

Analyse, inform and activate

# LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

*Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie*

## De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

## The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



[www.laka.org](http://www.laka.org) | [info@laka.org](mailto:info@laka.org) | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

Verlagen · Adviezen · Rapporten · 1978

---

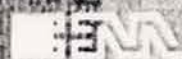
57

---

# Rapport van de Werkgroep Transmutatie Actiniden

Interdepartementale Commissie voor Kernenergie (ICK)

---



Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne  
Dokter Reijersstraat 12 Leidschendam telefoon (070) 209260

*Collectie Instituut voor  
Milieuhygiëne*

*Leidschendam, 1978*

*Printed in the Netherlands*

Interdepartementale Commissie voor Kernenergie (ICK)  
Rapport van de Werkgroep Transmutatie Actiniden  
oktober 1977

Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1978  
Gedrukt op hergebruikt papier

INTERDEPARTEMENTALE COMMISSIE VOOR DE KERNENERGIE

RAPPORT VAN DE WERKGROEP TRANSMUTATIE ACTINIDEN.

§ 1. Inleiding.

De Ministerraad heeft in zijn vergadering van 16 januari 1976, in het kader van de toen reeds bij de Tweede Kamer der Staten-Generaal ingediende Energie-nota, enige besluiten genomen in verband met de eventuele uitbreiding in Nederland van het nucleair elektriciteitsproductievermogen met 3.000 MW(e).

De Minister van Economische Zaken heeft bij brief van 19 januari 1976 de Voorzitter van de Tweede Kamer over die besluiten ingelicht (stukken Tweede Kamer, zitting 1975-1976, nr. 13122-12). Eén van die besluiten betrof de instelling van deze I.C.K.-werkgroep met de opdracht "... te inventariseren de stand van zaken van het internationale onderzoek met betrekking tot de vraag of het mogelijk en wenselijk is radioactieve afvalproducten met lange halfwaardetijd in produkten met een korte halfwaardetijd om te zetten". Het in deze opdracht bedoelde onderzoek wordt ook wel aangeduid als het "Onderzoek Transmutatie Actiniden".

§ 2. Samenstelling van de werkgroep.

Door de Voorzitter van de Interdepartementale Commissie voor de Kernenergie werd ondergetekende verzocht een werkgroep samen te stellen en daarvan als Voorzitter te fungeren.

Overeenkomstig het besluit van de Ministerraad werden deskundigen van het E.C.N. en de K.E.M.A. in de werkgroep opgenomen.

De samenstelling was als volgt:

Dr. J.L. Baas, Voorzitter	(V & M)
Drs. P.G.L.M. van der Lande,	(EZ)
Dr. Th. van der Plas,	(KEMA)
Drs. B. Verkerk,	(ECN)
Dr. J. Weber,	(V & M)

Voor de verslaglegging werd de heer M.F.M. Poppeliers (V & M) aan deze werkgroep toegevoegd.

§ 3. Aanleiding tot het transmutatie onderzoek.

De reeks der actiniden (deze naam is afkomstig van het eerste element van de reeks: Actinium) wordt gevormd door de elementen met het atoomgetal 89 en hoger en omvat naast Actinium de elementen Thorium, Protactinium, Uranium, Neptunium, Plutonium, Americium, Curium, Berkelium, Californium, Einsteinium, Fermium, Mendeleevium, Nobelium, Lawrencium en Kurchatovium.

Tot de radioactieve isotopen van de actiniden (tot en met curium), welke bij atoomkernmutaties tijdens het proces in een kernreactor in de splijtstofelementen ontstaan, behoren enkele zeer langlevende alfa-stralers.

