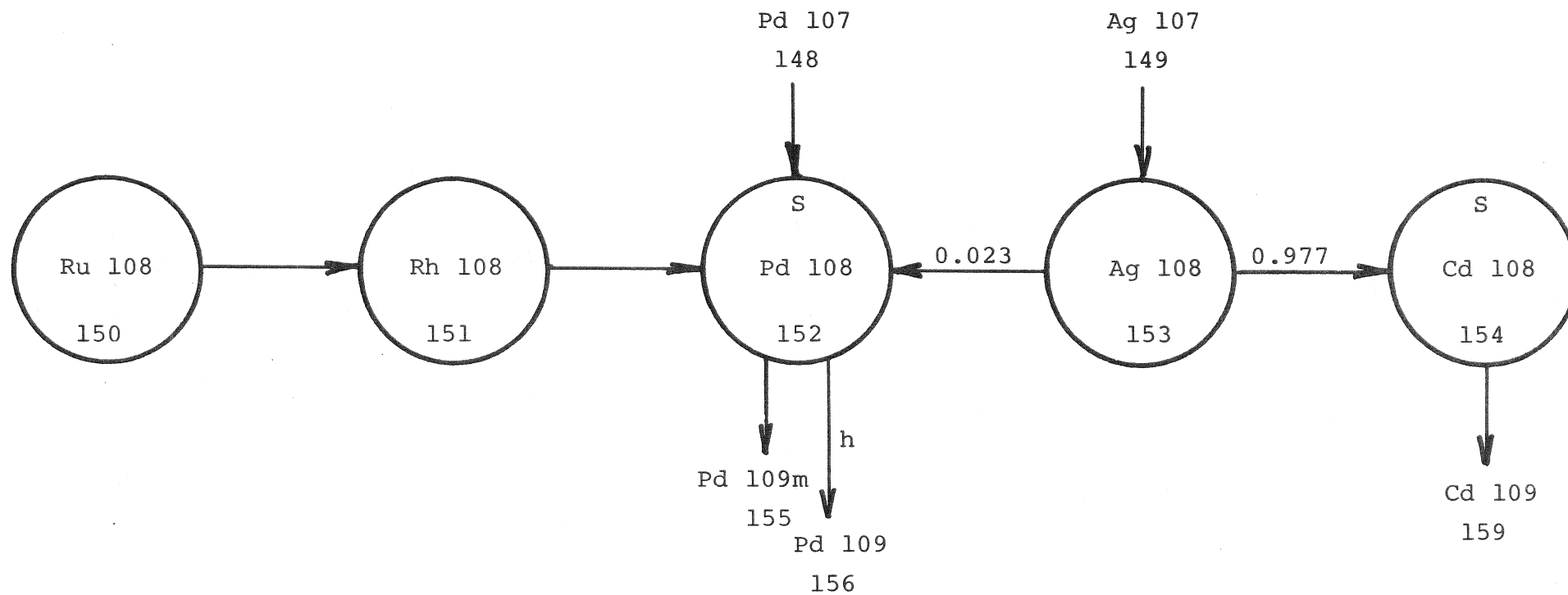


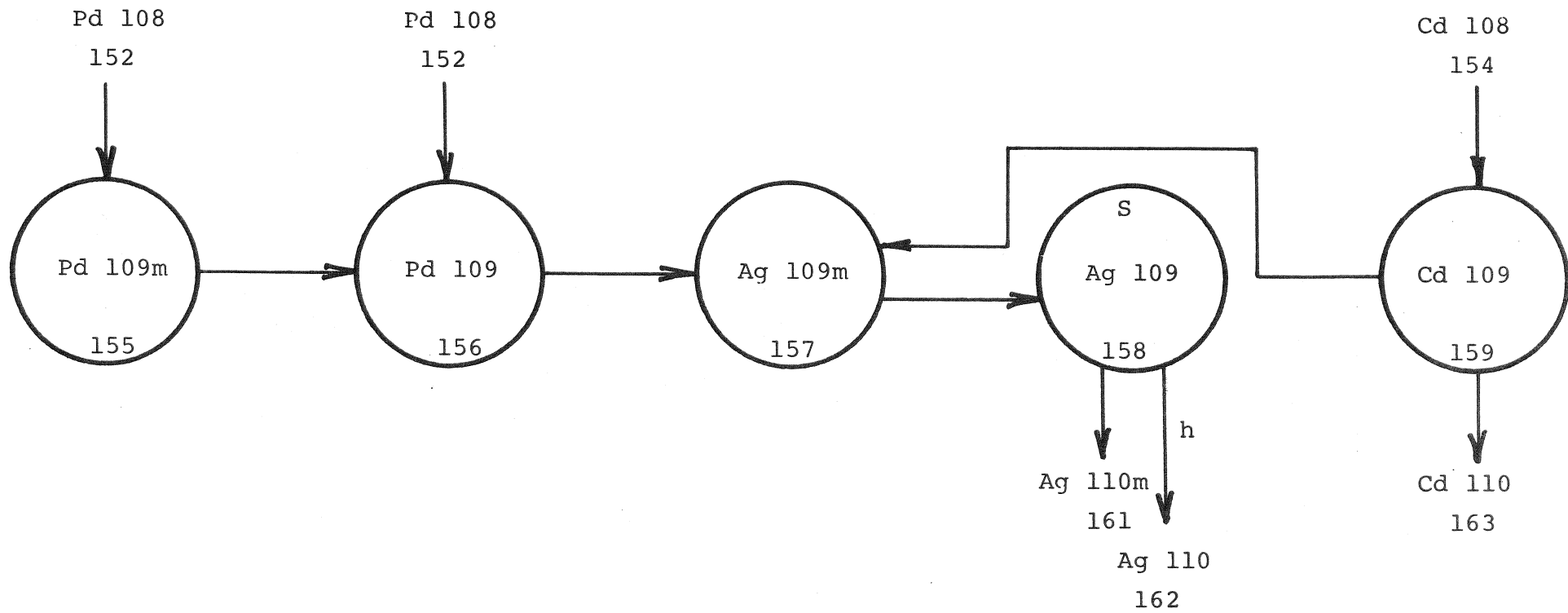


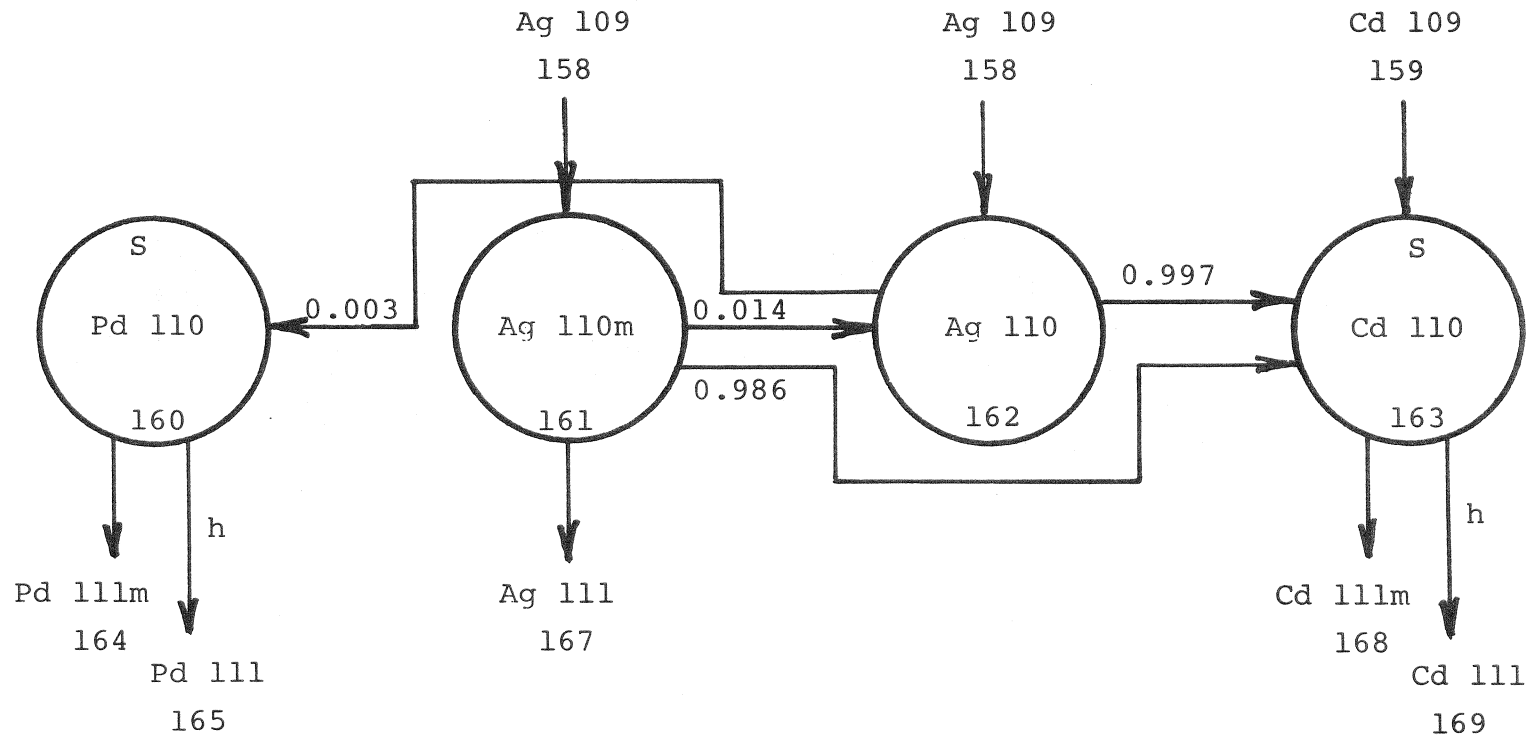




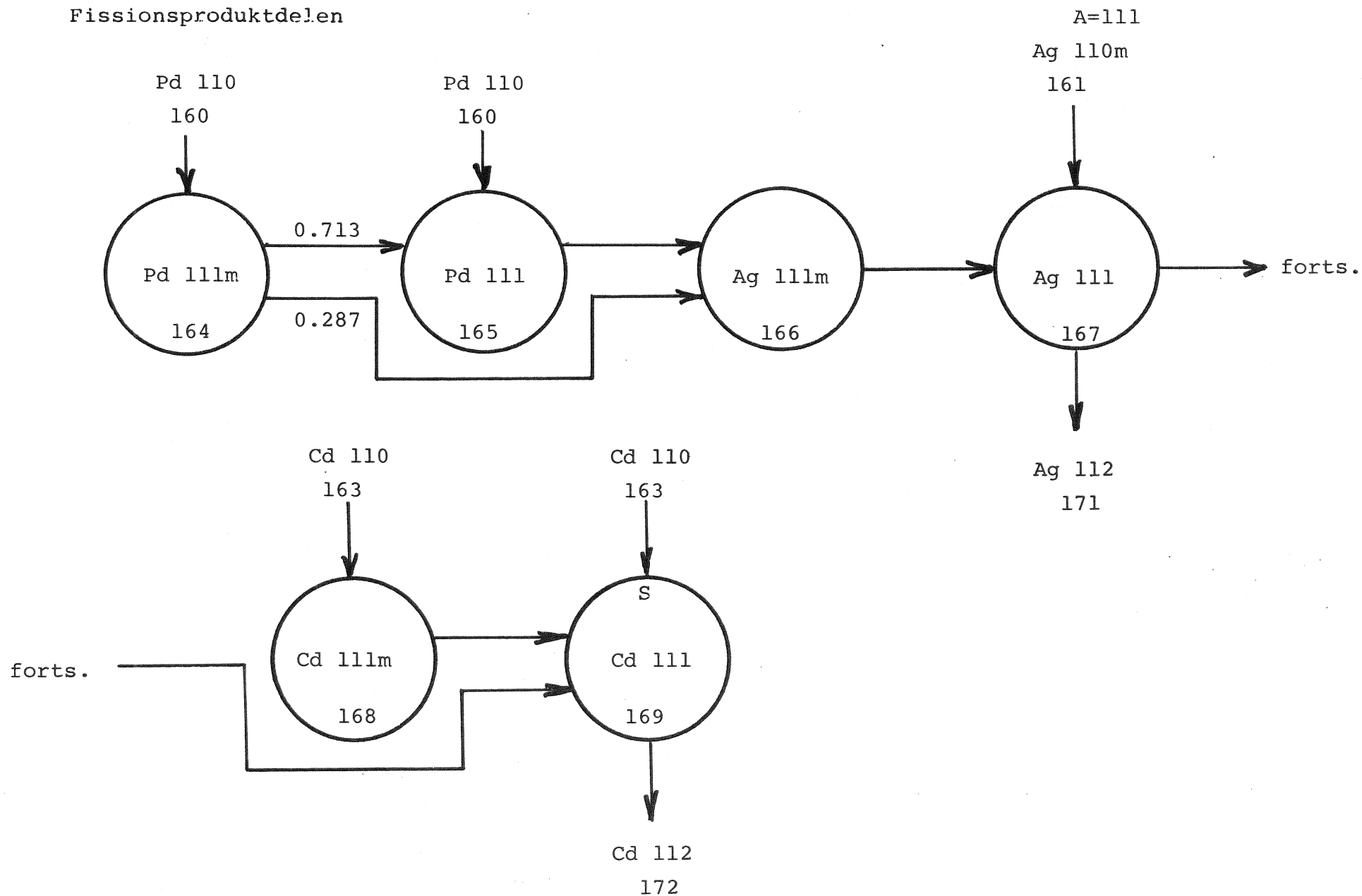


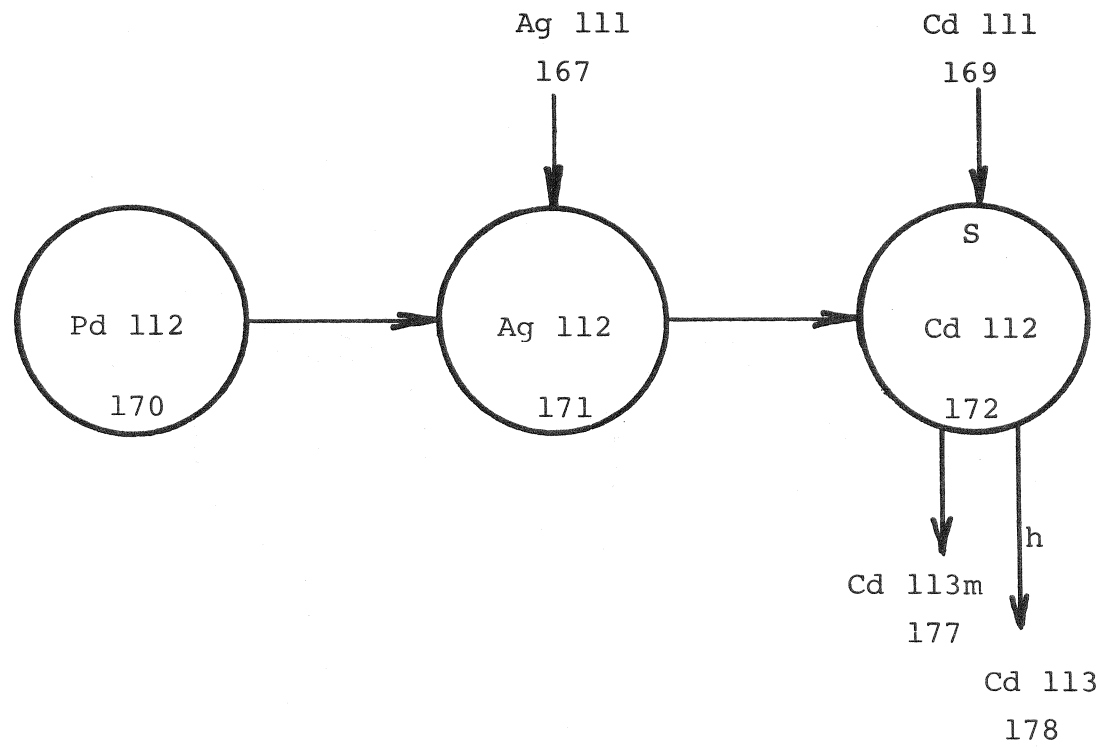




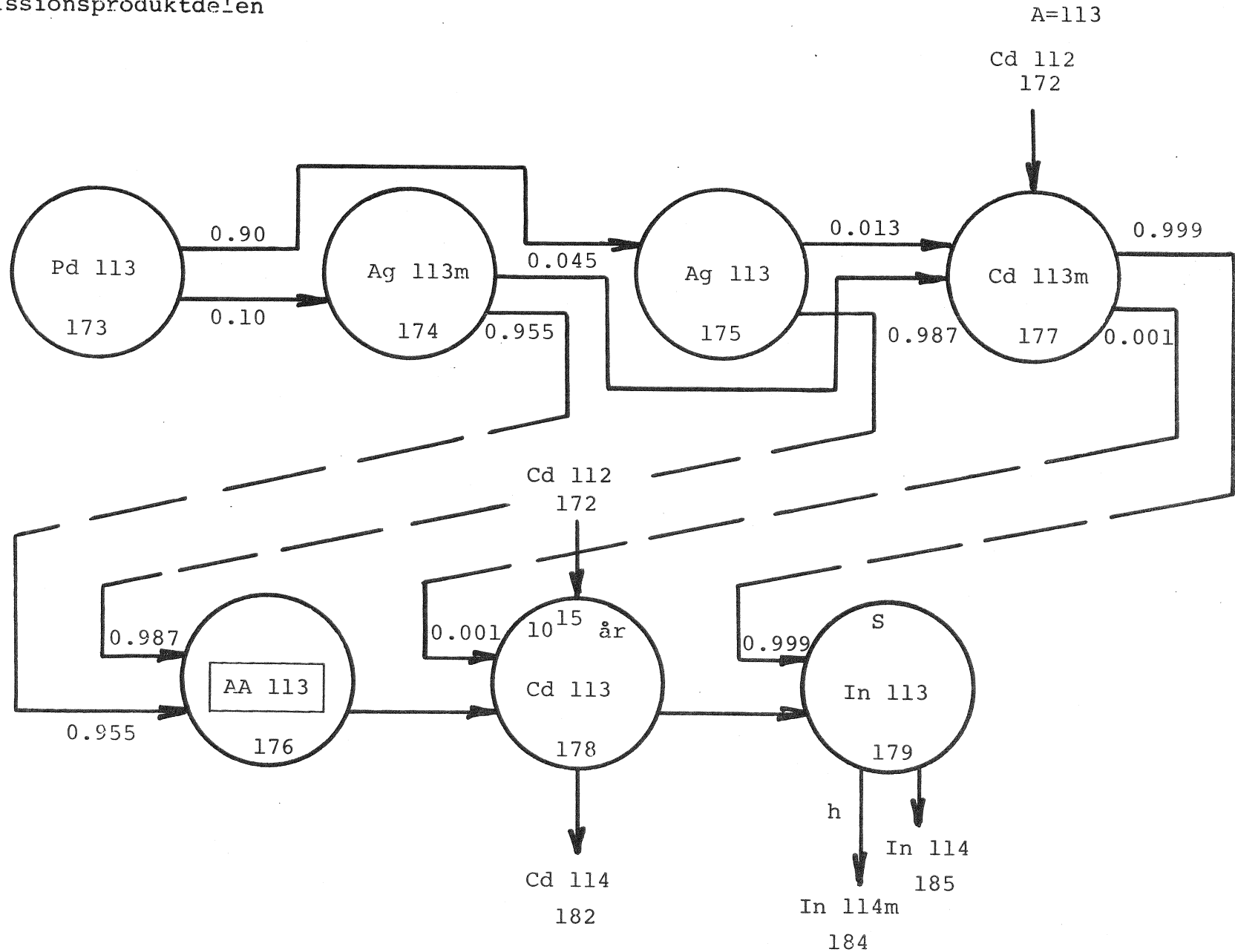


BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

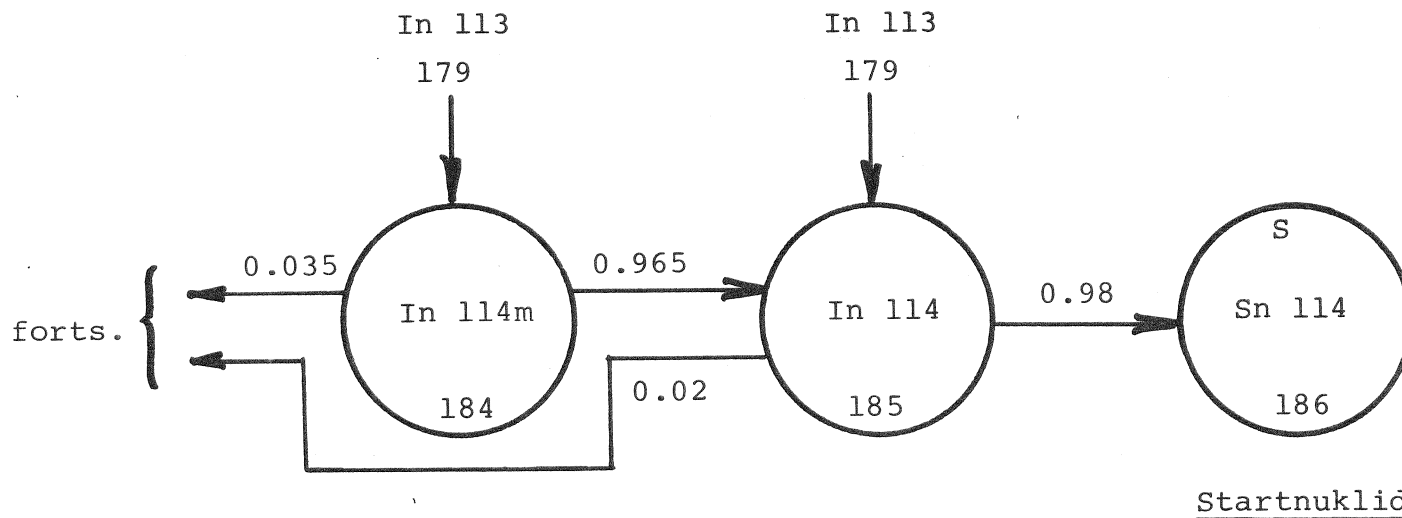
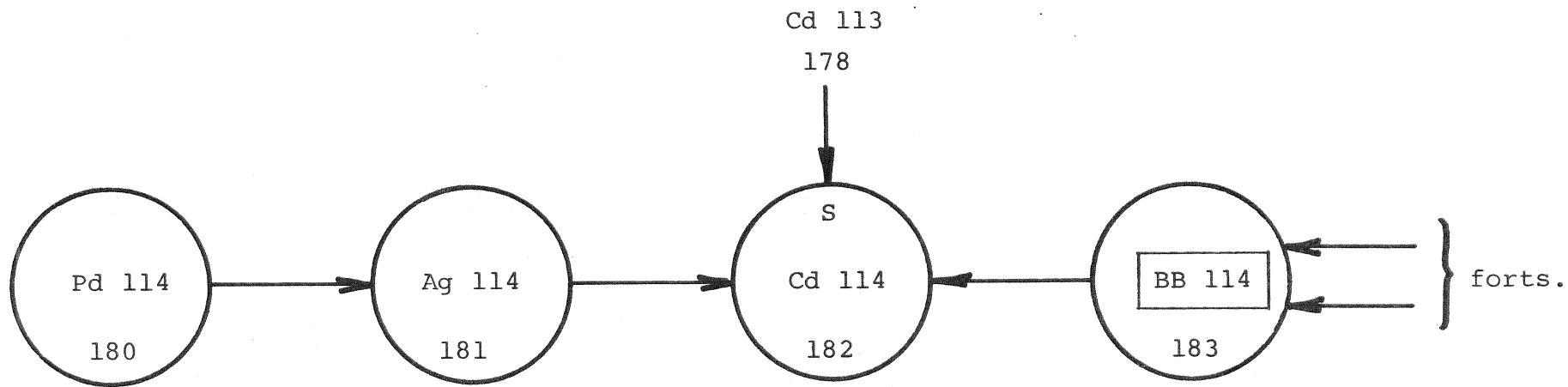