Bij de verwerking van gebruikte splijtstofelementen tijdens opwerkingsprocessen, met als doel de niet omgezette splijtstoffen te herwinnen, resteert het zogenaamde kernsplijtingsafval. De in dit afval aanwezige langlevende alfastralers bepalen op den duur in hoofdzaak het potentiële radiologisch risico van dit afval. Hierbij zij opgemerkt dat het radiologisch risico gedurende de eerste periode van enige honderden jaren voornamelijk wordt gevormd door de korter levende splijtingsprodukten in dit afval. Het aantal curies aan alfastralend afval is voorts betrekkelijk gering doch de radiotoxiciteit van deze isotopen daarentegen relatief groot. Momenteel is onderzoek gaande naar de mogelijkheid en de aanvaardbaarheid van de opslag van kernsplijtingsafval in stabiele geologische formaties. Aan deze formaties wordt vooral gedacht teneinde optimale garanties te verkrijgen met betrekking tot de bescherming van de gezondheid van de mens alsmede van het milieu over een zeer lange periode. Teneinde te trachten de periode waarin de langlevende radionucliden een risico blijven vormen voor de mens en het milieu te bekorten, werd reeds een aantal jaren geleden het idee geopperd deze zeer langlevende alfa-stralers uit het kernsplijtingsafval te isoleren. De periode, gedurende welke het restant van het afval (= het kernsplijtingsafval waaruit de actiniden zijn verwijderd) significante stralingsrisico's met zich mede zou brengen, zou in

dat geval drastisch worden gereduceerd.

De aldus geïsoleerde qua massa relatief geringe hoeveelheid langlevende nucliden zou dan door middel van bestraling met neutronen kunnen worden omgezet in splijtingsprodukten met relatief korte halveringstijden. De isolatie en de neutronenbestraling worden respectievelijk aangeduid als "actinidenscheiding" (separation) en "actiniden opbranding" (transmutation/nuclear incineration). Beide bewerkingen samen zouden een alternatief voor het veilig en permanent opbergen van het gehele kernsplijtingsafval kunnen bieden. Dit alternatief omvat:

1. het afscheiden, volgens te stellen eisen, van de actiniden tijdens of na de opwerking van gebruikte splijtstof;
2. het veilig, permanent opbergen van een deel van het kernsplijtingsafval, nl. het deel dat overblijft na verwijderen van de actiniden;
3. het fabriceren van speciale elementen die de afgescheiden actiniden bevatten en die tussen splijtstofelementen in de reactor geplaatst zullen worden;
4. het bestralen van deze speciale elementen in daarvoor geschikte reactoren;
5. het opwerken van de bestraalde speciale elementen, gevolgd door hernieuwde fabricage (e.e.a. zal een aantal malen moeten gebeuren);
6. het opwerken van het afval dat ontstaat bij de onder 5 genoemde bewerkingen; in dit afval zullen resten actiniden voorkomen die zoveel mogelijk bij de hoofd-massa actiniden moeten worden gevoegd;
7. de transporten en het hanteren van de splijtstofelementen en andere producten die bij het bovenstaande een rol spelen.

Een keuze tussen het al of niet uitvoeren van de scheiding en transmutatie van de actiniden moet worden gemaakt op grond van een vergelijkende risico-analyse. Daartoe moeten van beide mogelijkheden voldoende gegevens bekend zijn.

De keus kan worden vermeden indien men van oordeel is dat men beschikt over een permanente bergplaats voor het gehele kernsplijtingsafval die voldoende veilig is. In dit geval ligt het voor de hand de complicaties genoemd onder 1 t/m 7 te vermijden.

#### § 4. Probleemgebieden van het onderzoek.

De werkzaamheden bij het onderhavige onderzoek kunnen in drie hoofdgroepen worden verdeeld, te weten:

- a) de methoden voor actinidenscheiding,
- b) de wijze waarop de afgescheiden (geïsoleerde) actiniden kunnen worden "opgebrand", ergo omgezet in relatief kortlevende splijtingsproducten, en
- c) de evaluatie van de bereikte resultaten uit het oogpunt van stralingshygiëne en van economie.

##### ad a).

Bij scheidingstechnieken in de chemie spelen zowel de chemische als fysische eigenschappen van de betrokken verbindingen een rol. De chemische eigenschappen worden hoofdzakelijk bepaald door de elektronenstructuur van de elementen, met name door de bouw van de buitenste elektronenschil. Bij een tweetal reeksen van chemische elementen (de lanthaniden en de actiniden) doet zich het verschijnsel voor dat de bouw van de buitenste elektronenschillen van de elementen van elke reeks nagenoeg gelijk is. Hiermede wordt de grote overeenkomst in chemische eigenschappen van elk van deze groep van elementen verklaard.

Deze eigenschappen verklaren, waarom de scheiding van enerzijds het te gebruiken uranium en plutonium en anderzijds de overige actiniden, uit oplossingen verkregen bij de opwerking van bestraalde splijtstofelementen, op grote technische moeilijkheden stuit. Zo dit op laboratoriumschaal zou lukken, is het nog lang niet zeker, dat met de thans bekende scheidingsmethoden de vereiste volledigheid van de scheiding op technische schaal zou zijn te realiseren.

Men zal op grond van eisen (die tot nu toe op nog onvoldoend gemotiveerde criteria zijn gebaseerd) voor het resterend gehalte aan alfastralers in het permanent te bergen afval, moeten vaststellen tot welke graad elk der actinide-elementen uit het kernsplijtingsafval moet worden verwijderd. Zulke berekeningen zijn verricht: een voorbeeld van de resultaten, ontleend aan ref. 2, § 8 zijn:  
U: 99,9%; Np: 95,0%; Pu: 99,99%; Am en Cm: 99,9%.

Ter vergelijking moge dienen de afscheidingspercentages die thans in de opwerkingsinstallaties gelden:  
U: 99,5%; Np: (90-95%); Pu: 99,5%; Am-Cm: 0% (opm. Np wordt gewoonlijk niet afgescheiden, maar de gegeven getallen zijn waargenomen bij speciaal uitgevoerde opwerkingen).  
De vereist geachte afscheidingspercentages komen in de huidige chemische of chemisch-nucleaire techniek niet voor. Men kent de moeilijkheden welke optreden bij het uitvoeren van de conventionele opwerking van splijtstoffen. Het ligt voor de hand dat een verscherping van de eisen die worden gesteld aan de scheidingspercentages, tezamen met het uitvoeren van nieuwe scheidingen, tot verdere complicatie van de nu reeds ingewikkelde installaties zal leiden. Daarbij mag niet uit het oog worden verloren, dat elke extra bewerking van deze radiotoxische stoffen risico's voor het daarmee belaste personeel met zich mede kan brengen. Er zullen apparatuur en installaties moeten worden ontworpen om deze risico's voldoende te beperken. Voorts is het nog de vraag of actinidenafscheiding uit voornoemd risico-oogpunt en daarnaast uit economische overwegingen verantwoord zou zijn, indien de permanente opslag van het onbehandelde kernsplijttingsafval zodanig zou kunnen worden uitgevoerd, dat het radiotoxisch risico voldoende gering blijft. Recente studies in de Verenigde Staten en in Nederland wijzen duidelijk in de richting van de laatstgenoemde mogelijkheid (ref. 19 en 20, par. 8).

ad b).

Na isolatie van de actiniden zullen deze in een geschikte chemische vorm in speciale splijtstof-elementen worden opgenomen om vervolgens in een kernreactor te worden omgezet in splijttingsprodukten of kortlevende actinide-nucliden. De vraag of deze omzetting op een efficiënte wijze is te realiseren kan op reactorfysische gronden voor bepaalde reactortypen en gunstige condities momenteel tamelijk positief worden beantwoord.