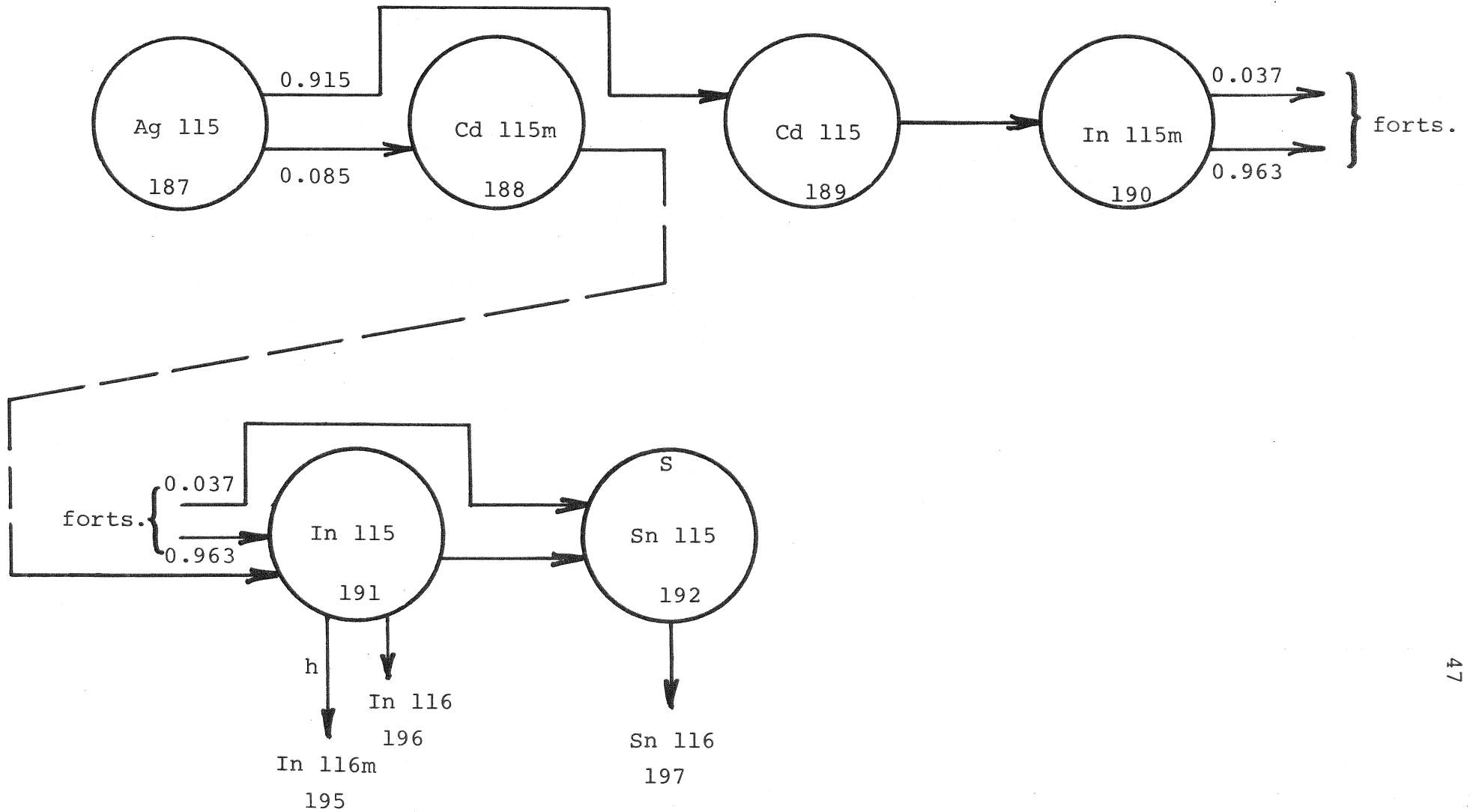


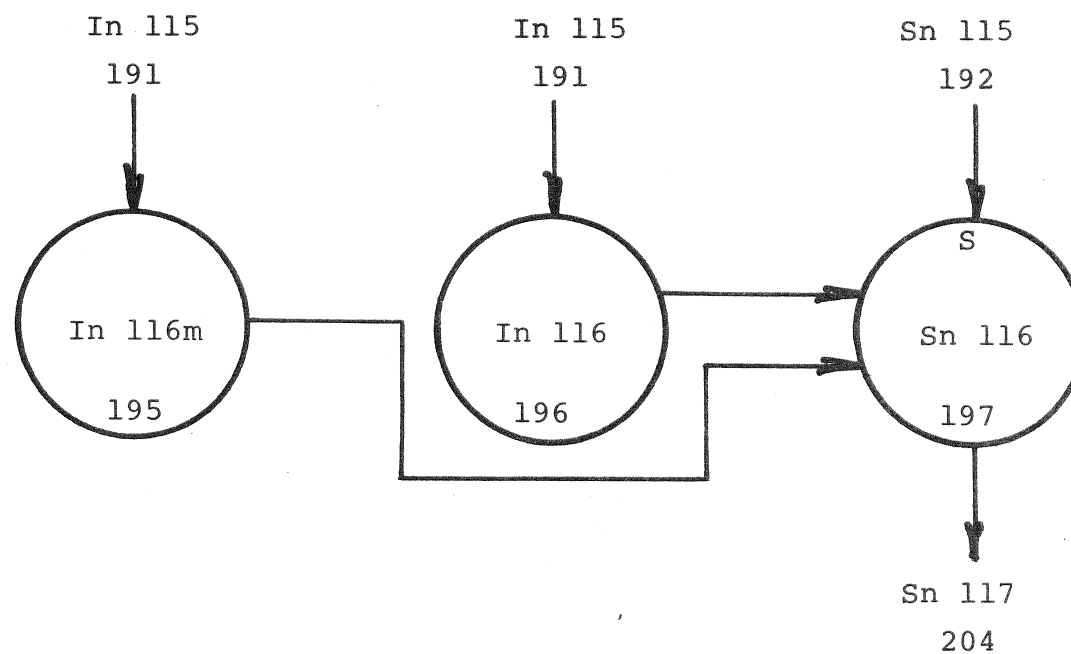
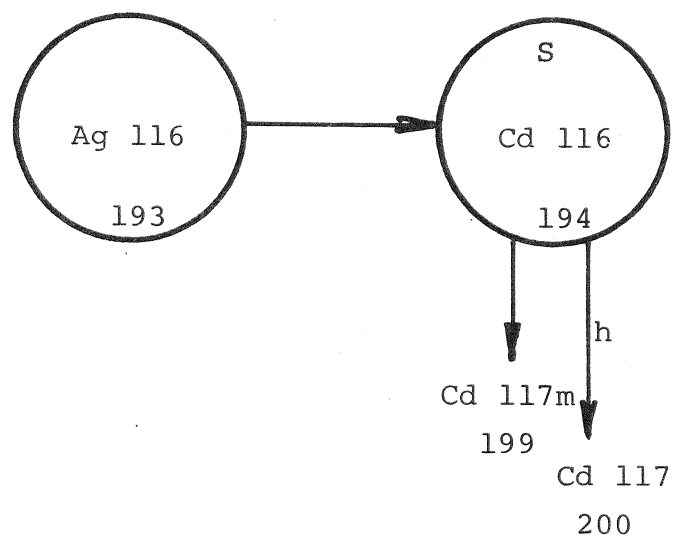
BEGAFIPs databibliotek
 Fissionsprodukt delen



A=114

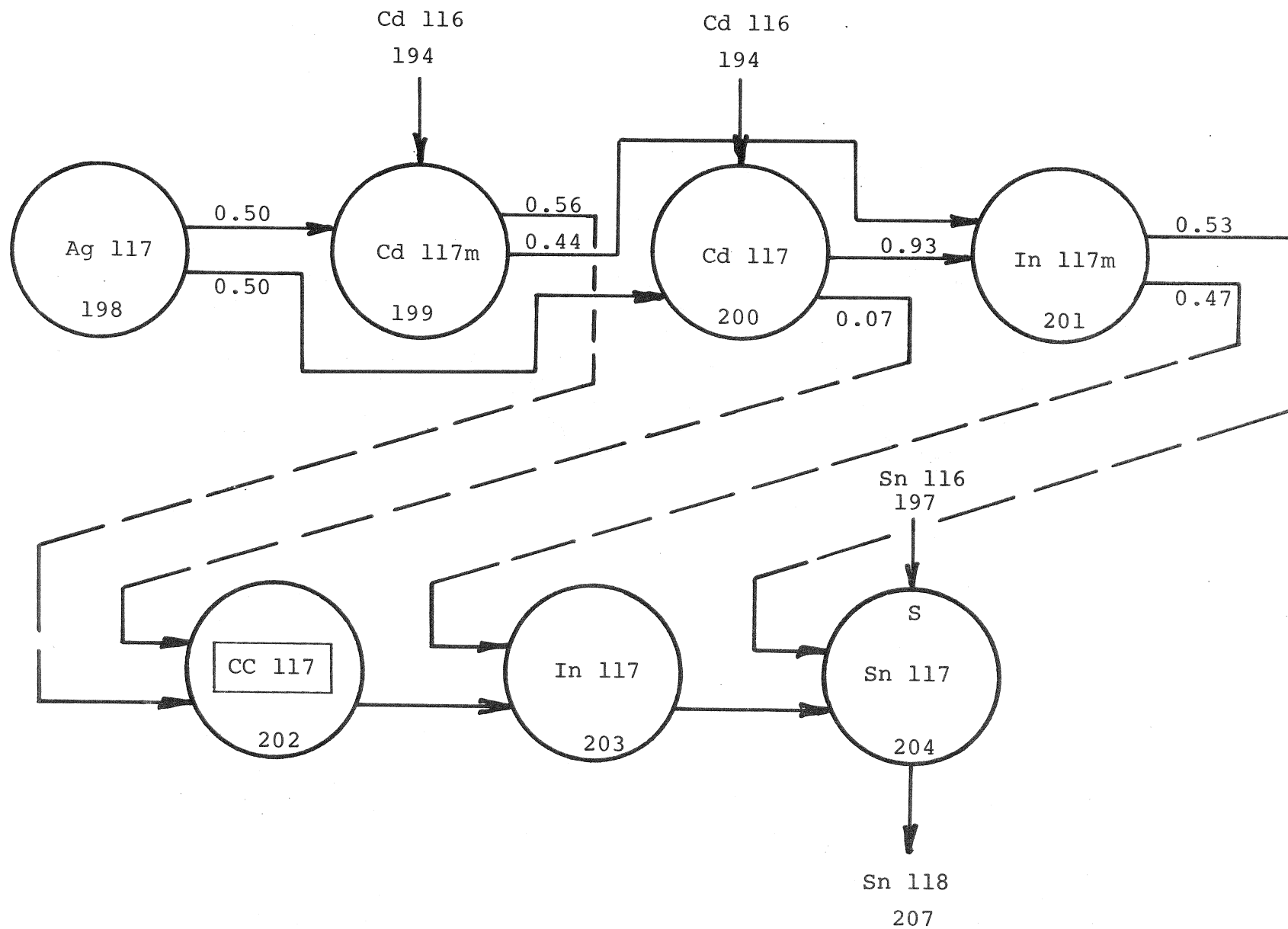


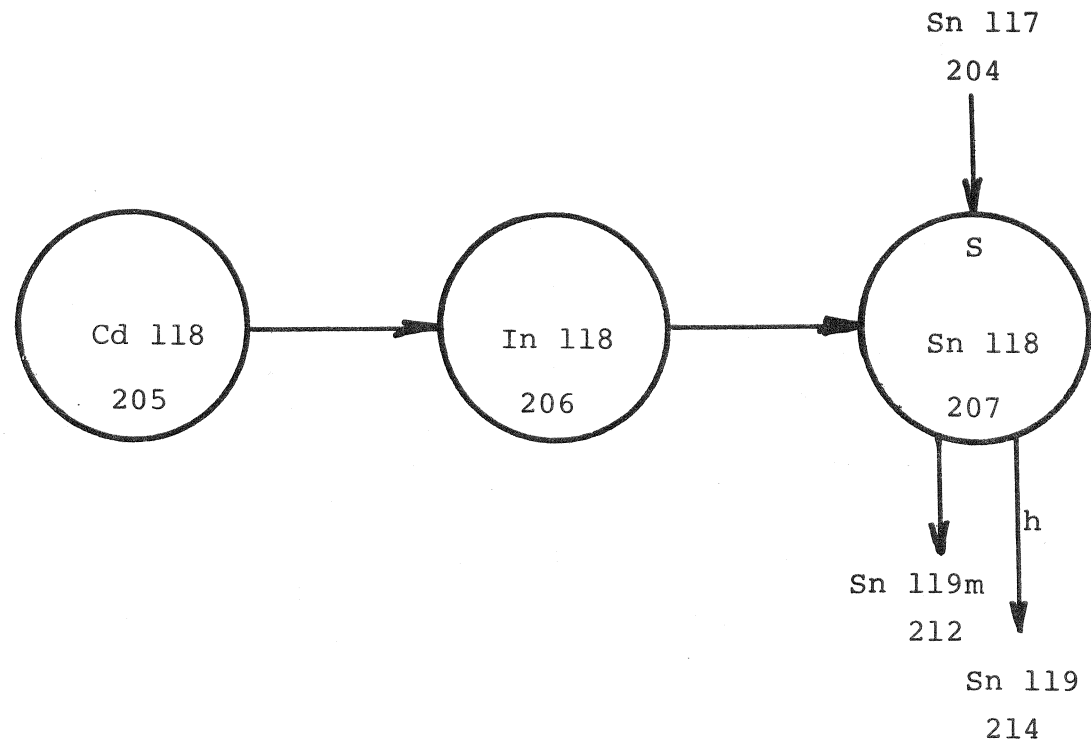


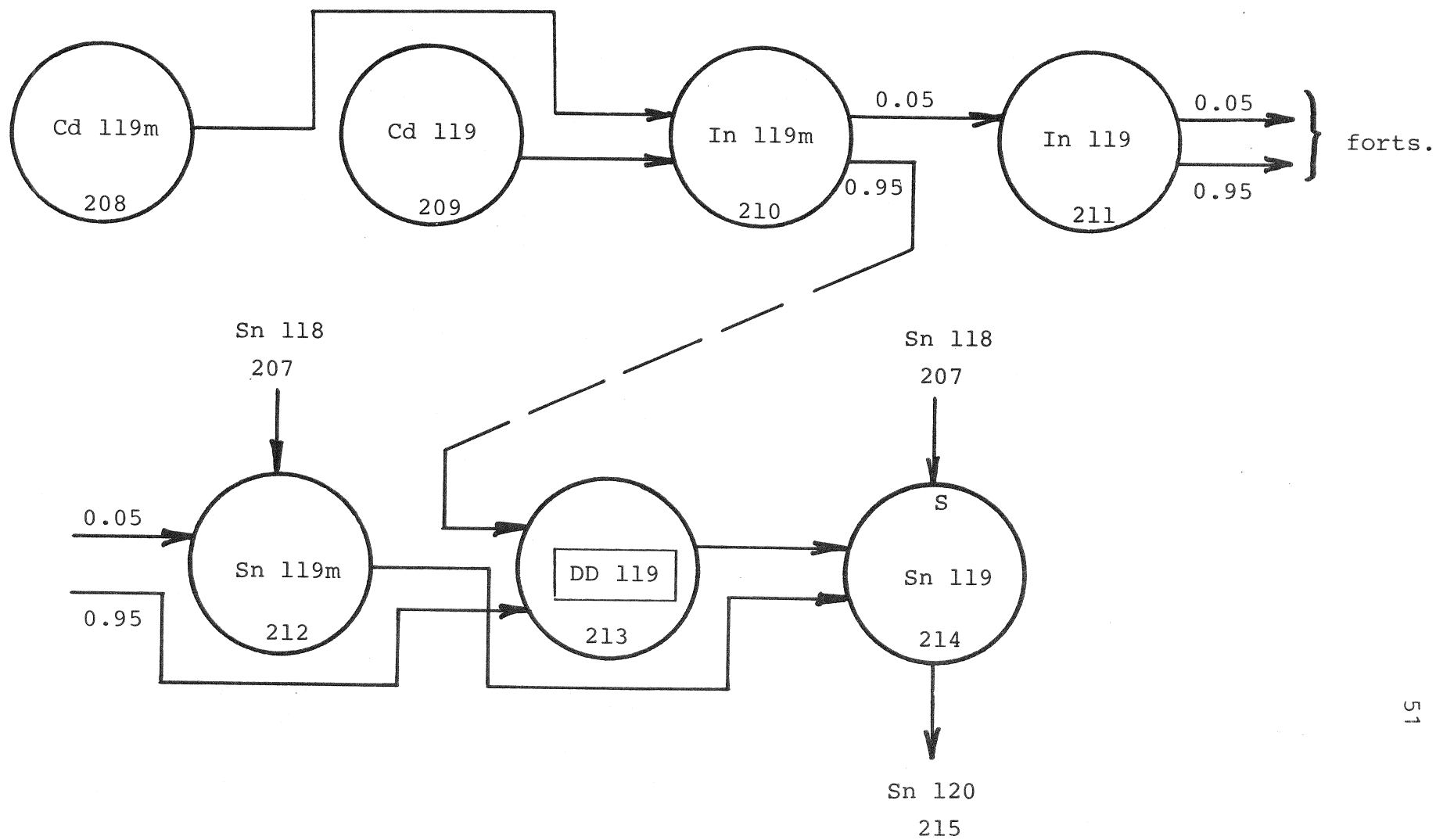


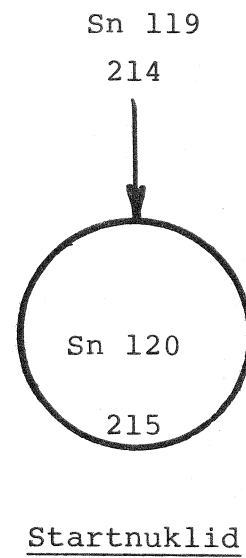
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

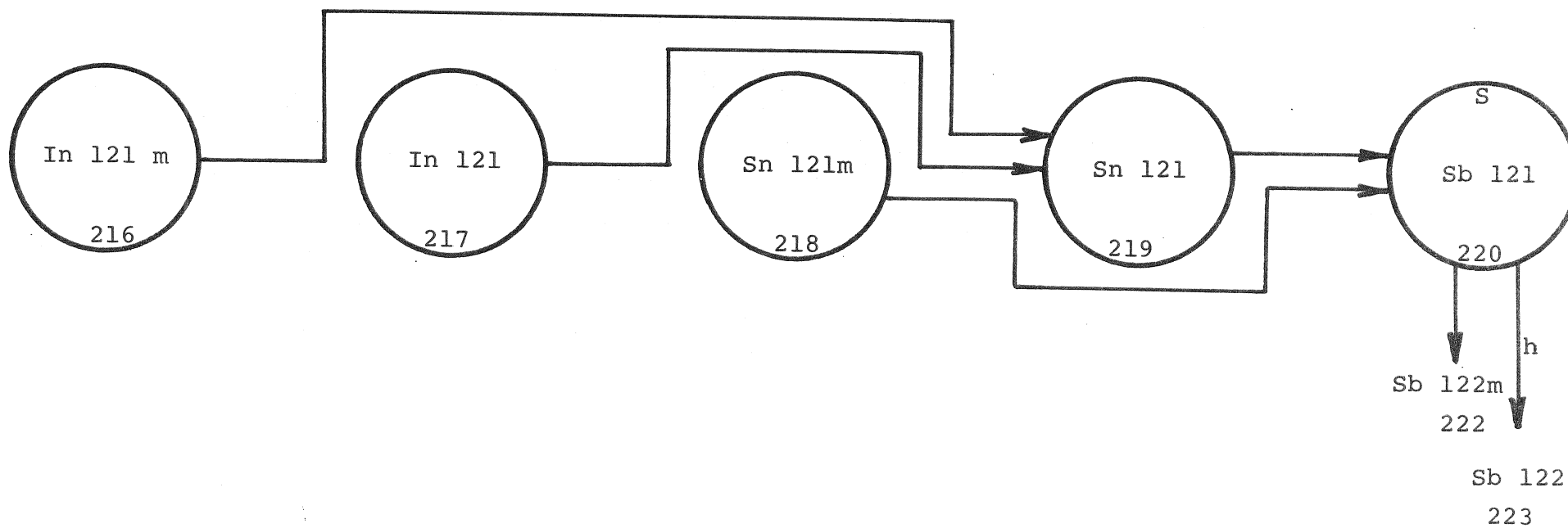
A=117

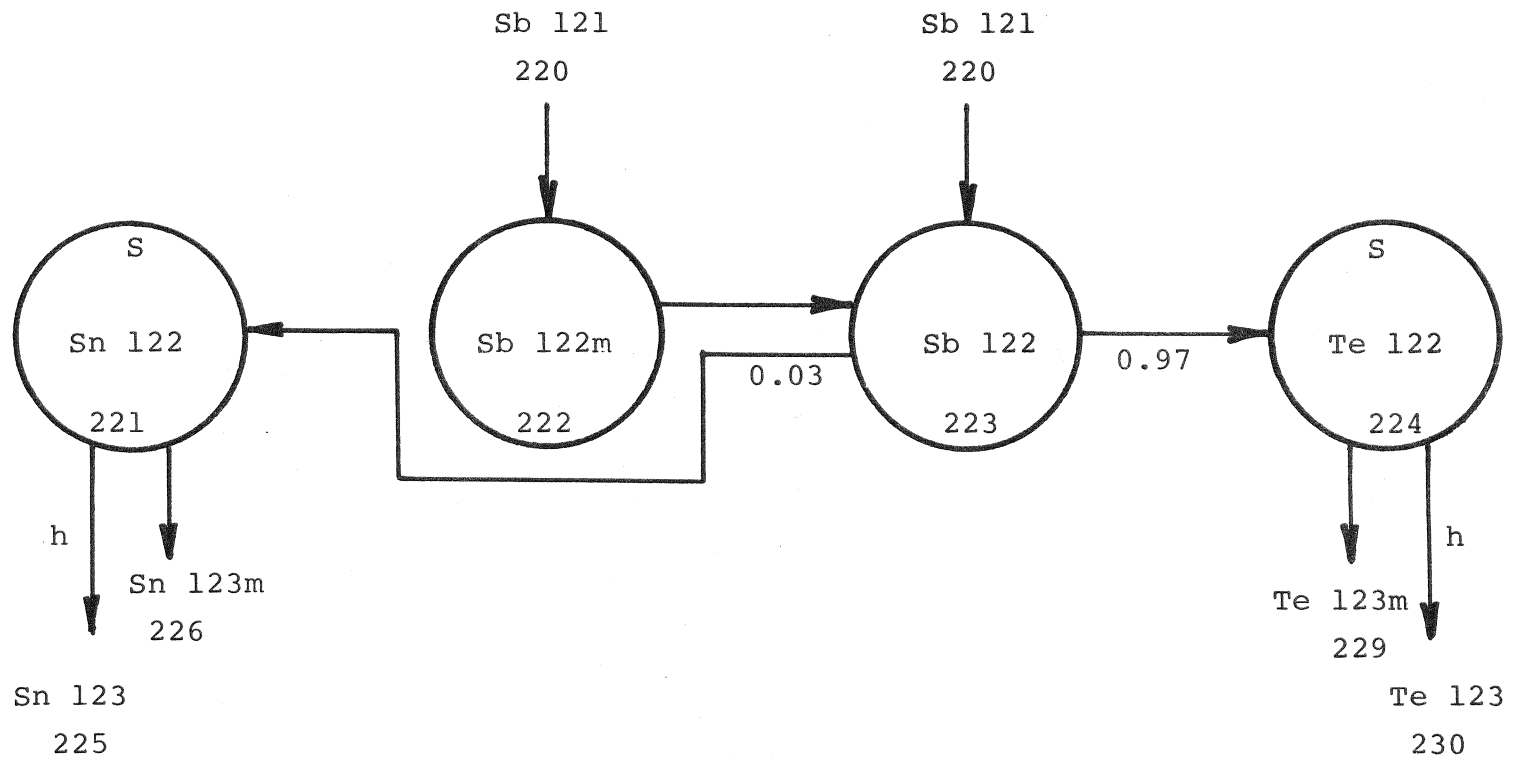






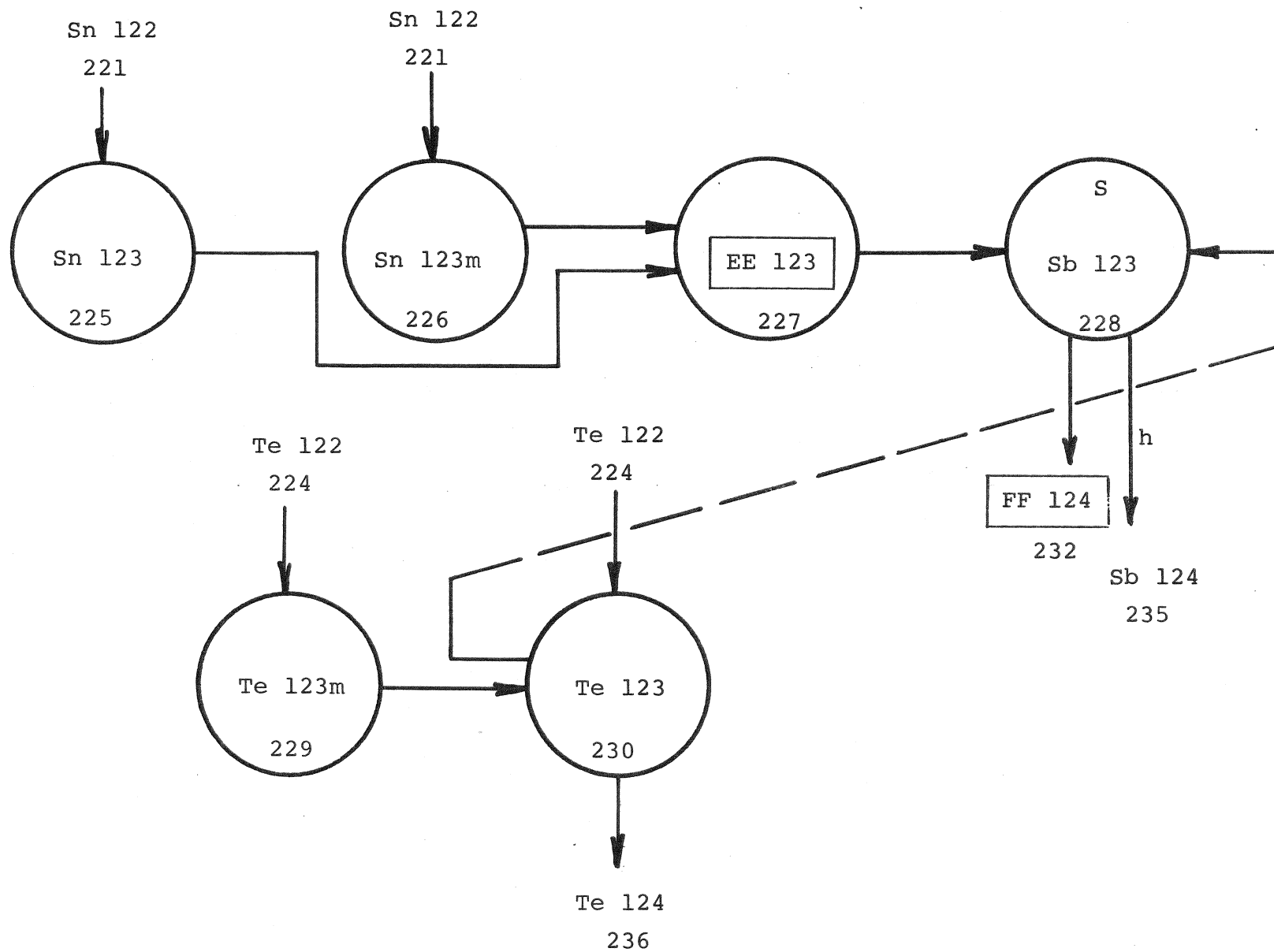


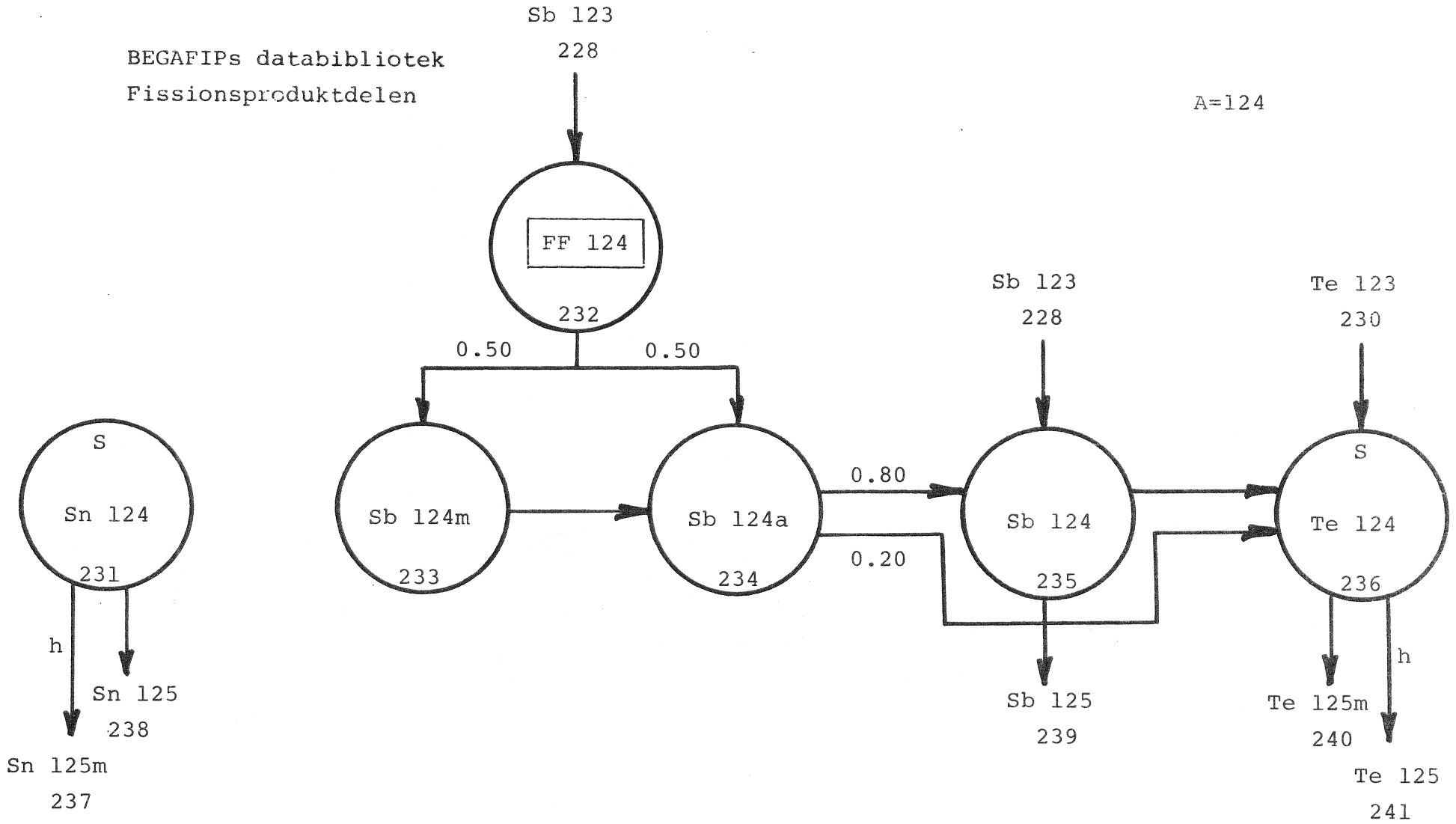




BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdelen

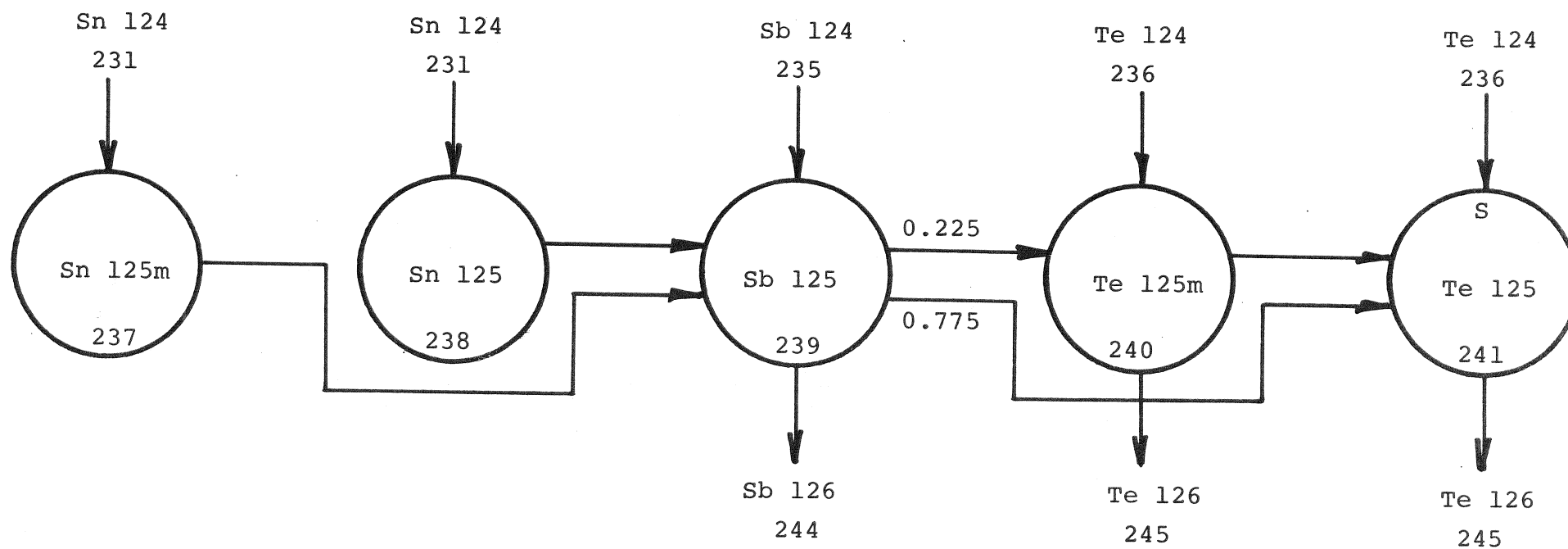
A=123

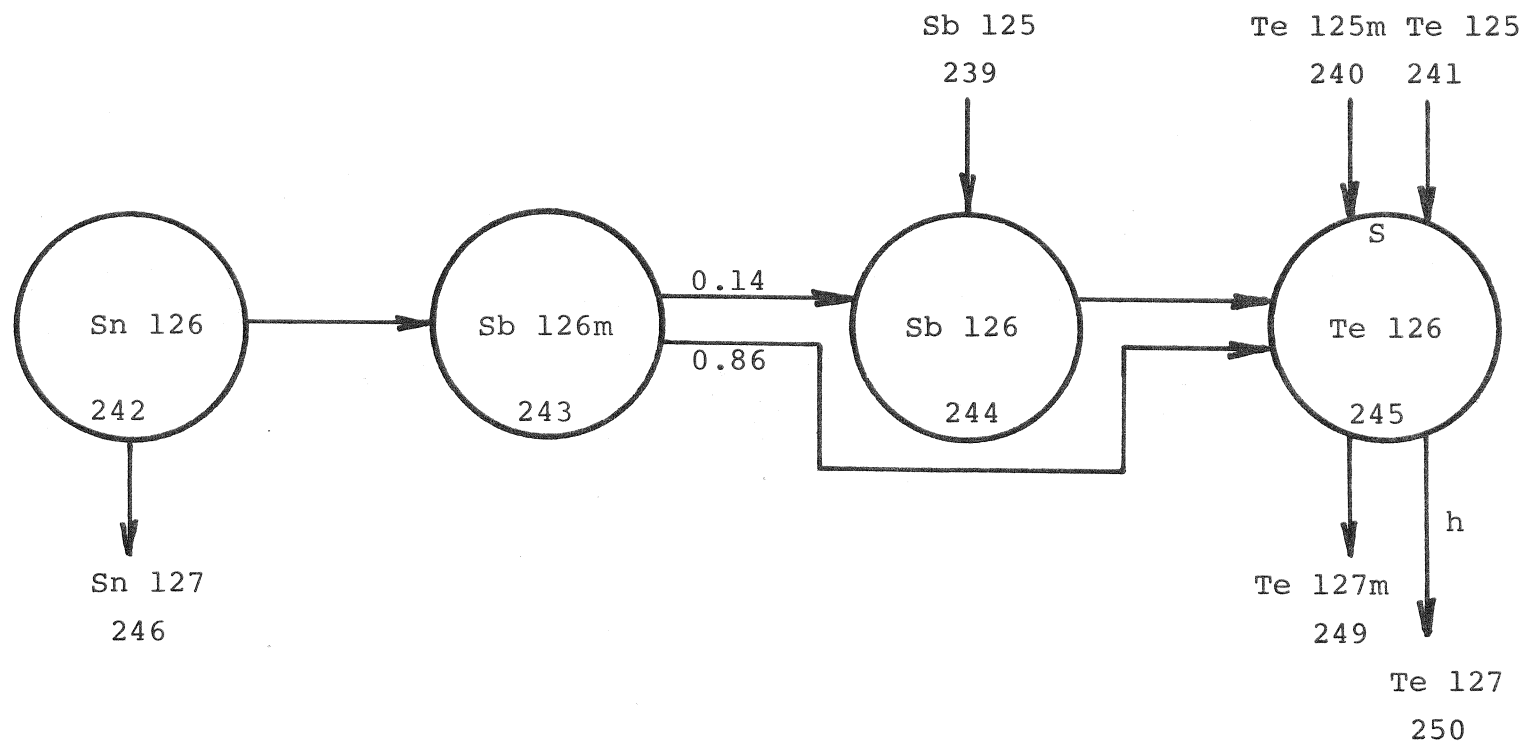




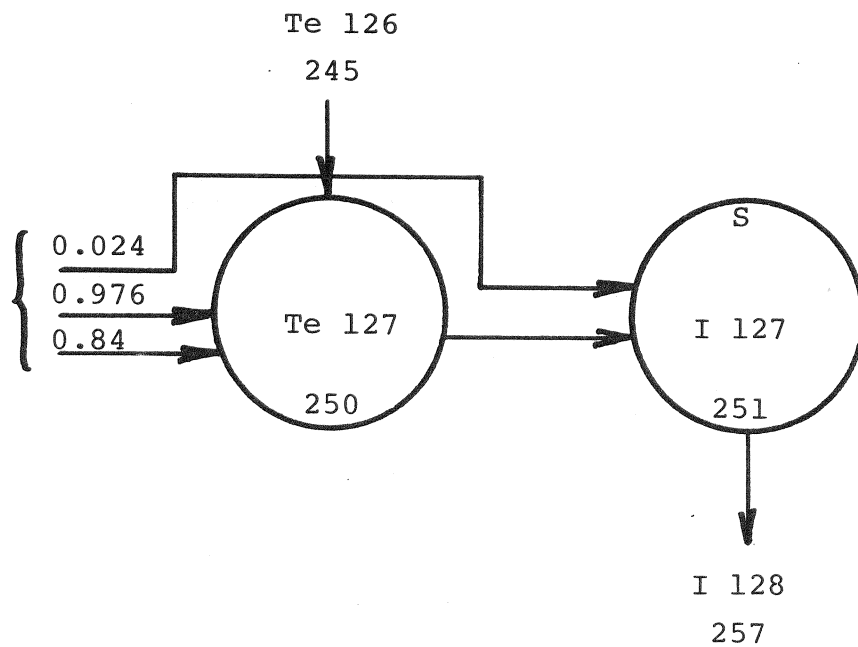
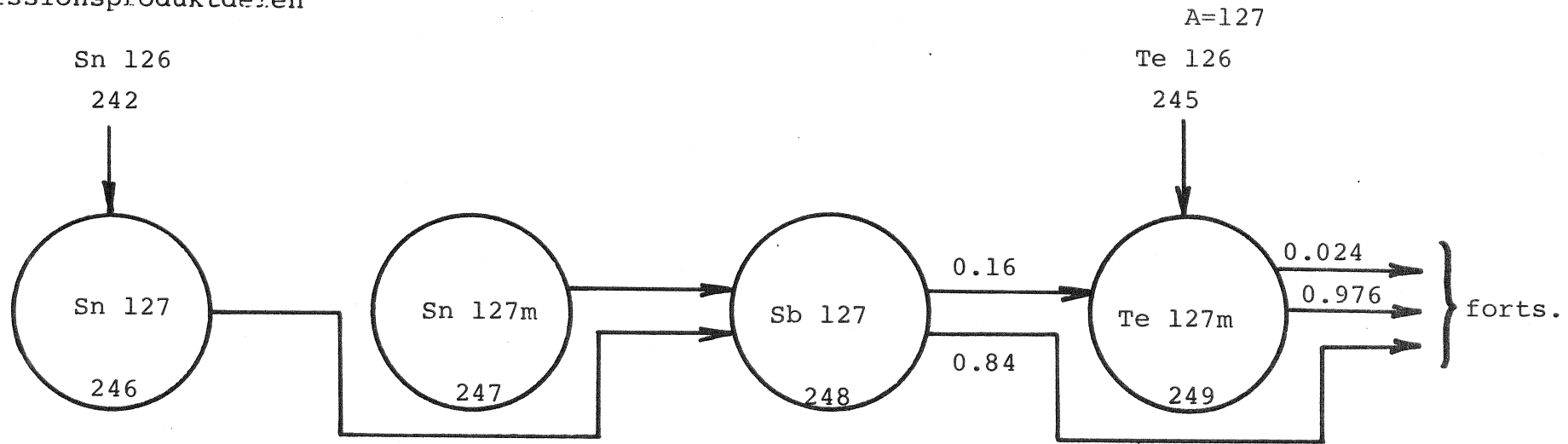
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