Berekeningen hebben aangetoond dat geruime tijd verblijf in de reactor nodig is voor het grotendeels opbranden van een op zeker tijdstip ingevoerde hoeveelheid actiniden. Dit kan geschieden zonder de werking van de reactor te zeer nadelig te beïnvloeden. De actiniden in de speciale elementen hebben namelijk een enigszins ongunstige invloed op de neutronen-economie van het splijtingsproces. De berekeningen hebben verder aangetoond dat het opbranden met de hoogste efficiëncy en in de kortste tijd verloopt in snelle reactoren. Recent is erop gewezen dat, hoewel op fysische gronden actiniden-opbranding zeer wel mogelijk is, in de praktijk een evenwicht tussen vorming van actiniden in kerncentrales en hun opbranding in andere reactoren moeilijk te bereiken zal zijn. Dit zal leiden tot een aanzienlijke (en misschien steeds toenemende) actinide-inventaris. Het is zeker dat actinide-houdende speciale elementen onvoldoende snel transmutatie ondergaan wanneer ze geplaatst worden in het thans gangbare type commerciële lichtwaterreactoren. Bij het proces worden bovendien enkele nucliden gevormd die het hanteren van de speciale elementen bijzonder moeilijk maken en de radiotoxiciteit van het materiaal tijdelijk doen toenemen.

Er zal rekening gehouden moeten worden met gecompliceerde technieken bij de fabricage en andere handelingen met de speciale actiniden bevattende elementen, ter bescherming van het met deze werkzaamheden belaste personeel tegen gamma- en neutronenstraling. Dit in tegenstelling tot handelingen met uranium bevattende elementen, die vóór het gebruik in een reactor vrijwel geen stralingsgevaar opleveren.

ad c).

Nadat uit de onderzoeken een technisch realiseerbaar systeem voor de afscheiding en opbranding van actiniden is voortgekomen, zal dit moeten worden geëvalueerd op zijn merites t.a.v. stralingshygiëne en economie. Als nadelen van genoemd systeem zouden kunnen worden genoemd de vergroting van de stroom van met actiniden besmet laag radioactief afval alsmede de daarmee gepaard gaande behandeling welke een stralingsbelasting van het personeel met zich mee zal brengen. Tegenover deze nadelen zou een reductie staan van de totale inventaris aan langlevende radiotoxische stoffen. Het belang van deze reductie zal

echter minder worden naarmate men in staat is een meer betrouwbare isolatie van onderhavige stoffen van de biosfeer op zeer lange termijn te garanderen. Die isolatie wordt in eerste instantie gezocht in een opname van splijtingsproducten (kernsplijtingsafval) in onoplosbare materialen en vervolgens in stabiele geologische formaties. In verschillende onderzoek-centra worden methodieken voor de evaluatie van de betrouwbaarheid van de isolatie en van de gevolgen van een eventueel verbreken van de isolatie opgebouwd.

Het ligt voor de hand dat, alvorens tot actinide-transmutatie op routinebasis zou kunnen worden besloten, eerst de meeste in deze paragraaf genoemde problemen nader zullen moeten worden bestudeerd en tot een technisch aanvaardbare oplossing gebracht.

De uiteindelijke beslissing zal ook dan nog niet op uitsluitend technisch-wetenschappelijke gronden kunnen worden genomen, omdat de "cost-risk-benefit" van de afscheiding/transmutatie dan moet worden afgewogen tegen een moeilijk kwantificeerbaar lange-termijn risico.

Dit laatste is weer geheel gebonden aan de gekozen methode voor permanente opberging van het kernsplijtingsafval. Naarmate de betrouwbaarheid van isolatiemethoden van het kernsplijtingsafval van de biosfeer zou toenemen zal men meer geneigd zijn de complicaties die zijn verbonden aan de transmutatie van actiniden, te vermijden.

§ 5. Stand van zaken met betrekking tot het onderzoek.

In Europa wordt actinidenscheidings- en transmutatie-onderzoek op een vrij uitgebreide schaal verricht in Ispra (zie § 6.), terwijl nationaal in Engeland, Frankrijk, Duitsland en sommige kleinere landen beperkte programma's worden uitgevoerd, voornamelijk ter evaluatie van de problematiek.