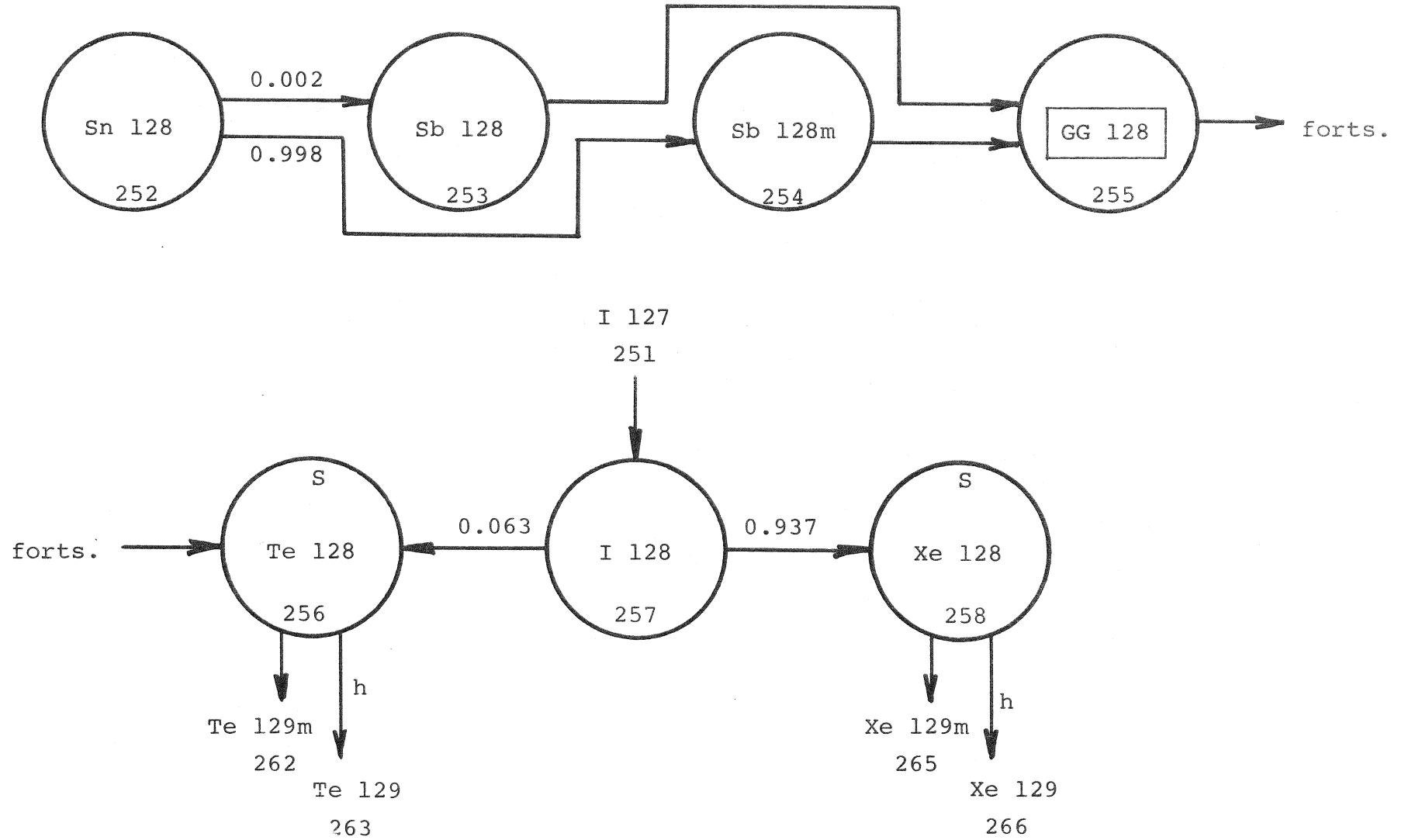
A=125





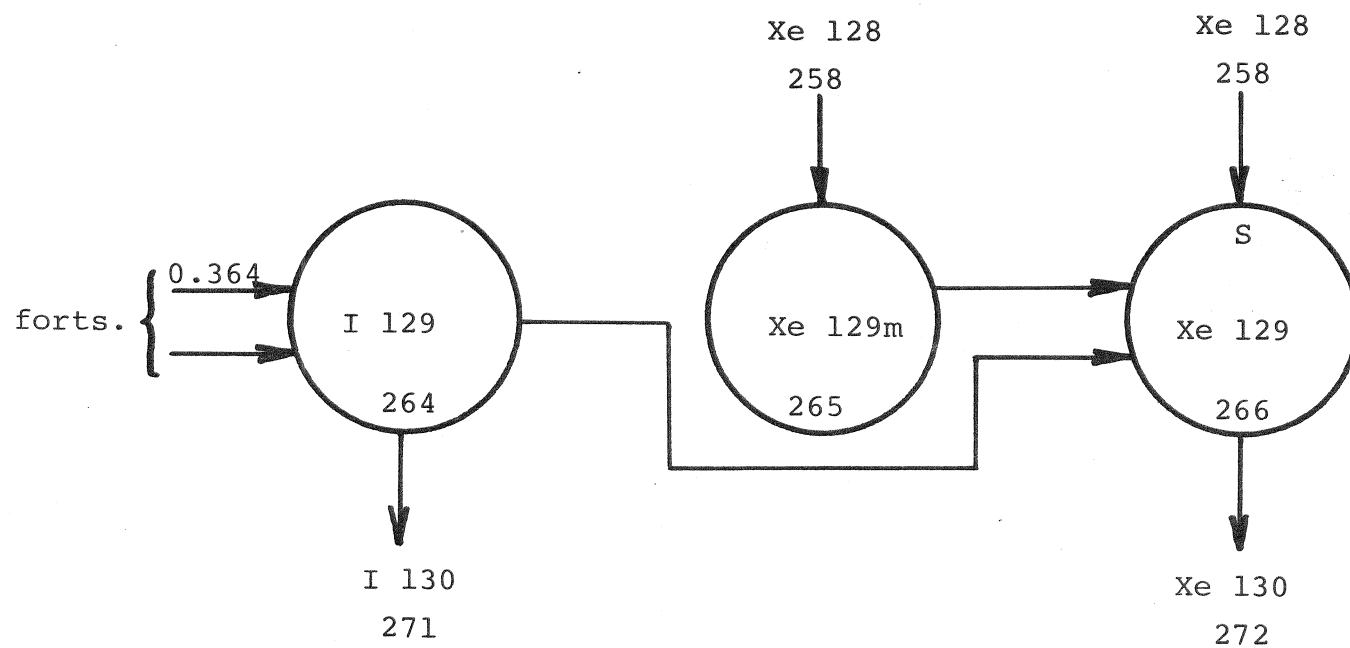
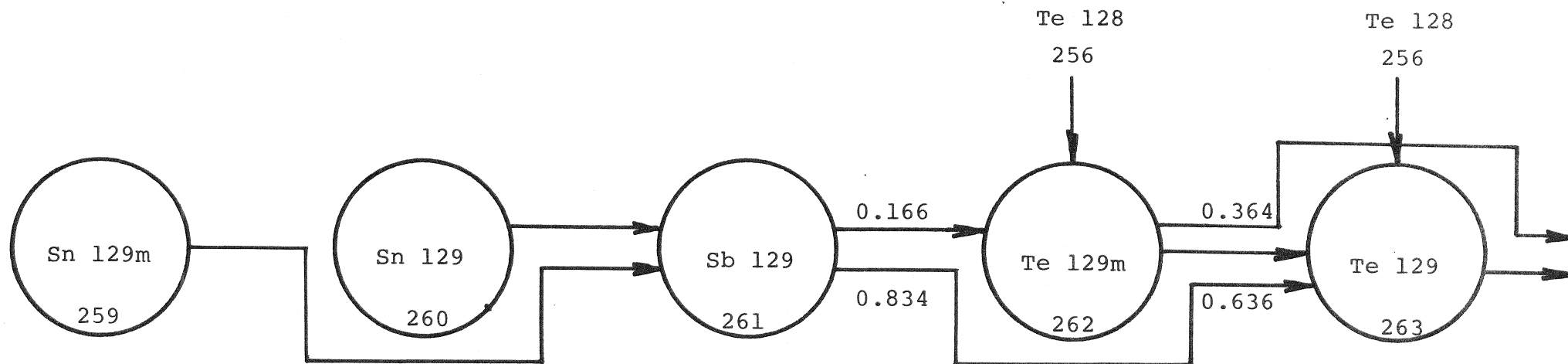
BEGAFIPs databibliotek
 Fissionsproduktdelen

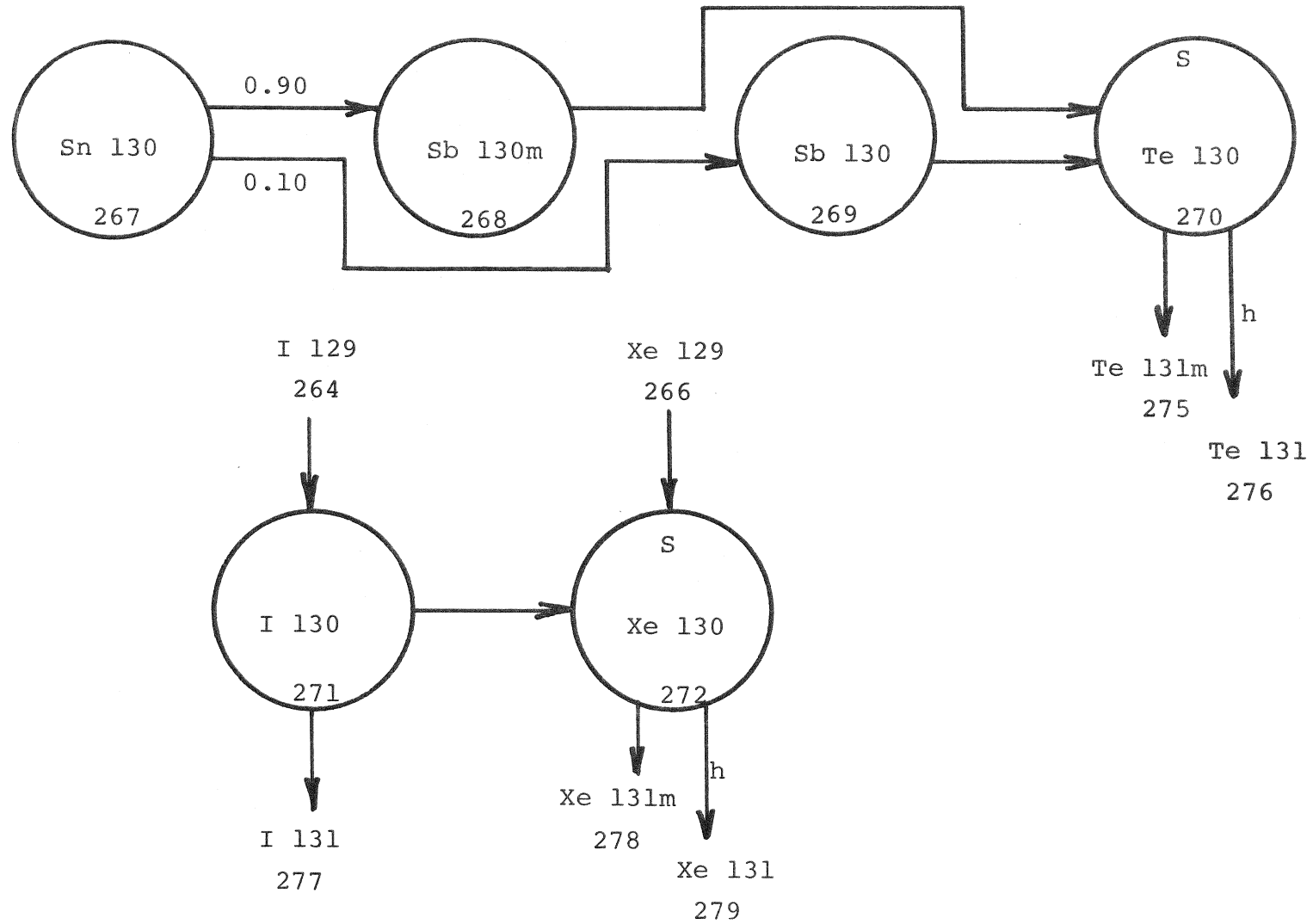




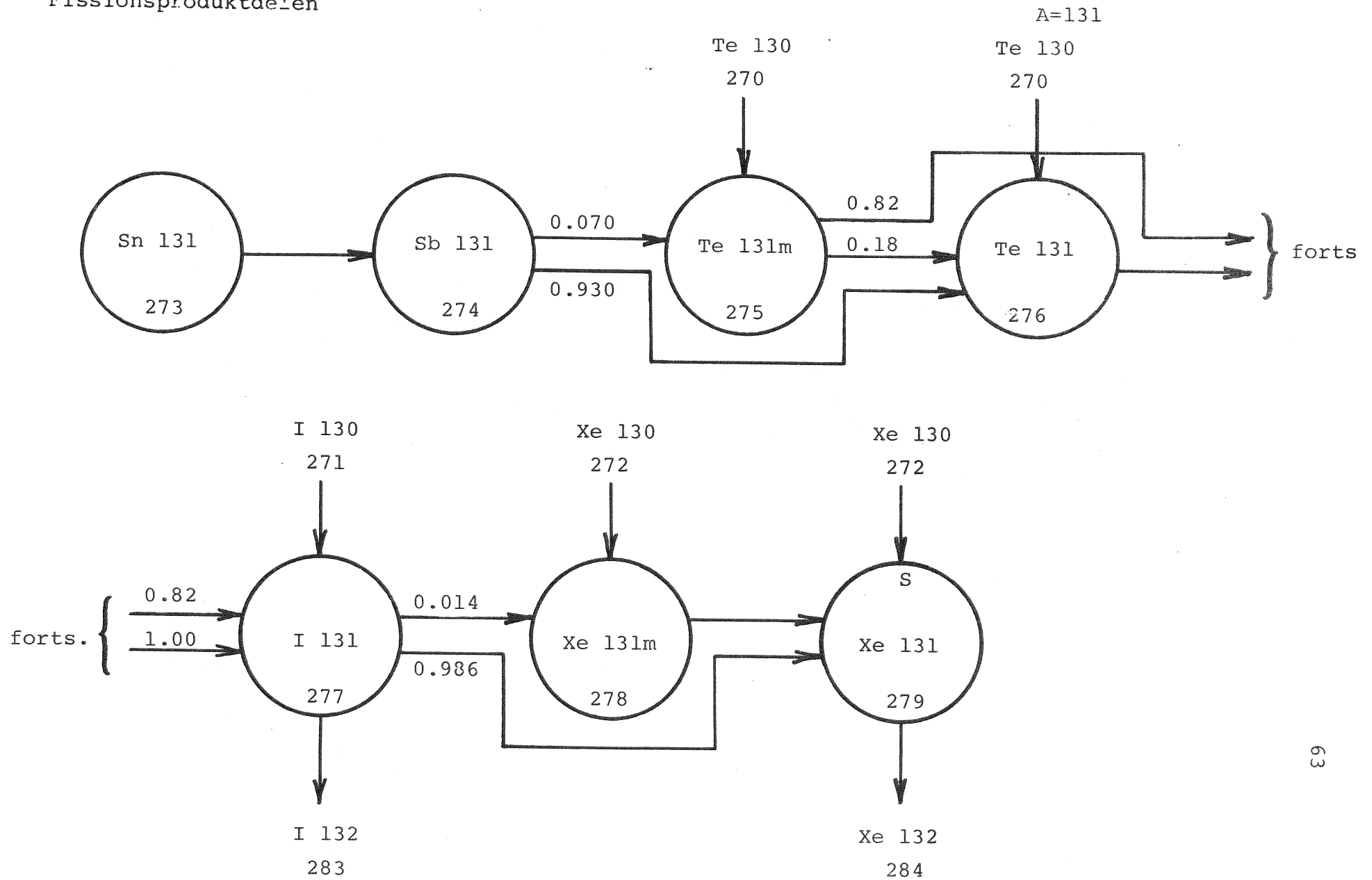
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdelen

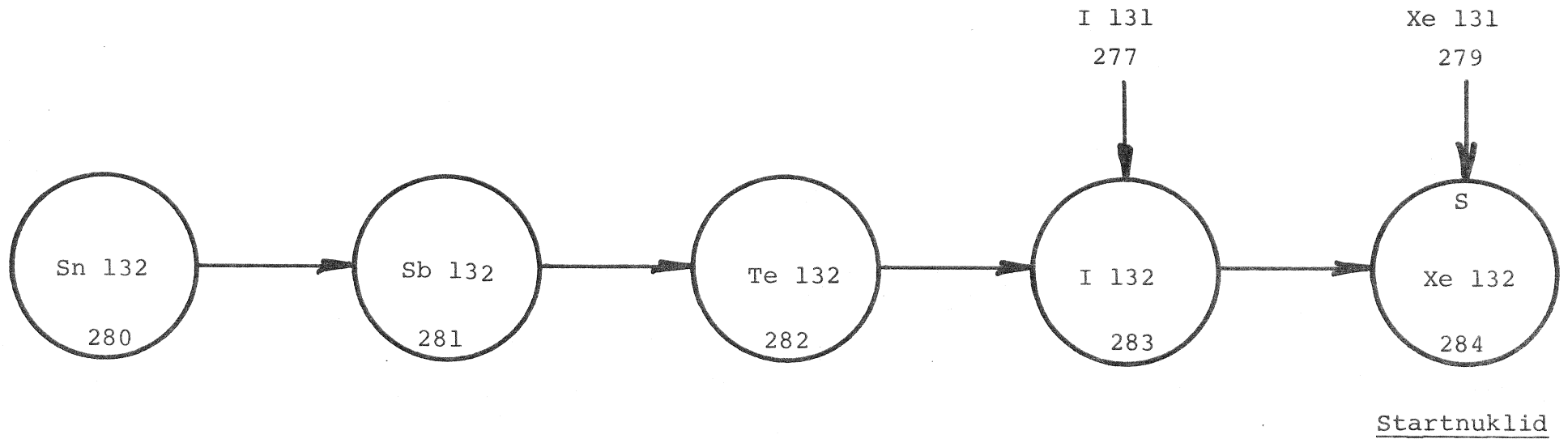
A=129

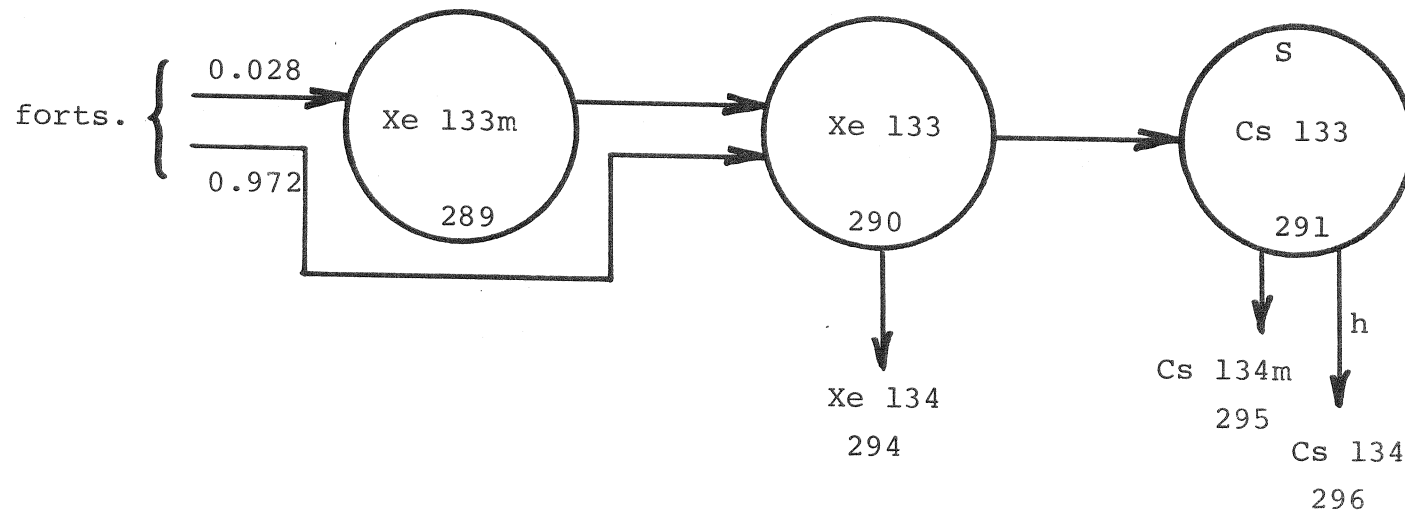
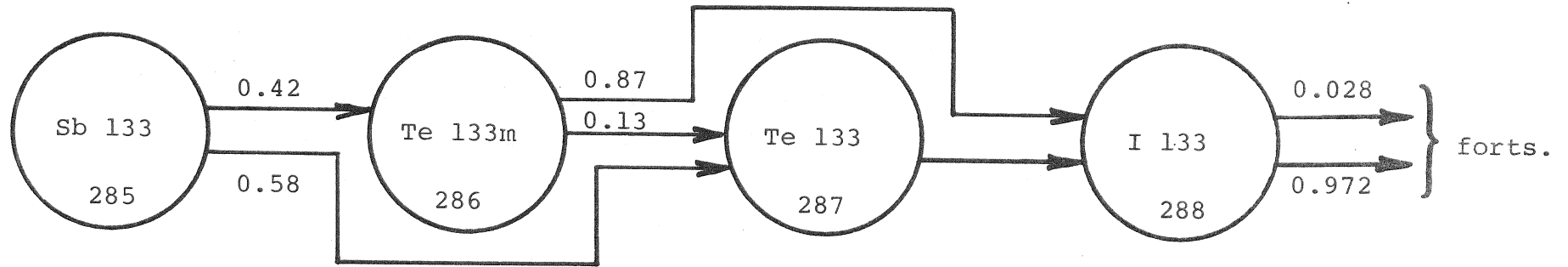




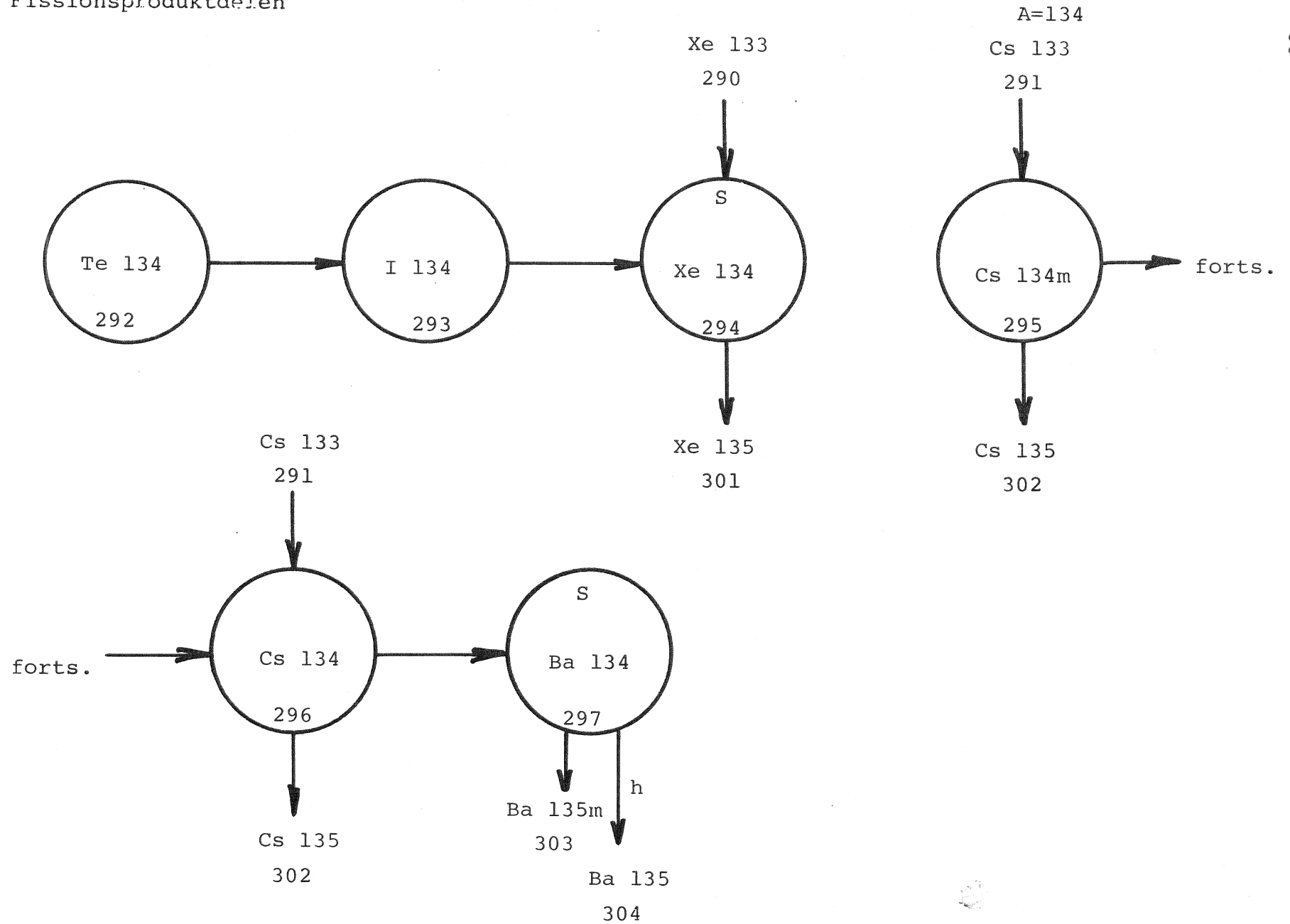
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen



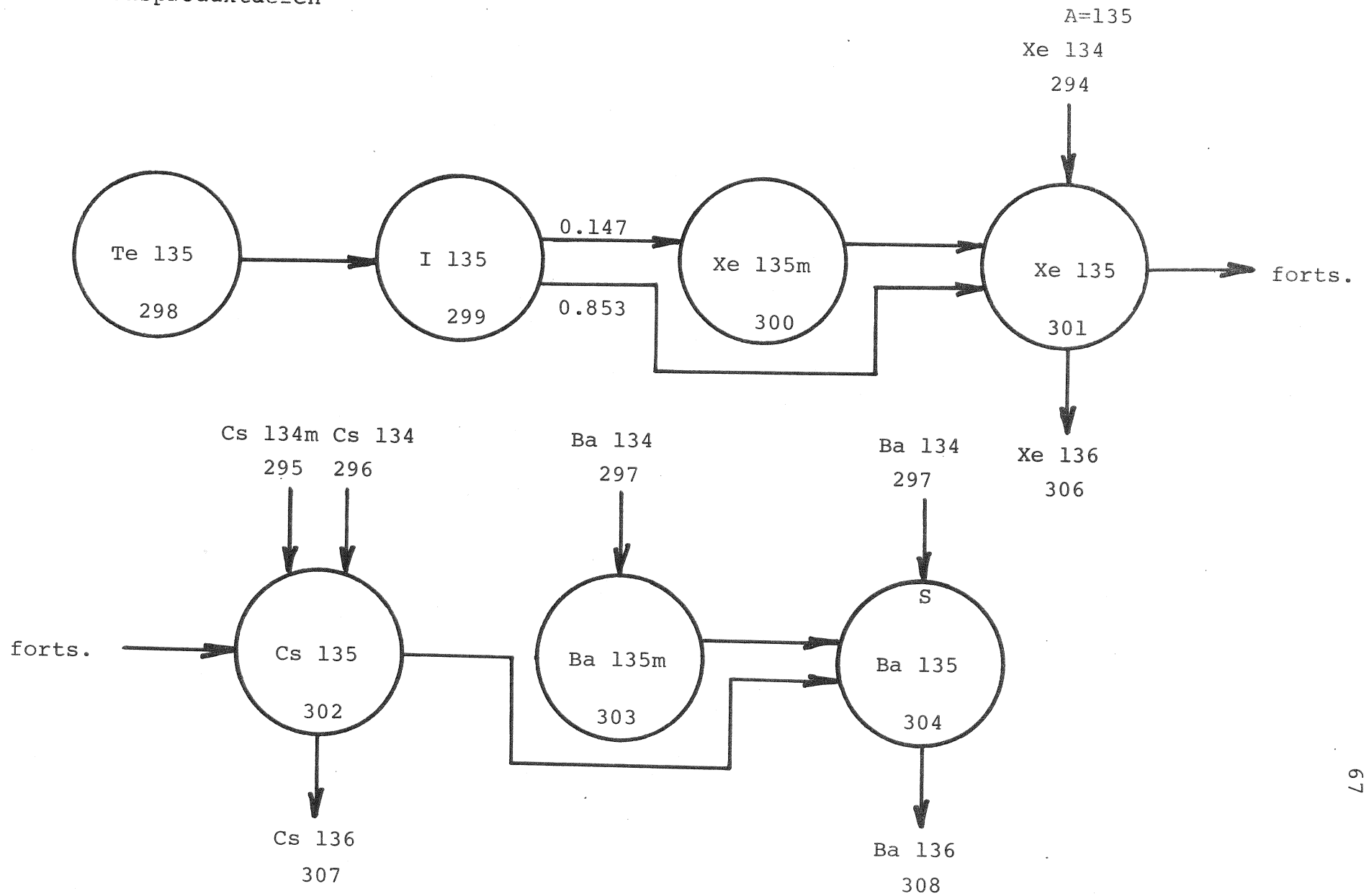


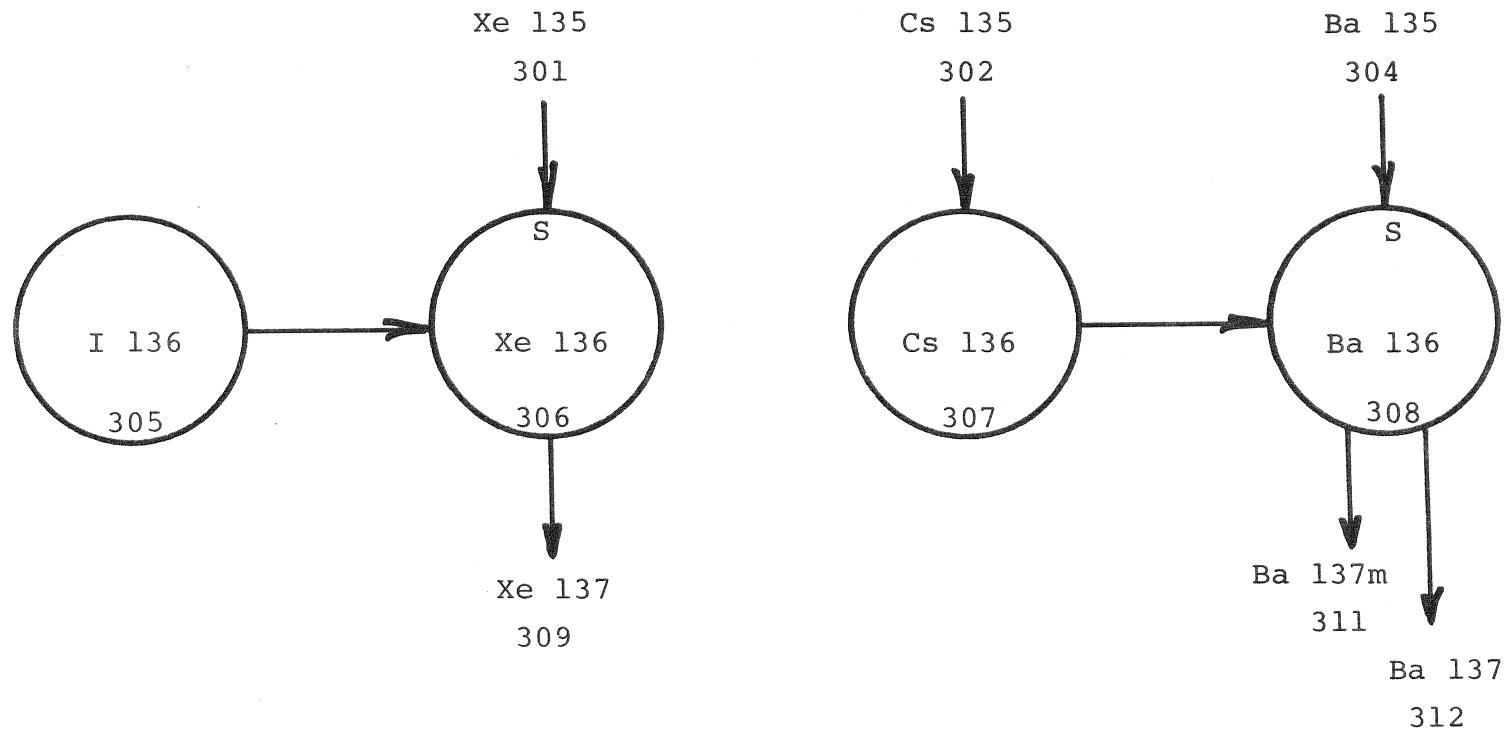


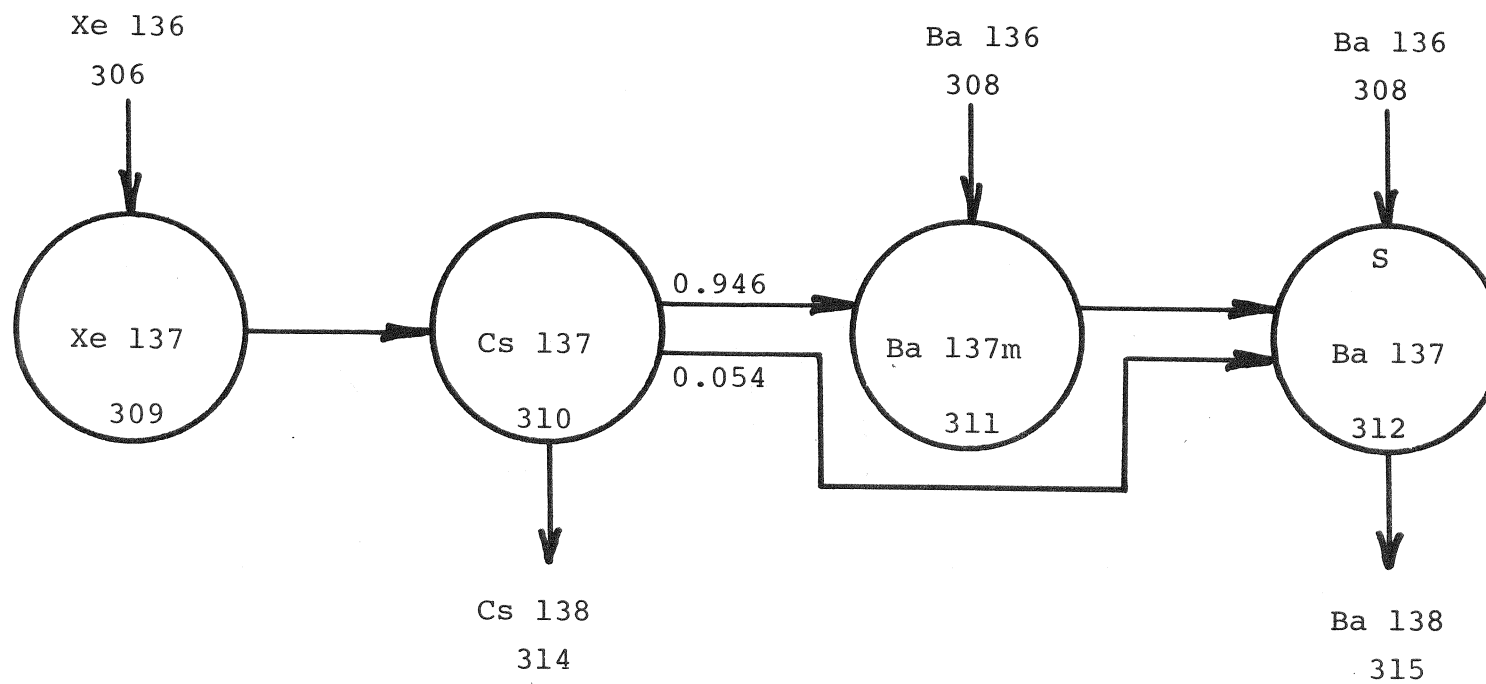
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

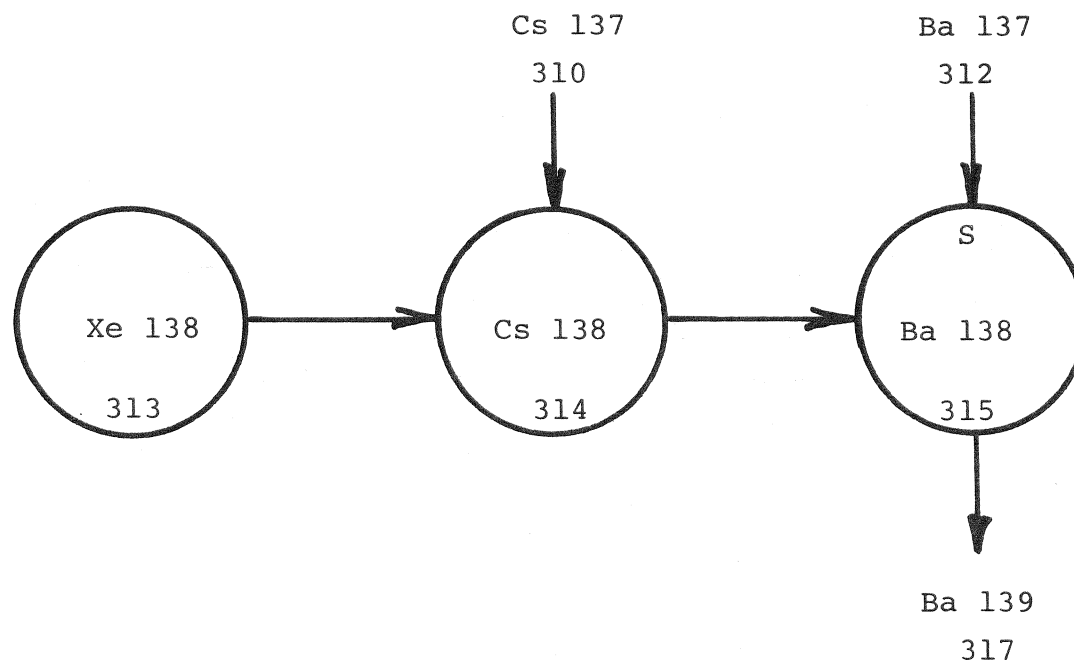


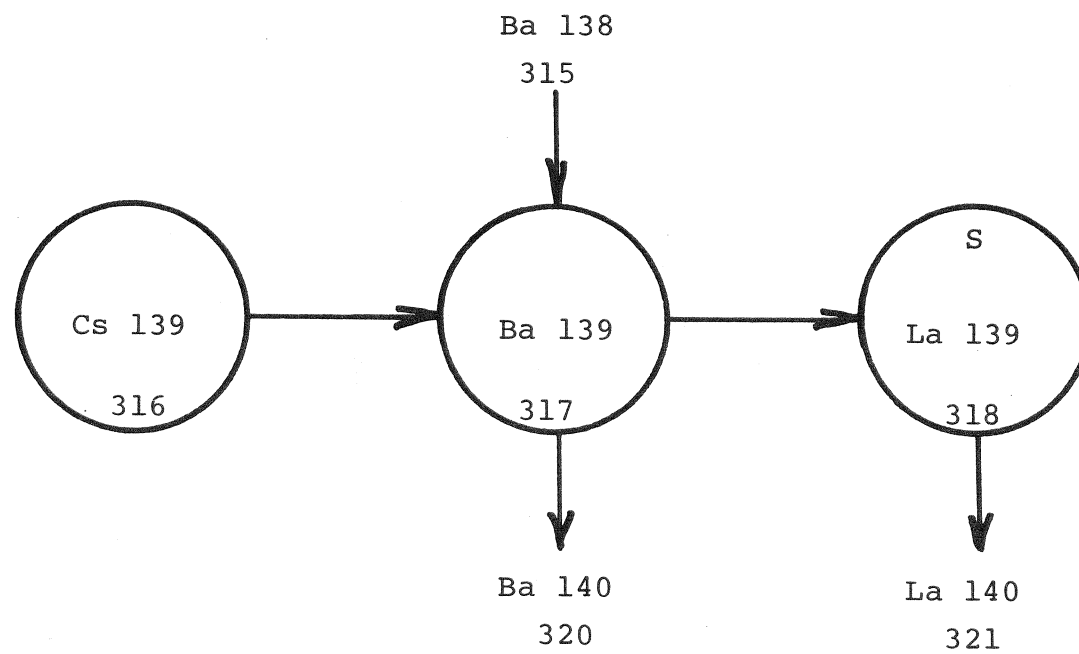
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsprodukt delen