In de Verenigde Staten heeft ERDA (Energy Research and Development Administration) onlangs 2 miljoen dollar uitgetrokken voor een uitgebreide evaluatie die vanuit Oak Ridge wordt geleid. Een lid van de werkgroep heeft zich kortgeleden in de Verenigde Staten op de hoogte kunnen stellen van de doelstellingen en de stand van zaken met betrekking tot bedoelde evaluatie. Zeer kort samengevat kan de Amerikaanse positie als volgt worden weergegeven.

- a) De keus voor het al of niet toepassen van actinidenscheiding en actiniden-opbranding kan niet op korte termijn worden gemaakt; het onderzoek- en ontwikkelingswerk zal eerst voldoende ver gevorderd moeten zijn.
- b) Of het toepassen van actinidenscheiding en actiniden-opbranding een aanvaardbare keus zal zijn, wordt zowel door de "policy makers" bij ERDA, als in de laboratoria waar het werk wordt gedaan, sterk betwijfeld. De argumentatie berust niet zo zeer op het grotere of kleinere lange termijn risico, dan wel op de grotere bedrijfsrisico's bij het gecompliceerder worden van de splijfstofcyclus met actiniden afscheiding.
- c) Wat betreft de principiële en technische haalbaarheid van het idee kan gezegd worden:
  1. Ten aanzien van de reactorfysica zijn er gunstige verwachtingen voor het gebruik van de speciale splijfstof elementen in snelle reactoren met een zeer hard spectrum.
  2. De vooruitzichten voor de chemische scheiding worden beter maar zijn nog ver van technische realisatie.
  3. De splijfstofcyclus-aspecten worden als een ernstige moeilijkheid gezien (fabricage van speciale, actinidenhoudende elementen, extra afvalstromen, gecompliceerde hantering etc.)

Ten aanzien van het chemisch onderzoek kan worden opgemerkt dat dit, voor zover bekend, slechts plaats vindt in U.S.A. (Oak Ridge, Battelle Pacific Northwest Laboratories) en Ispra en wel uitsluitend op laboratoriumschaal. De vorderingen zijn matig; mogelijk moeten nieuwe reagentia worden ontwikkeld.

De reactorfysische berekeningen zijn gestart in het Oak Ridge National Laboratory (U.S.A.). Na dit pionierswerk zijn op verschillende plaatsen berekeningen verricht over de mogelijkheid van opbranden, zowel in thermische als snelle reactoren. De meeste van deze berekeningen zijn gereed. Hun nauwkeurigheid wordt beperkt door het aannemen van een homogene verdeling van de actiniden over de splijtstof en wellicht door de onnauwkeurigheid van de kennis van de werkzame doorsnede van enkele nucliden.

Aangezien het tempo van de vorderingen van het onderzoek naar de transmutatie wordt bepaald door de resultaten van het chemisch onderzoek, lijkt het voorlopig niet nodig deze berekeningen te verfijnen.

Tenslotte wordt opgemerkt dat aan randproblemen, zoals moeilijkheden bij fabricage en hanteren van speciale elementen, verwerken van afvalstromen bij de chemische processen, slechts weinig is gedaan. Dit lijkt voorlopig ook overbodig.

De bovenstaande opmerkingen werden bevestigd door de resultaten welke naar voren zijn gebracht op de "First Technical Meeting on the nuclear Transmutation of Actinides", welke van 16 - 18 maart 1977 te Ispra werd gehouden. Deze conferentie bood een overzicht van vooral het werk in Europa, maar ook van dat in de Verenigde Staten van Amerika.

§ 6. Internationale aspecten.