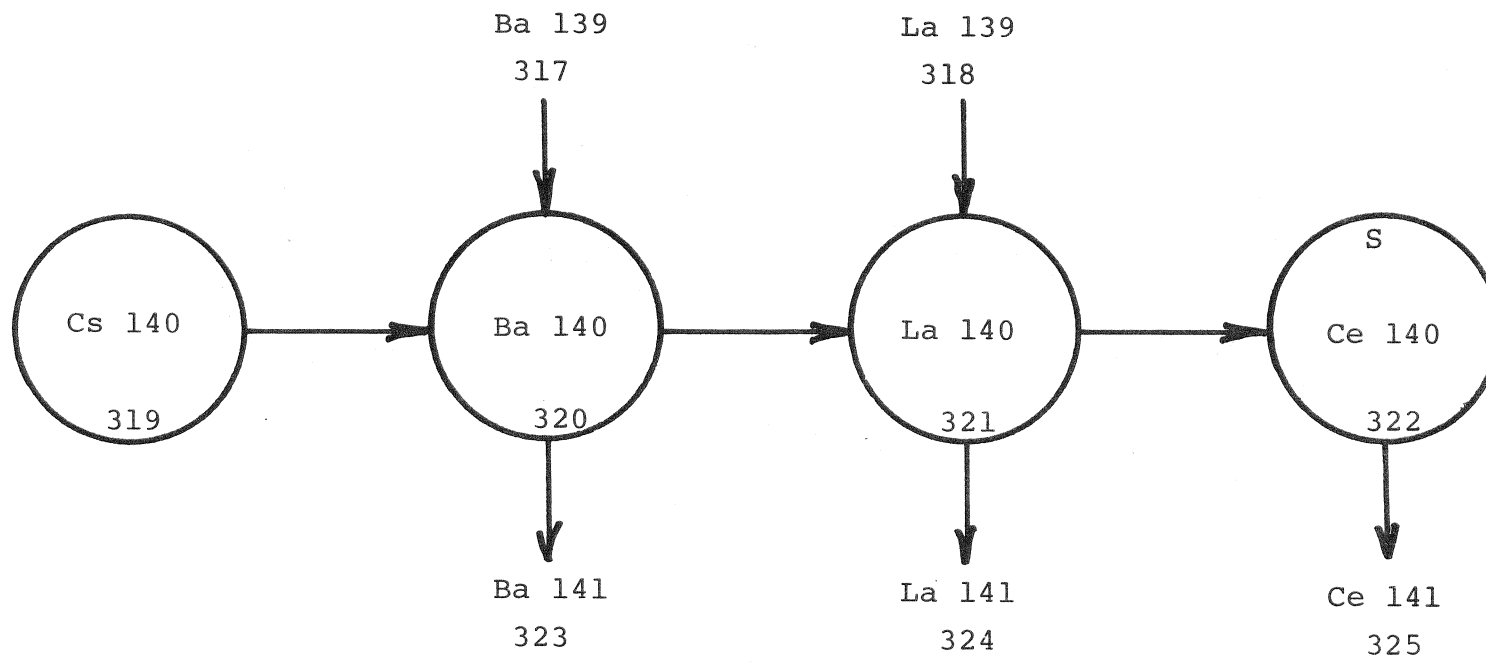






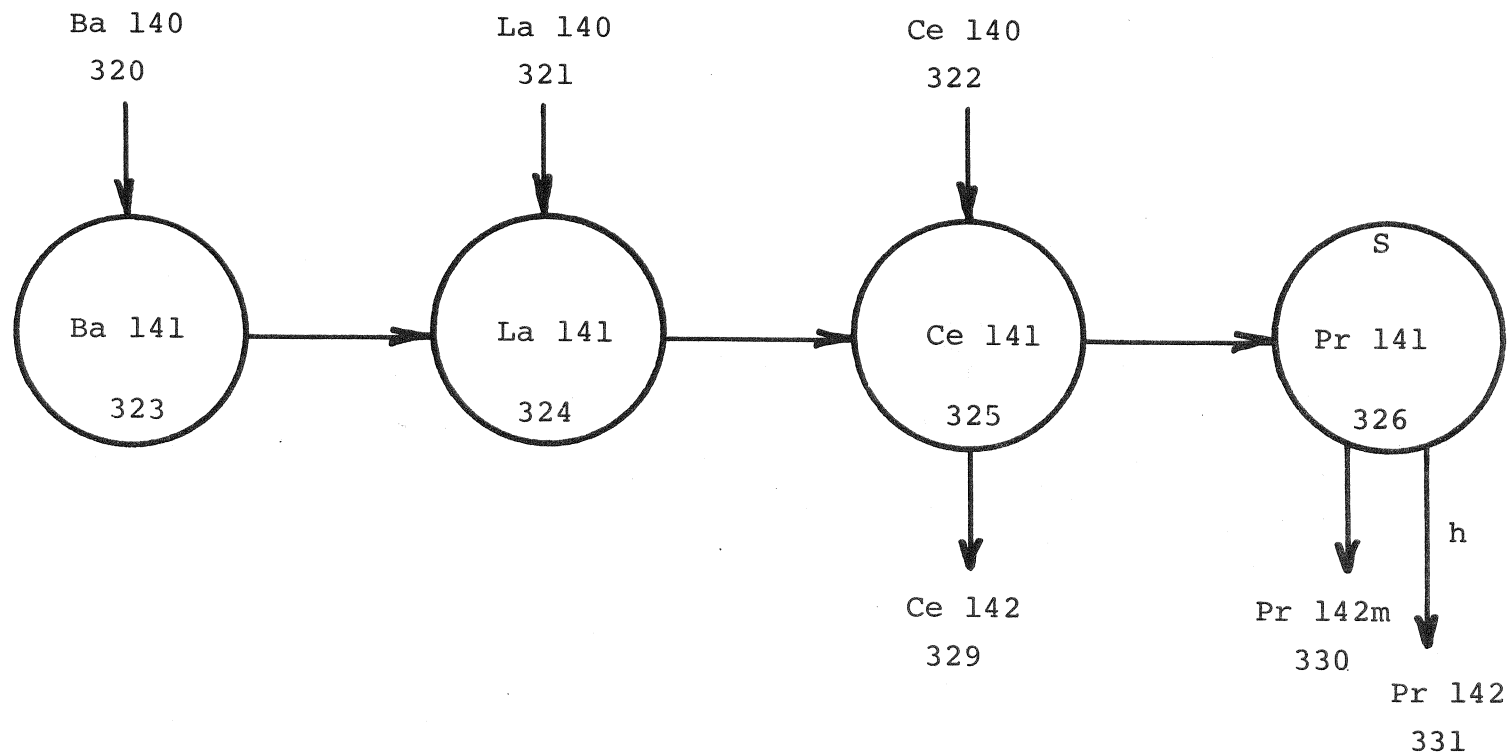




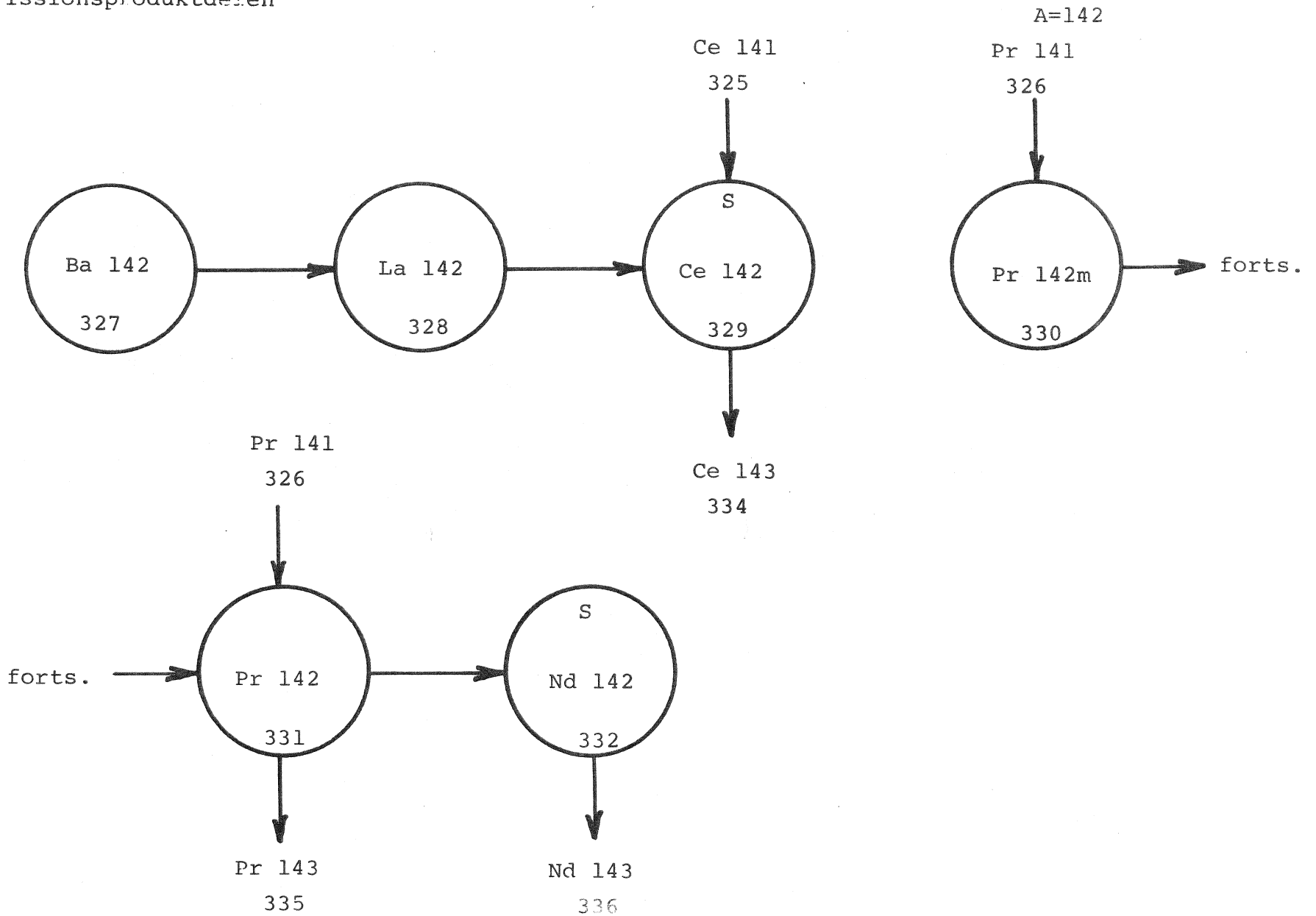


BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdegen

A=141

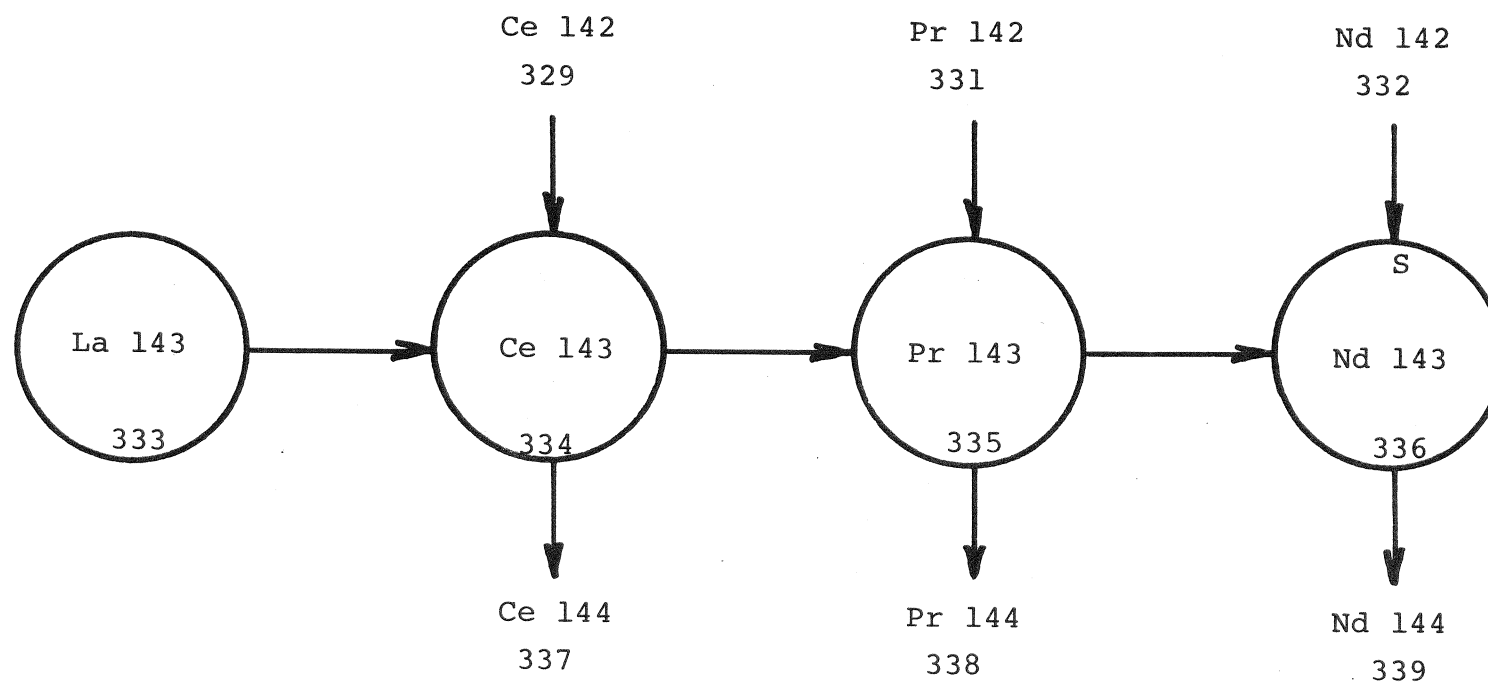


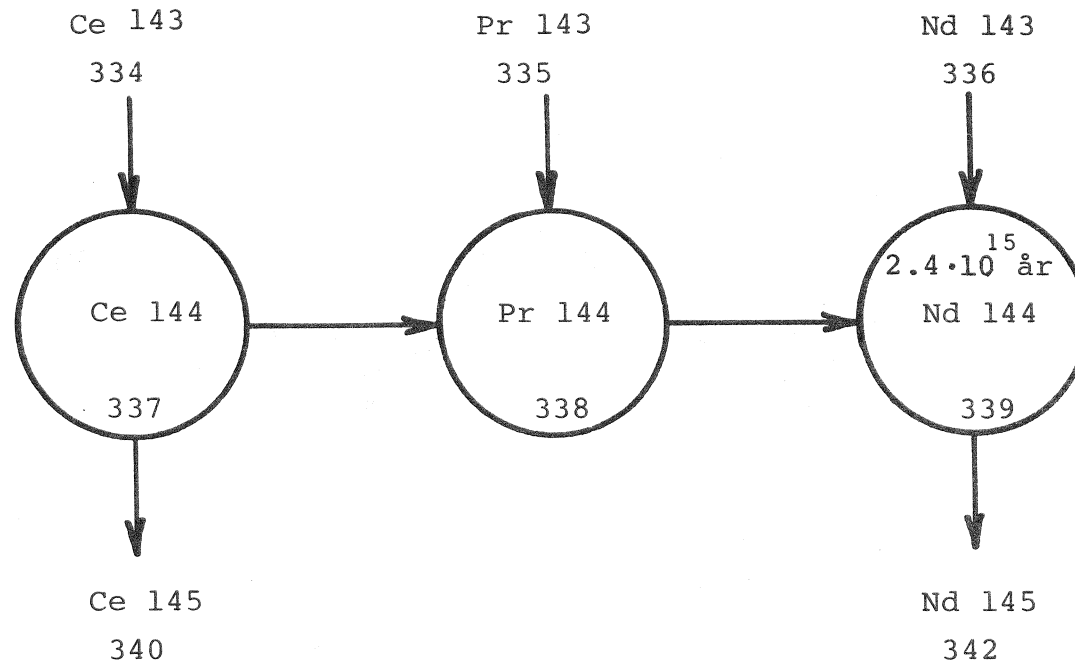
BEGAFIPS databibliotek
Fissionsprodukt delen

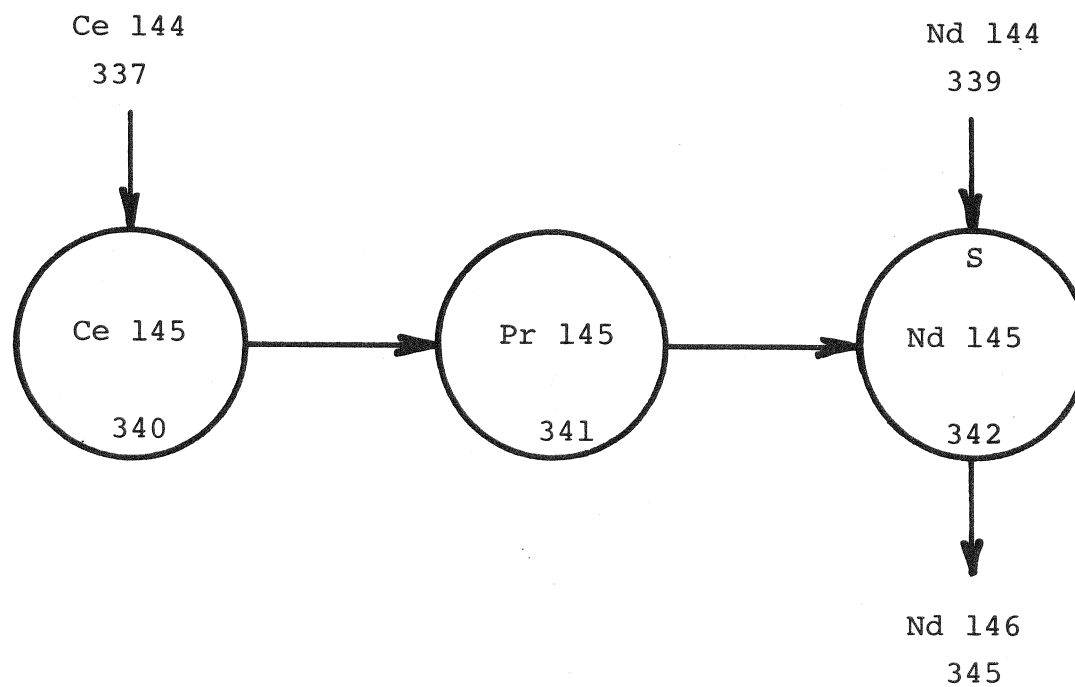


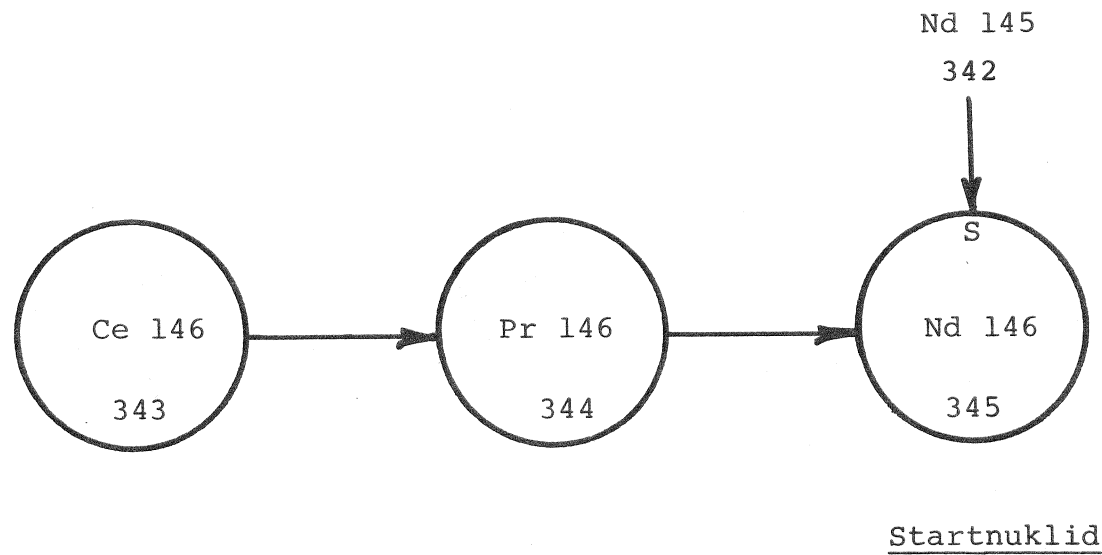
BEGAFIPs databibliotek
Fissionsproduktdegen

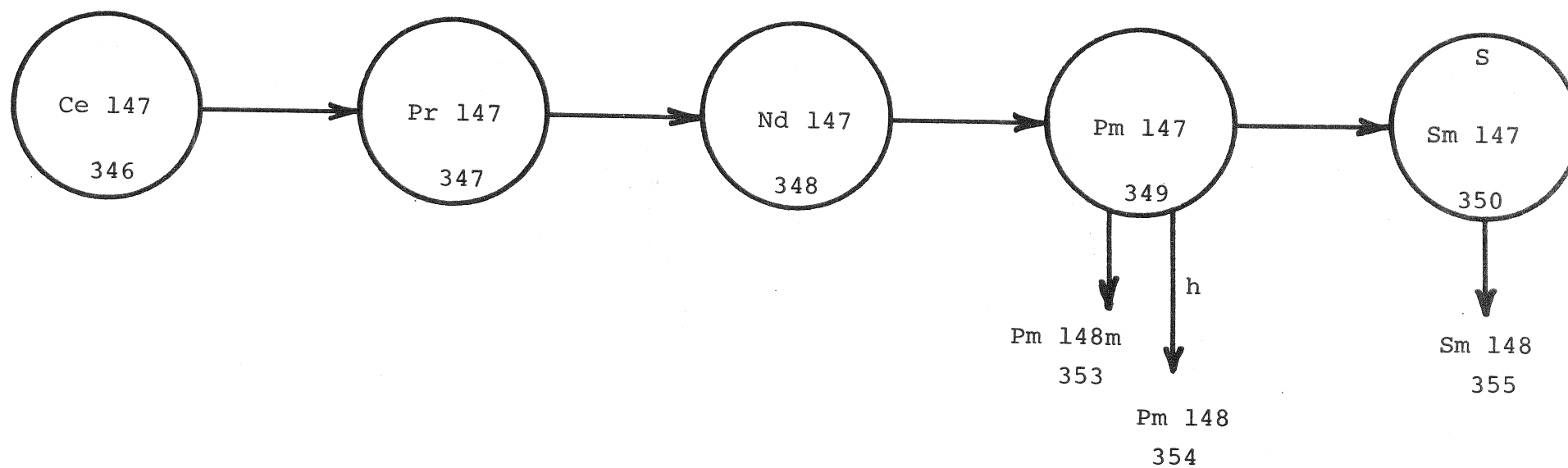
A=143

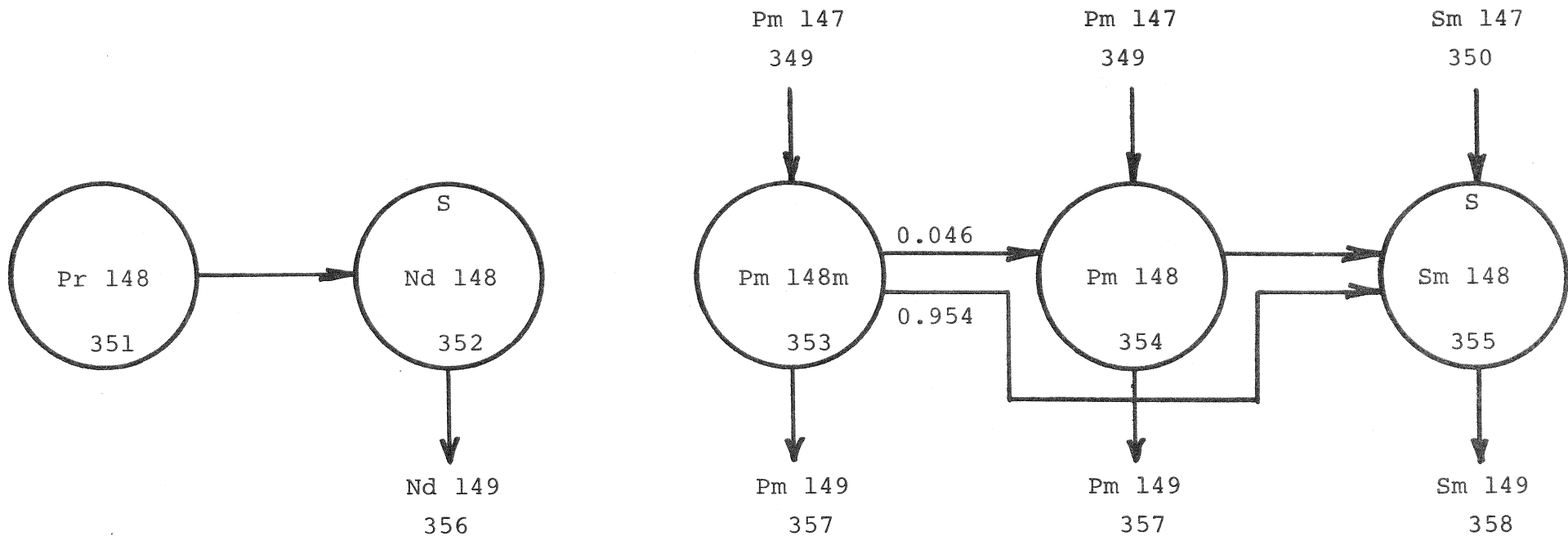


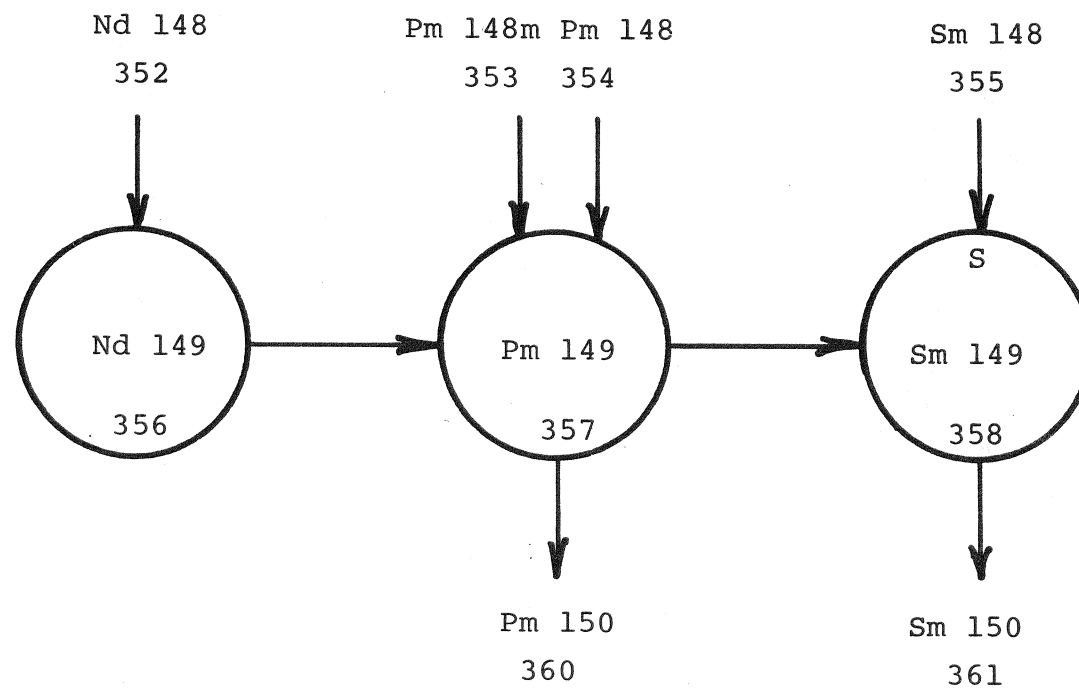


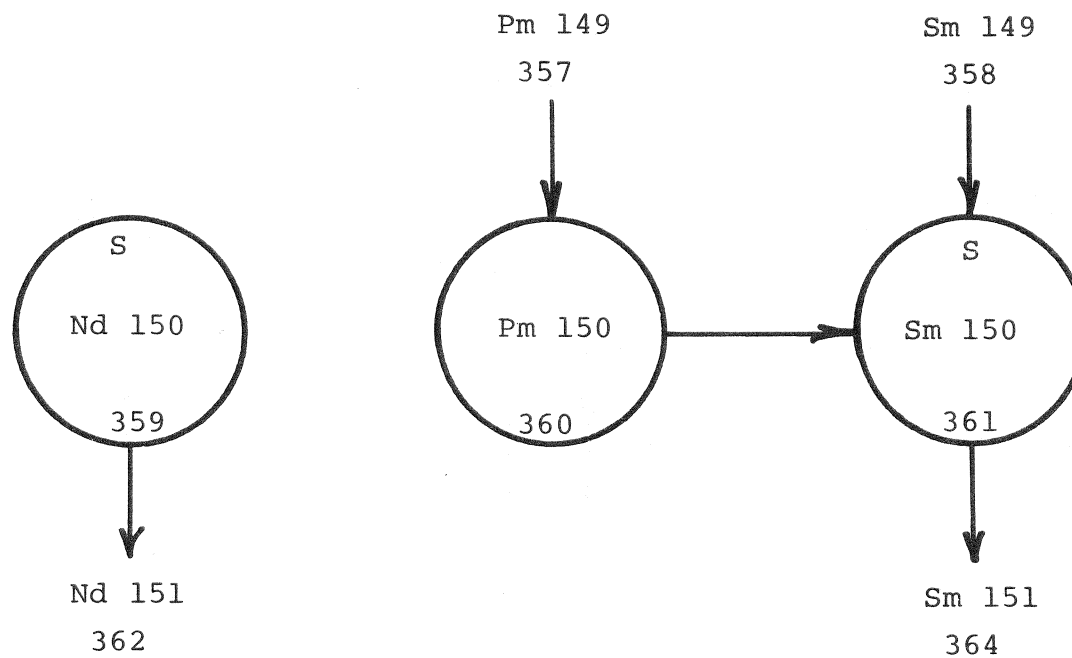


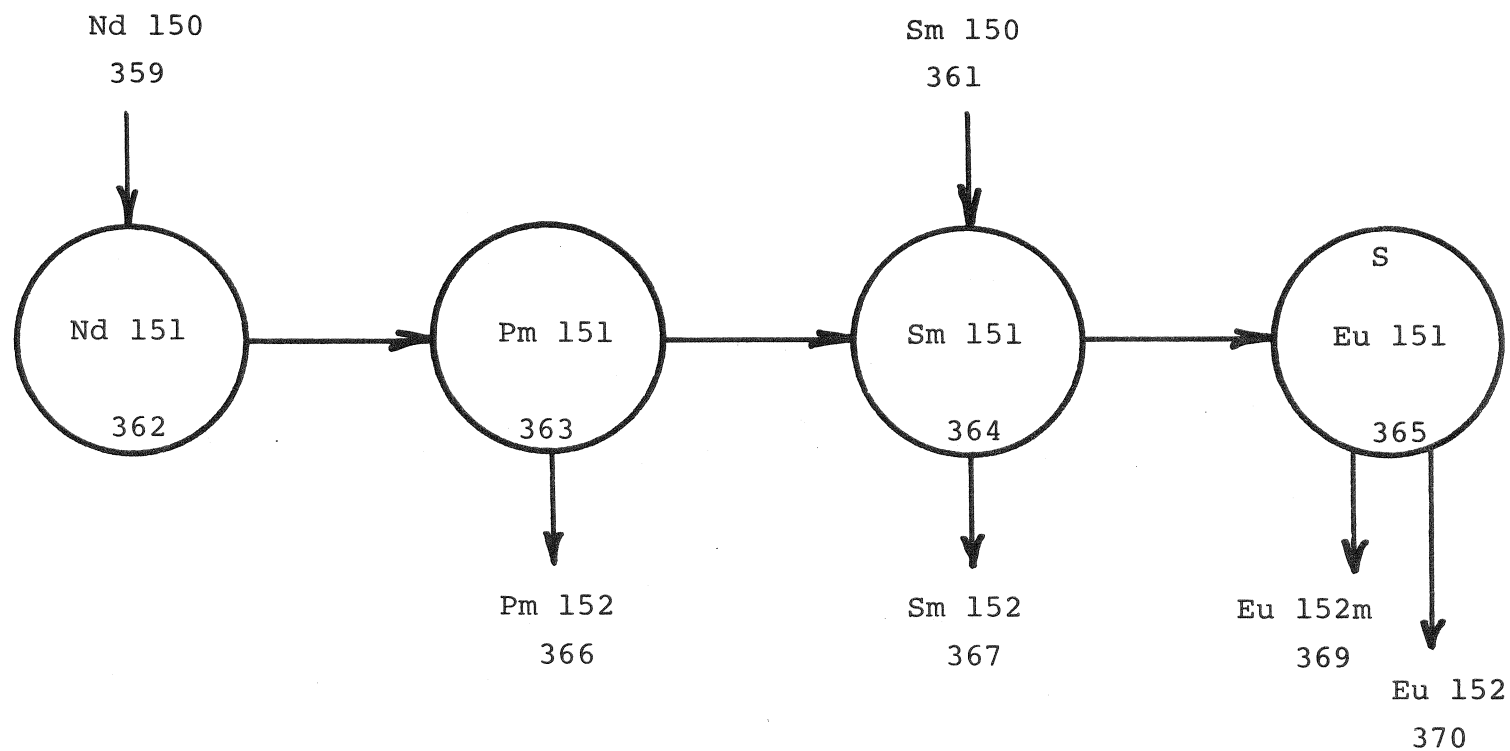


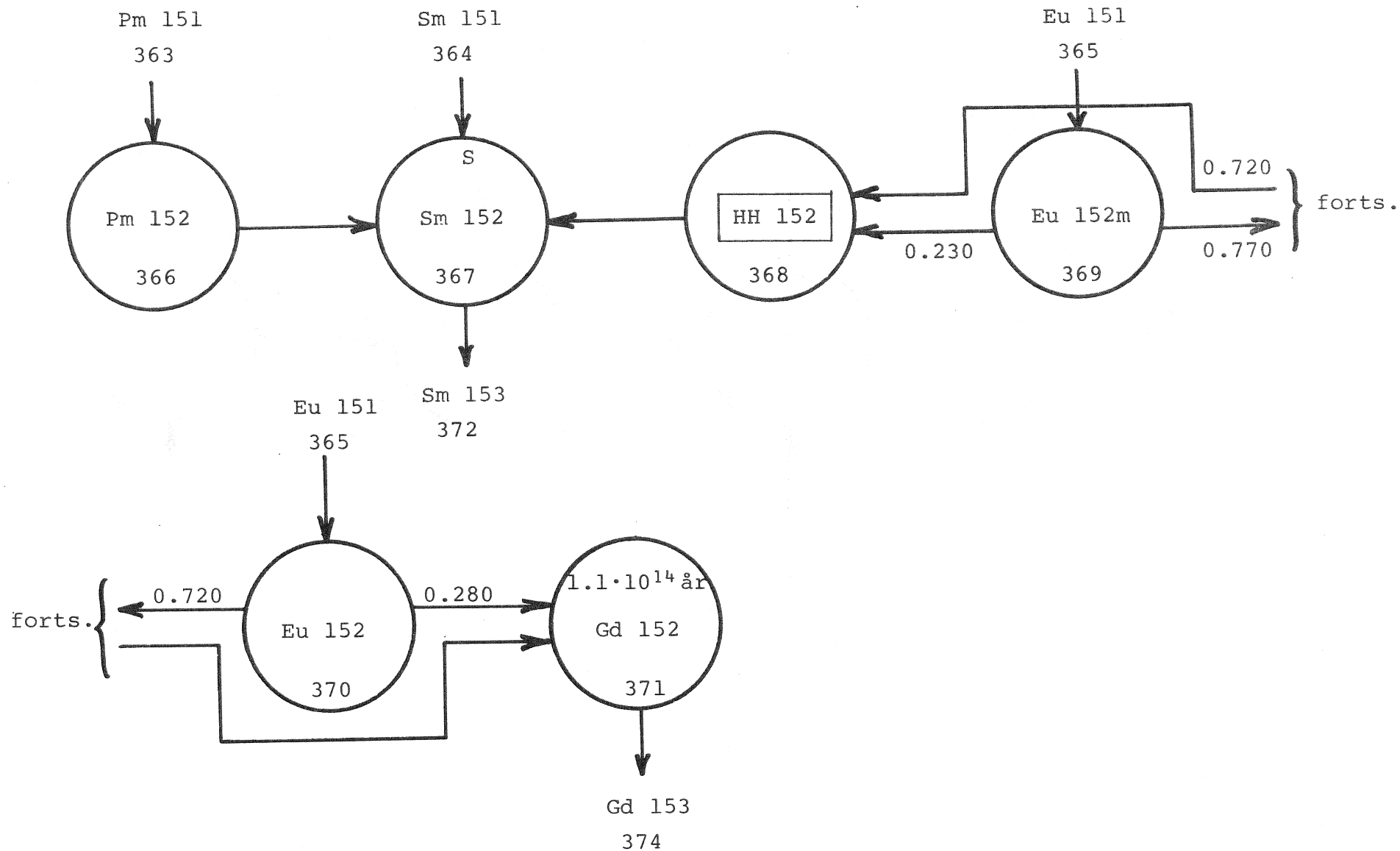


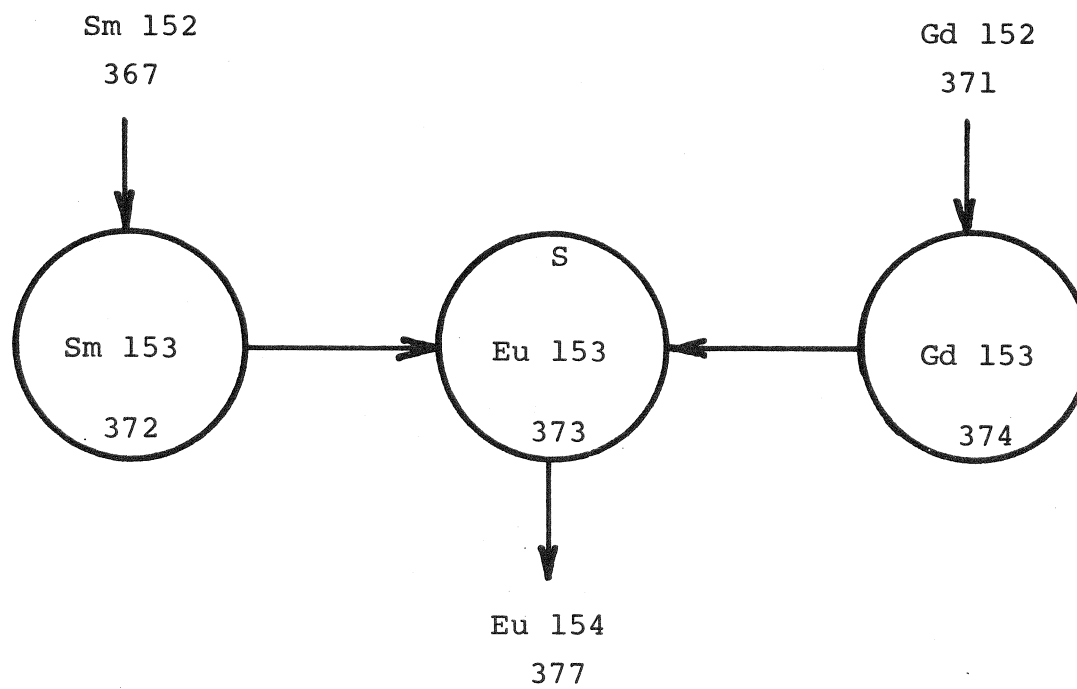


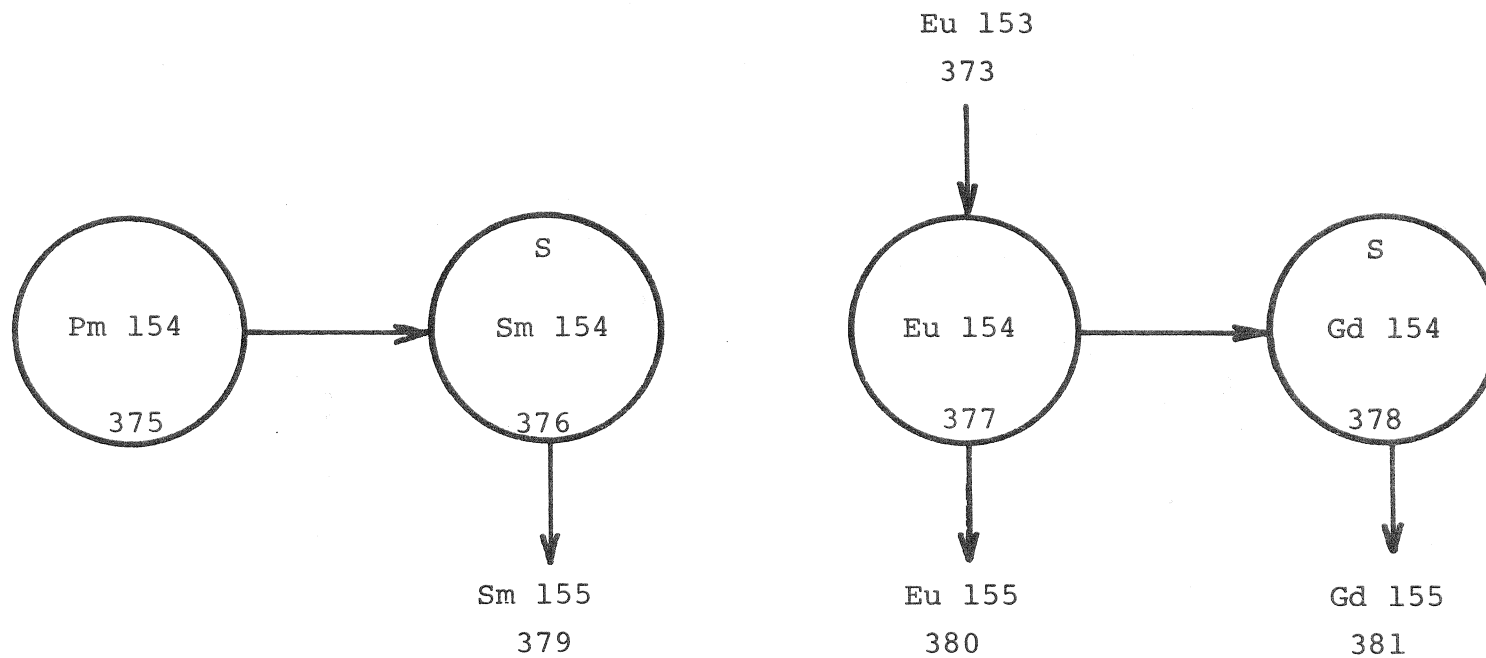


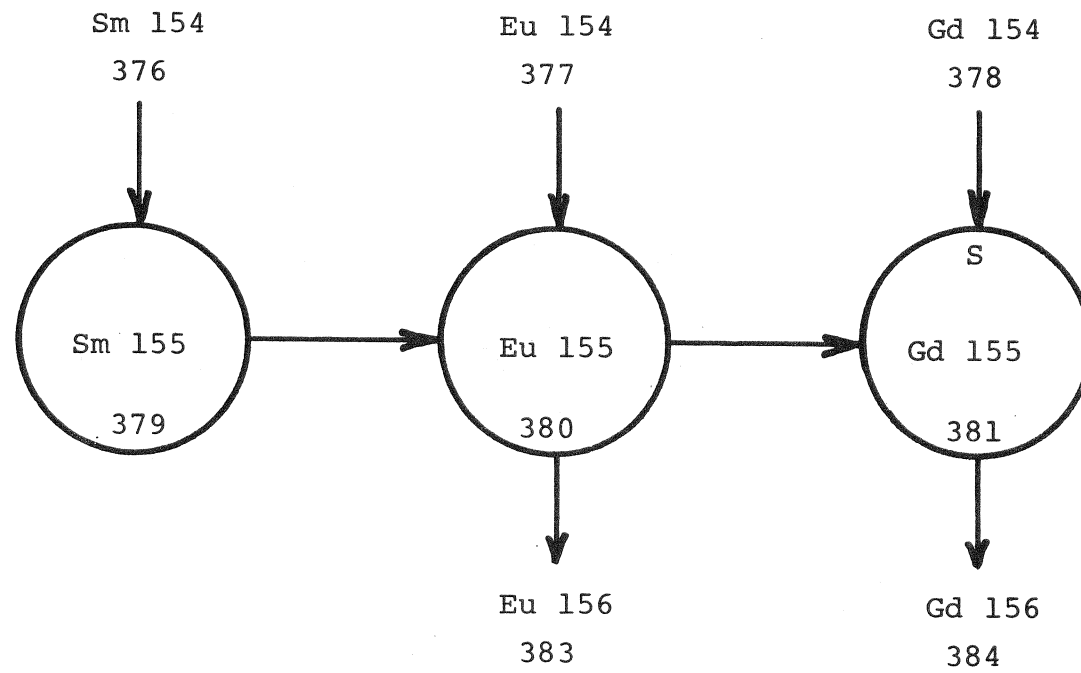


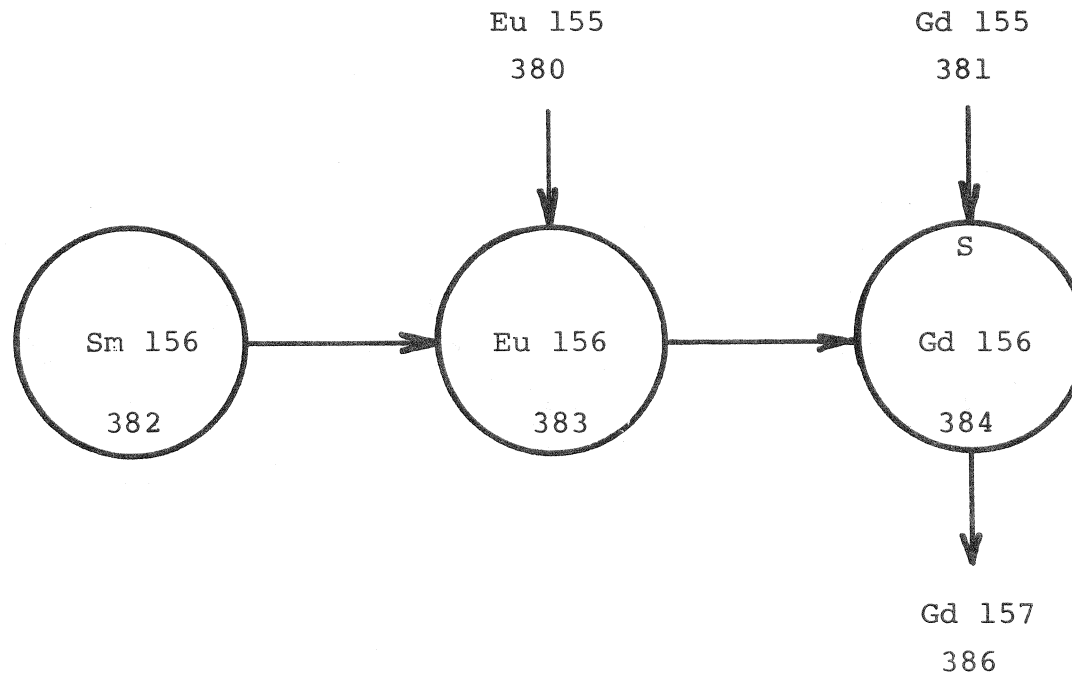


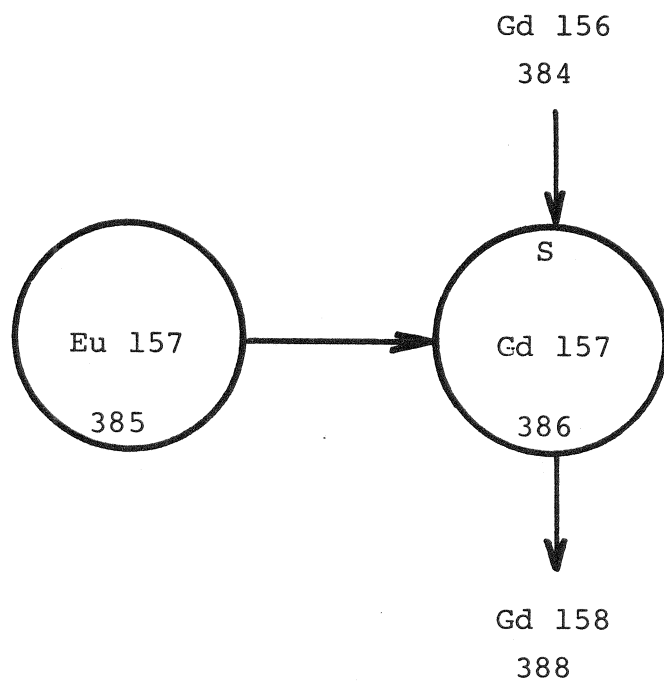


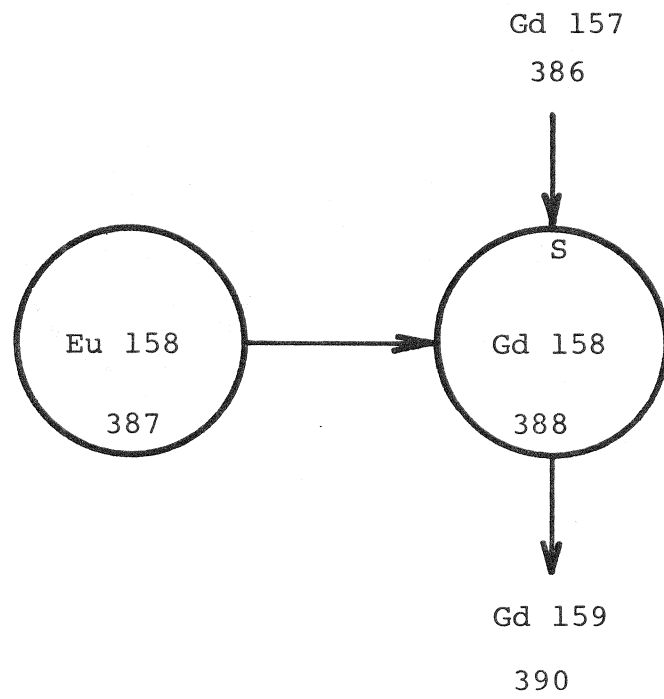


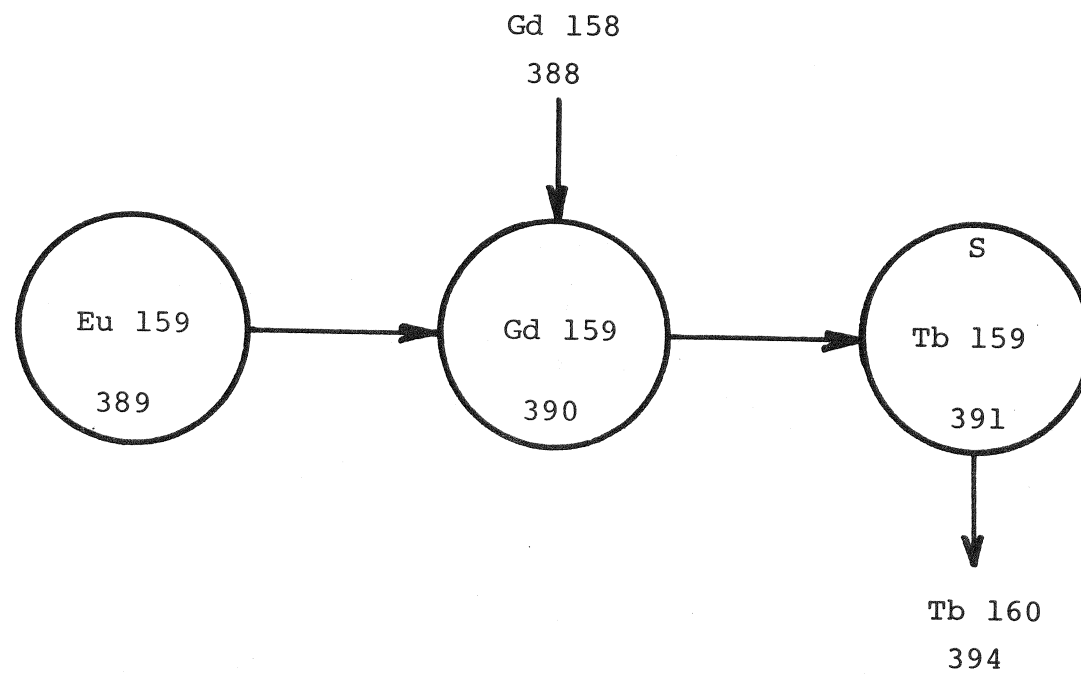


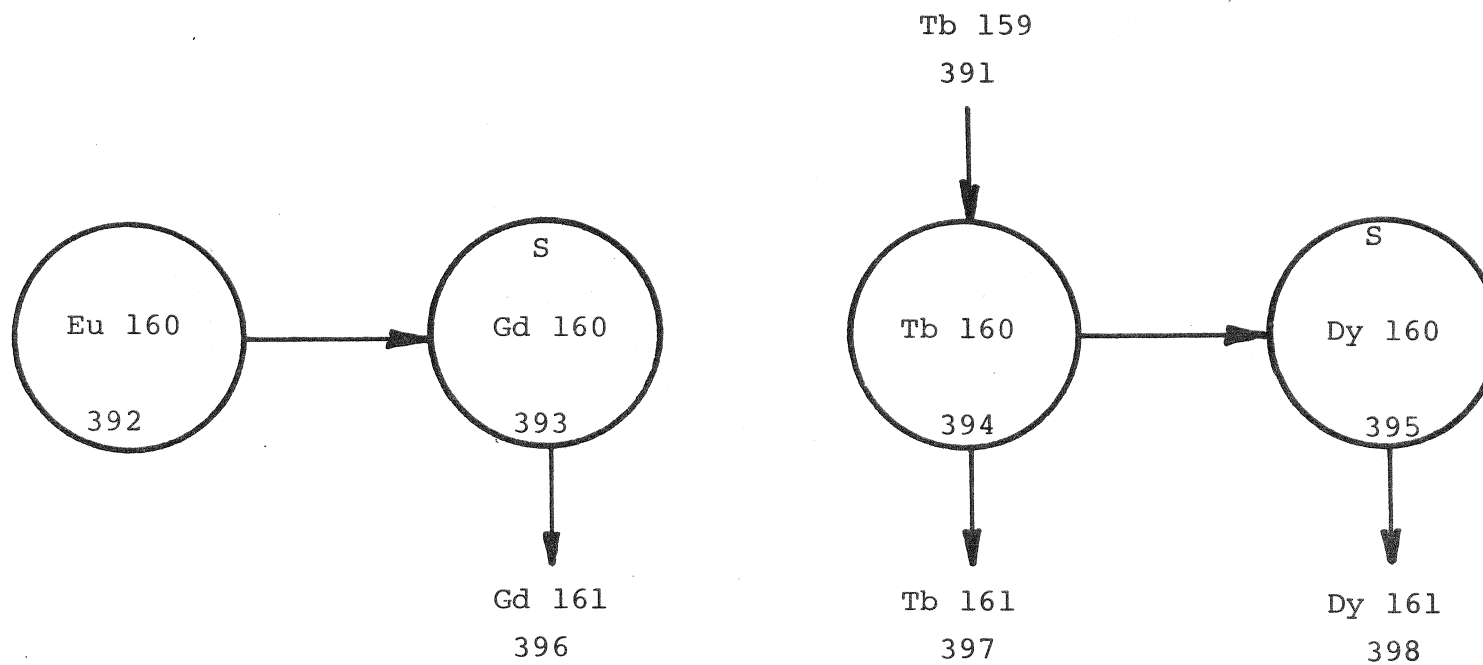


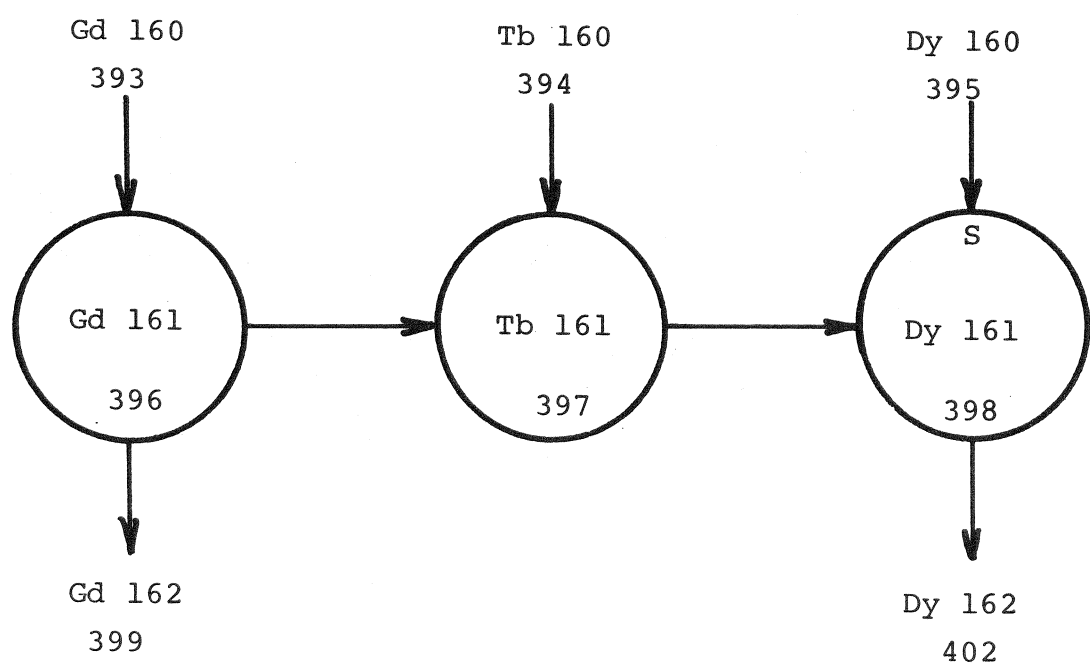


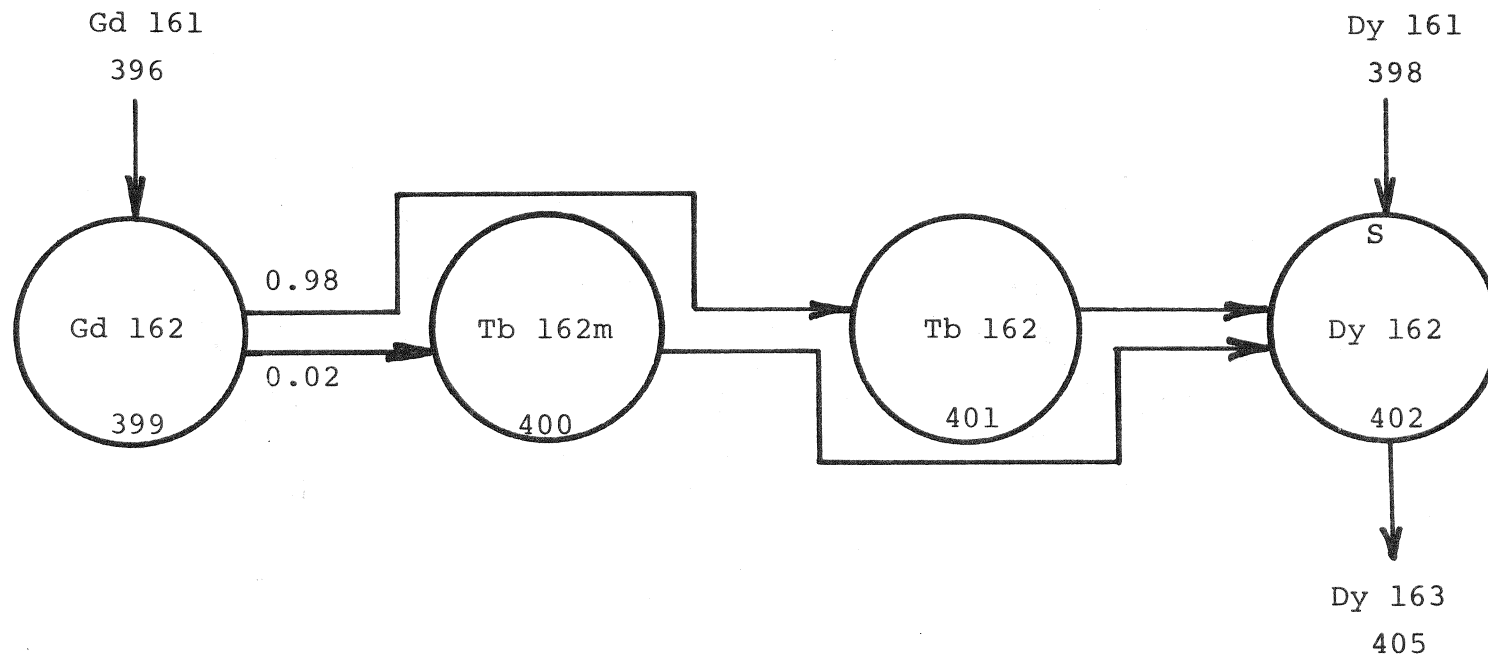


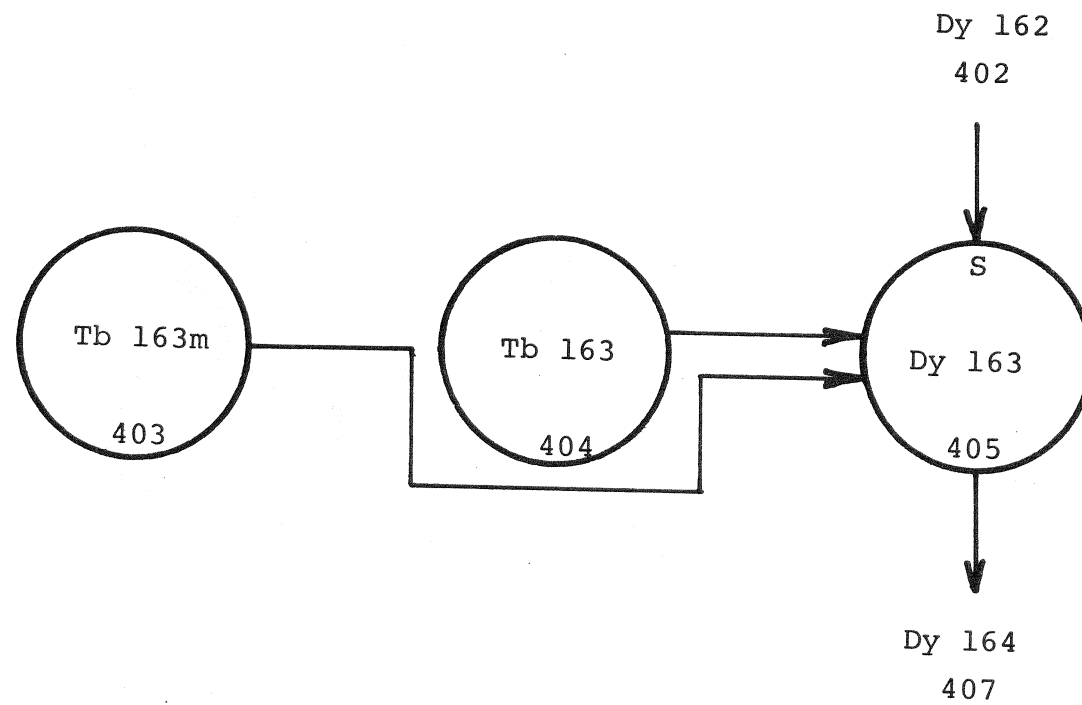


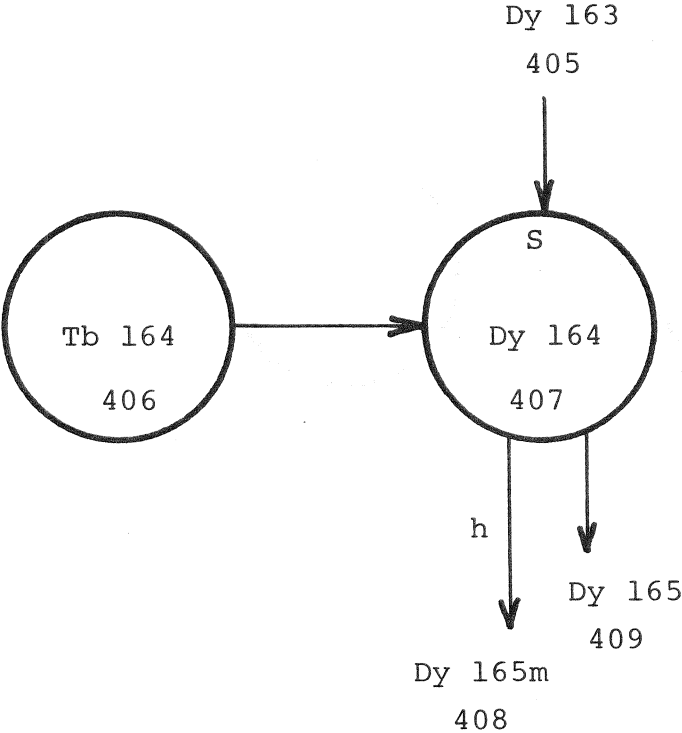


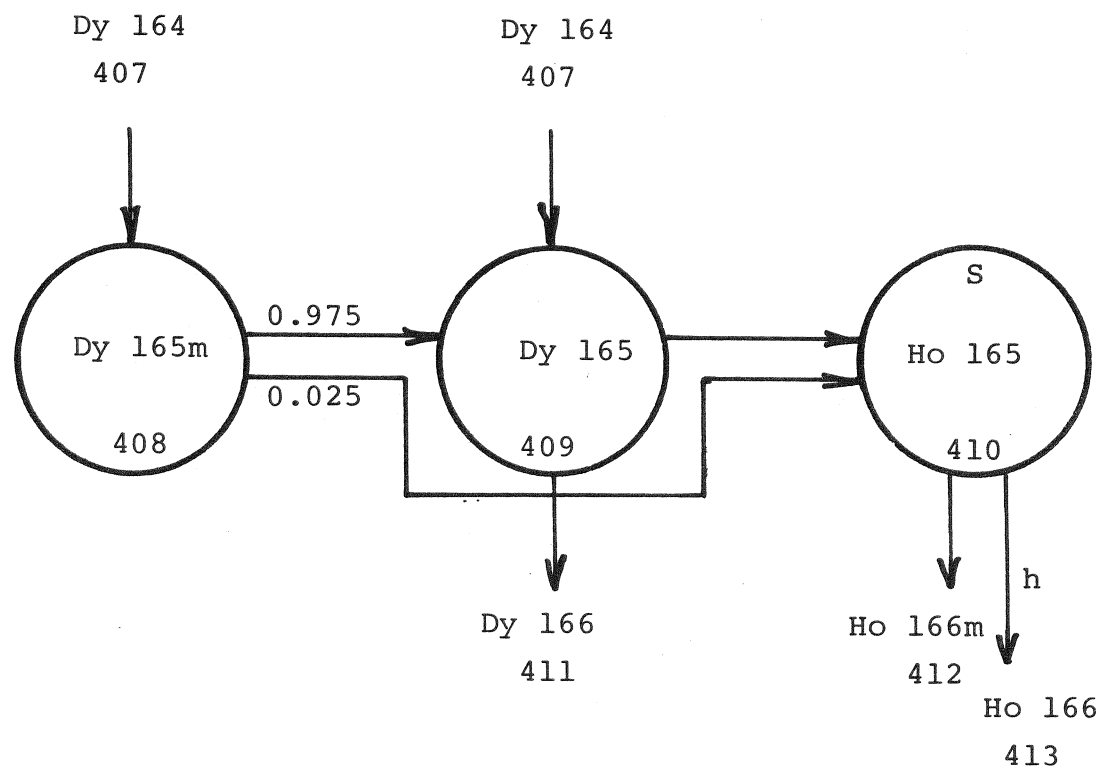


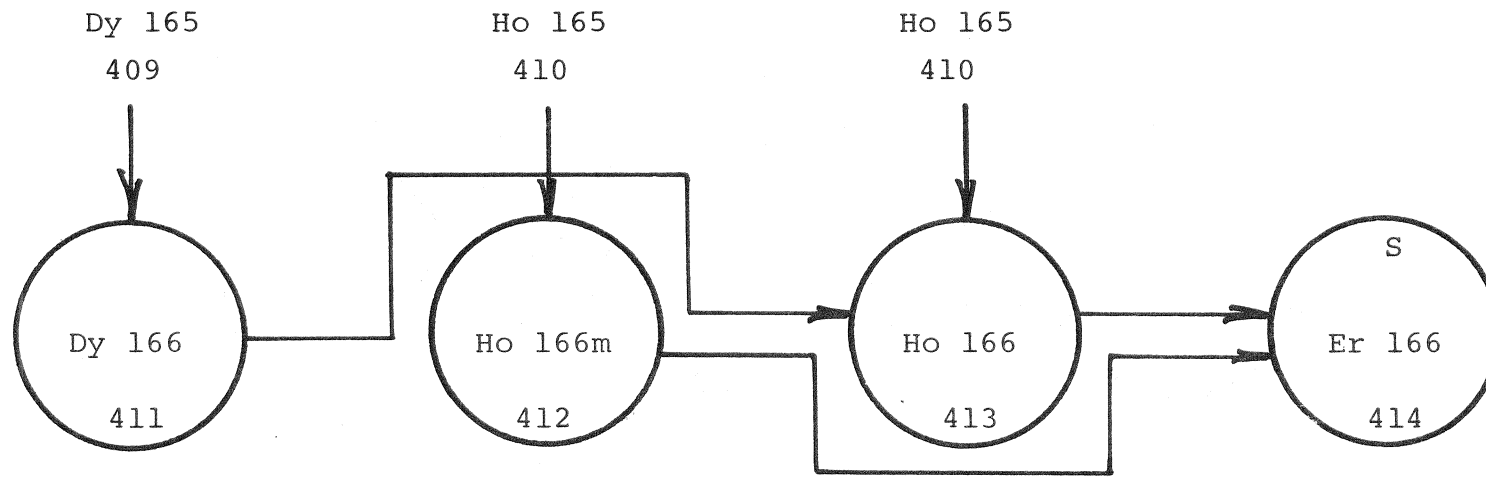












Startnuklid

FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

1977-78

- TR 121 KBS Technical Reports 1 - 120.
Summaries. Stockholm, May 1979.

1979

- TR 79-28 The KBS Annual Report 1979.
KBS Technical Reports 79-01--79-27.
Summaries. Stockholm, March 1980.

1980

- TR 80-01 Komplettering och sammanfattning av geohydrologiska
undersökningar inom sternöområdet, Karlshamn
Lennart Ekman
Bengt Gentzschein
Sveriges geologiska undersökning, mars 1980
- TR 80-02 Modelling of rock mass deformation for radioactive
waste repositories in hard rock
Ove Stephansson
Per Jonasson
Department of Rock Mechanics
University of Luleå
- Tommy Groth
Department of Soil and Rock Mechanics
Royal Institute of Technology, Stockholm
1980-01-29
- TR 80-03 GETOUT - a one-dimensional model for groundwater
transport of radionuclide decay chains
Bertil Grundfelt
Mark Elert
Kemakta konsult AB, January 1980
- TR 80-04 Helium retention
Summary of reports and memoranda
Gunnar Berggren
Studsvik Energiteknik AB, 1980-02-14

- TR 80-05 On the description of the properties of fractured rock using the concept of a porous medium
John Stokes
Royal Institute of Technology, Stockholm
1980-05-09
- TR 80-06 Alternativa ingjutningstekniker för radioaktiva jonbytarmassor och avfallslösningar
Claes Thegerström
Studsvik Energiteknik AB, 1980-01-29
- TR 80-07 A calculation of the radioactivity induced in PWR cluster control rods with the origin and casmo codes
Kim Ekberg
Studsvik Energiteknik AB, 1980-03-12
- TR 80-08 Groundwater dating by means of isotopes
A brief review of methods for dating old groundwater by means of isotopes
A computing model for carbon - 14 ages in groundwater
Barbro Johansson
Naturgeografiska Institutionen
Uppsala Universitet, August 1980
- TR 80-09 The Bergshamra earthquake sequence of December 23, 1979
Ota Kulhánek, Norris John, Klaus Meyer, Torild van Eck and Rutger Wahlström
Seismological Section, Uppsala University
Uppsala, Sweden, August 1980