Het onderzoek op het gebied van de transmutatie van actiniden wordt internationaal gecoördineerd voornamelijk door het Raadgevend Comité voor het beheer van het onderzoeksprogramma "Radioactief Afval" van de Europese Commissie en door het Radioactive Waste Management Committee van het Nuclear Energy Agency van de OESO. Onder het genoemde Raadgevend Comité van de Europese Commissie ressorteren een tweetal programma's van onderzoek. Het "directe" programma wordt uitgevoerd in het Gemeenschappelijk Onderzoekcentrum te Ispra, terwijl een "indirecte" studieprogramma is gecontracteerd met de United Kingdom Atomic Energy Authority te Harwell in samenwerking met het Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten. Een volledige evaluatie van de stand van de lopende onderzoekactiviteiten is door deze laatste twee instituten samengevat in een rapport, dat onlangs door de Europese Commissie is gepubliceerd.

Volledigheidshalve kan nog opgemerkt worden, dat de onderzoeksprogramma's van de Europese Commissie tot stand zijn gebracht naar aanleiding van een Nederlands initiatief, hetwelk op 29 november 1972 aan de Europese Commissie ter kennis is gebracht.

## § 7. Samenvatting en conclusie.

Het radioactief afval dat bij kernenergie-processen wordt geproduceerd (het kernsplijtingsafval) kan ingedeeld worden in een tweetal categorieën. De ene categorie, met het grootste volume bestaat voornamelijk uit relatief kortlevende splijtingsprodukten, de andere categorie bevat een vrij kleine fractie isotopen van actiniden. Gedurende de eerste honderden jaren na de produktie van dit afval wordt het potentiële radiologisch risico bepaald door de splijtingsprodukten en na deze periode voornamelijk door de radioactieve isotopen van de actiniden op een overigens aanzienlijk lager risico-niveau.

Door middel van een transmutatieproces van deze actiniden zou de periode, gedurende welke radioactief afval van kernreactoren radiologische risico's kan opleveren, aanzienlijk worden bekort. Een effectieve afscheiding van actiniden uit het kernsplijtingsafval, hoewel in principe mogelijk, stuit echter nog op grote technische problemen, waarbij ook de stralingsrisico's voor het daarmee belaste personeel niet uit het oog mogen worden verloren. Voorts is het de vraag of adequate methoden beschikbaar zullen komen om het transmutatieproces bevredigend te doen verlopen zonder het risico van de introductie van nieuwe problemen.

Uit het praktisch onderzoek van scheidings- en transmutatie-processen alleen zullen geen voldoende gegevens verkregen worden voor een verantwoorde analyse van de verschillende risicofacetten. In het bijzonder geldt dit voor het lange termijn risico waarvan de aard en de grootte worden bepaald door de gekozen wijze van permanente opslag.


De werkgroep is van mening dat het uit wetenschappelijk en technisch oogpunt zeer interessant is te trachten voor de geschetste problemen oplossingen te zoeken en het derhalve aanbeveling verdient het ontwikkelingswerk op het terrein der separatie en transmutatie van

actiniden nauwkeurig te volgen en zo mogelijk te steunen. Eigen onderzoek in Nederland lijkt niet noodzakelijk en moeilijk uitvoerbaar daar de vereiste faciliteiten niet aanwezig zijn.

Of daadwerkelijk tot de transmutatie van actiniden zou moeten worden overgegaan, zodra de daarvoor benodigde technieken voldoende garanties bieden dat de radiologische risico's voor enerzijds het personeel en de bevolking en anderzijds het milieu binnen aanvaardbare grenzen zullen blijven, zal mede afhangen van economische aspecten waarover momenteel weinig kan worden gezegd. De beslissing hiervoor zal vooral worden bepaald door het oordeel over de uitkomst van de risicoanalyse, welke wordt uitgevoerd ten behoeve van de verschillende opslagmogelijkheden van permanente aard voor kernsplijtingsafval waaruit de actiniden nog niet zijn afgescheiden. Indien de gunstige perspectieven van opslag in stabiele geologische formaties worden bevestigd zou het separatie- en transmutatie proces wellicht als een overbodige verfijning moeten worden gekwalificeerd, zeker zolang over de risico's van deze processen en het te behalen voordeel nog geen duidelijk inzicht is verkregen.