- TR 80-10 Kompletterande permeabilitetsmätningar i finnsjöområdet
Leif Carlsson, Bengt Gentzschein, Gunnar Gidlund, Kenth Hansson, Torbjörn Svenson, Ulf Thoregren
Sveriges geologiska undersökning, Uppsala, maj 1980
- TR 80-11 Water uptake, migration and swelling characteristics of unsaturated and saturated, highly compacted bentonite
Roland Pusch
Luleå 1980-09-20
Division Soil Mechanics, University of Luleå
- TR 80-12 Drilling holes in rock for final storage of spent nuclear fuel
Gunnar Nord
Stiftelsen Svensk Detonikforskning, september 1980
- TR 80-13 Swelling pressure of highly compacted bentonite
Roland Pusch
Division Soil Mechanics, University of Luleå
Luleå 1980-08-20
- TR-80-14 Properties and long-term behaviour of bitumen and radioactive waste-bitumen mixtures
Hubert Eschrich
Eurochemic, Mol, October 1980

- TR 80-15 Aluminium oxide as an encapsulation material for unprocessed nuclear fuel waste - evaluation from the viewpoint of corrosion
Final Report 1980-03-19
Swedish Corrosion Institute and its reference group
- TR 80-16 Permeability of highly compacted bentonite
Roland Pusch
Division Soil Mechanics, University of Luleå
1980-12-23
- TR 80-17 Input description for BIOPATH
Jan-Erik Marklund
Ulla Bergström
Ove Edlund
Studsvik Energiteknik AB, 1980-01-21
- TR 80-18 Införande av tidsberoende koefficientmatriser i BIOPATH
Jan-Erik Marklund
Studsvik Energiteknik AB, januari 1980
- TR 80-19 Hydrothermal conditions around a radioactive waste repository
Part 1 A mathematical model for the flow of groundwater and heat in fractured rock
Part 2 Numerical solutions
Roger Thunvik
Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
Carol Braester
Israel Institute of Technology, Haifa, Israel
December 1980
- TR 80-20 BEGAFIP. Programvård, utveckling och benchmarkberäkningar
Göran Olsson
Peter Hägglöf
Stanley Svensson
Studsvik Energiteknik AB, 1980-12-14
- TR 80-21 Report on techniques and methods for surface characterization of glasses and ceramics
Bengt Kasemo
Mellerud, August 1980
- TR 80-22 Evaluation of five glasses and a glass-ceramic for solidification of Swedish nuclear waste
Larry L Hench
Ladawan Urwongse
Ceramics Division
Department of Materials Science and Engineering
University of Florida, Gainesville, Florida
1980-08-16

- TR 80-23 Exact solution of a model for diffusion in particles and longitudinal dispersion in packed beds
Anders Rasmuson
Ivars Neretnieks
Royal Institute of Technology, August 1979
- TR 80-24 Migration of radionuclides in fissured rock - The influence of micropore diffusion and longitudinal dispersion
Anders Rasmuson
Ivars Neretnieks
Royal Institute of Technology, December 1979
- TR 80-25 Diffusion and sorption in particles and two-dimensional dispersion in a porous media
Anders Rasmuson
Royal Institute of Technology, January 1980