Leidschendam, 3 oktober 1977.

De Voorzitter,



Dr. J.L. Baas.

8. Literatuurlijst.

1. H.C.Claiborne - ORNL-TM-3964 (1972). Neutron-induced transmutation of high-level radioactive waste.
2. W.D.Bond, R.E.Leuze - ORNL-5012 (1975). Feasibility studies of the partitioning of commercial high-level wastes generated in spent nuclear fuel reprocessing: annual progress report for FY-1974.
3. R.J.Breen - Trans.Am.Nucl.Soc. 21, 262 (1975). Elimination of Actinides with LMFBR Recycle.
4. W.W.Schulz. Trans.Am.Nucl.Soc. 21, 262 (1975). Bidentate organophosphorus Solvents - Extraction of Am-Pu from Hanford's PRF Waste Stream.
5. H.C.Claiborne - Trans.Am.Nucl.Soc. 15, 91 (1972) nr. 1.
6. F.Gera - ORNL-TM-4481 (1975). Geochemical behavior of long-lived radioactive wastes.
7. H.C.Claiborne - ORNL-TM-4724 (1975). Effect of actinide removal on the long-term hazard of high-level waste.
8. F.Gera, J.Jacobs - ORNL-4762 (1972). Considerations in the Long-Term Management of High-Level Radioactive Wastes.
9. U.Wenzel, A.Monteiro dos Santos - Transplutonium Elements 1975, p. 413 (1976). Long-lived  $\alpha$ -Emitters in Spent U-Th Fuel.
10. W.D.Bond, R.E.Leuze - Transplutonium Elements 1975, p. 423 (1976). Removal of Actinides from High-Level Wastes generated in the Reprocessing of Commercial Fuels.
11. W.W.Schulz, L.D.McIsaac. Transplutonium Elements 1975, p. 433 (1976). Removal of Actinides from Nuclear Fuel Reprocessing Waste Solutions with bidentate Organophosphorus Extractants.
12. G.Birtozzi, F.Girardi, F.Mousty - Transplutonium 1975, p. 449 (1976). Removal of Long-lived  $\alpha$ -Emitters from Aqueous High-Level Waste.
13. L.Koch, G.Cottone, A.Cricchio - Transplutonium 1975, p. 459 (1976). Accumulation of Transplutonium Elements in Wastes and Possibilities for their Nuclear Incineration.
14. C.Höhlein - KFK-1544 (jan. 1972). Projekt Aktiniden, zweites Halbjahres Bericht 1971, p. 1.
15. G.Koch et.al. - Management of Radioactive Wastes from Fuel Reprocessing, OSCD, Paris (1973) p. 1081; Recovery of Transplutonium Elements from Fuel Reprocessing High-Level Waste Solutions.



16. J.Arod, P.Jourde - *ibed.*, p. 11111. Récupérations par échange unique d'éléments transuraniens dans les effluents d'une usine de retraitement de combustibles irradiés.
17. C.Fréjaques - *Trans-Am.Nucl.Soc.*, 20 (1975) nr. 1, p. 695. Conclusions drawn from Studies on the Oklo Natural Nuclear Reactor Concerning the Evolution in the Ground of Radioactive Waste over a Long Period.
18. ORNL-5050 (1975). Chem.Technology Div.Ann.Progress Report for Period ending March 31, 1975.
19. H.C.Burkholder et.al. Incentives for Partitioning High-level waste Battelle North West - BNWL - 1927, Nov. 1975.
20. B. Verkerk, Actinide Partitioning; Arguments against. Proceeding IAEA/NEA symposium, Wenen 22 - 26 maart 1976.
21. Commission of the European Communities/Nuclear Science and technology, The Separation and Recycling of Actinides; A Review of the State of the Art. - 1977 - EUR 5801.