

CBRNE-aineiden havaitseminen neutroniherätteen avulla

18.11.2015

Harri Toivonen, projektin johtaja*

Kari Peräjärvi, projektipäällikkö

Philip Holm, tutkija

Ari Leppänen, tutkija

Jussi Huikari, tutkija

Hanke 2500M-0019: 60 034 €

* HT Nuclear Oy, eronnut STUKista 1.10.2015

Tutkimuksen tavoite

- Yhteiskuntaa ja kansalaisten turvallisuutta uhkaavien räjähdeiden, ydinaineiden, taistelukaasujen, huumeiden ja muiden vaarallisten aineiden havaitseminen ainetta rikkomattomalla menetelmällä kenttäolosuhteissa

- **C – Chemical**
- **B – Biological**
- **R – Radiological**
- **N – Nuclear**
- **E – Explosives**

C(B)RNE-aineiden havaitseminen samalla mittausjärjestelmällä

Miksi neutroniheräte?

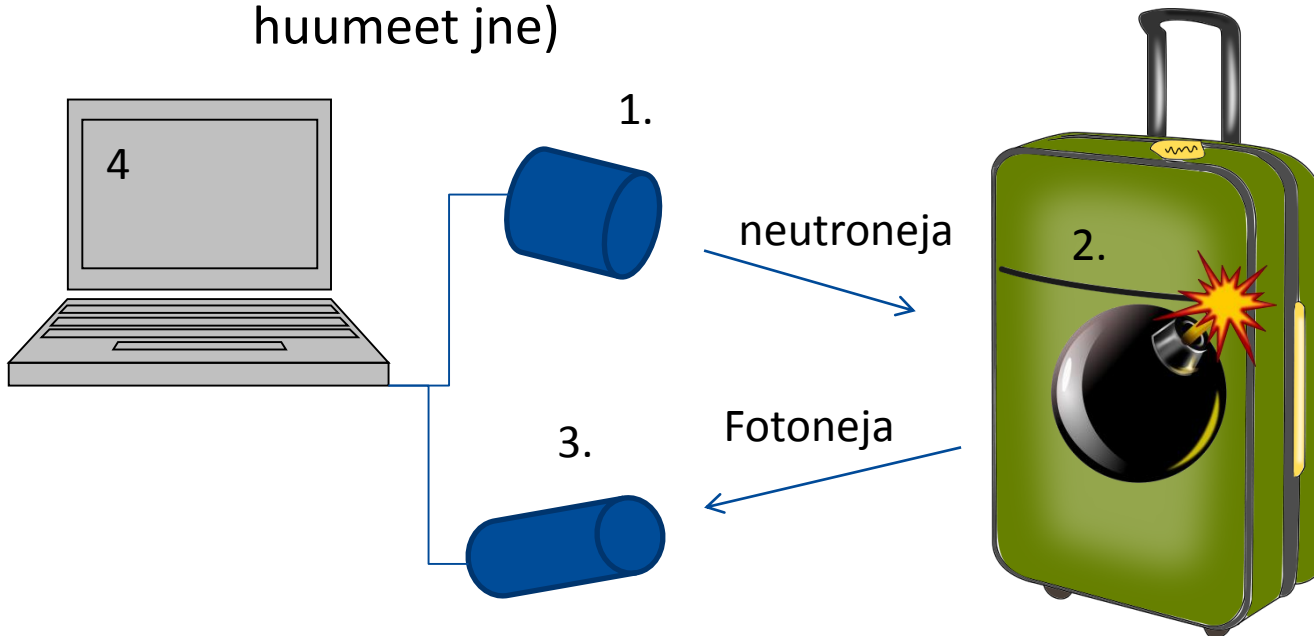
- CBRNE aineiden koostumus voidaan selvittää kemiallisilla menetelmillä.
- Tällöin tarvitaan näyte aineesta.
- Aine voi olla paksun suojaavan tai peittävän rakenteen sisällä, tai tilanne ei ehkä salli paketin avaamista.
- Neutroneilla voidaan tutkia ainetta ”avaamatta pakettia”.



Ortec PINS

Menetelmä

1. Kohdetta säteilytetään neutroneilla
2. Neutronit saavat aikaan alkuaineille karakteristista gammasäteilyä kohteessa (ytimien virittäminen ja neutronisieppauksia)
3. Gammasäteilyn spektristä tunnistetaan alkuaineet
4. Laskemalla alkuaineiden suhteet, voidaan todentaa, mistä kemiallisesta aineesta on kyse (räjähteet, myrkylliset kaasut, huumeet jne)



Alkuaineiden karakteristiset fotonit

Isotope	Reaction	E_{γ} , keV
^1H	(n, γ)	2223
^{12}C	(n,n' γ)	4438
^{14}N	(n,n' γ)	730, 1634, 2313
	(n, γ)	1885, 5269, 5298, 10829, 10318
^{16}O	(n,n' γ)	5618, 6129
^{19}F	(n,n' γ)	197, 1236, 1348, 1357
	(n, γ)	582, 2453, 3589
^{31}P	(n,n' γ)	1266, 2028, 2233
	(n, γ)	636, 2154, 3900, 6785
^{32}S	(n,n' γ)	1273, 2230
	(n, γ)	841, 2380, 3221, 5420
^{35}Cl	(n, γ)	788, 1165, 1951, 1959, 6111, 7414
	(n,n' γ)	199, 265, 280, 573
^{75}As	(n, γ)	165, 472, 1534, 6810

Räjähteet ja niiden atomipainosuhteet

	H	C	N	O		C/O	H/C	N/H
	%	%	%	%				
C4	4	22	35	40		0,55	0,16	9,58
Semtex	3	26	26	45		0,57	0,12	8,32
TNT	2	37	19	42		0,87	0,06	8,41

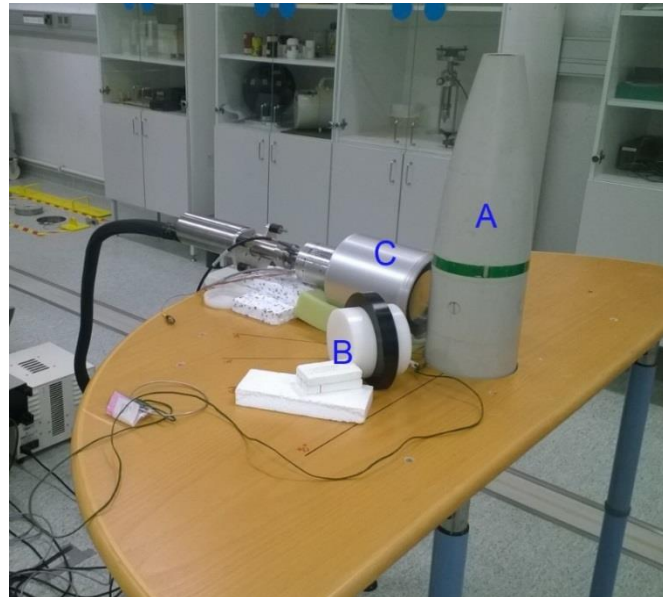
N/H erittäin suuri ja harvinainen muilla aineilla!

MATINE-hanke

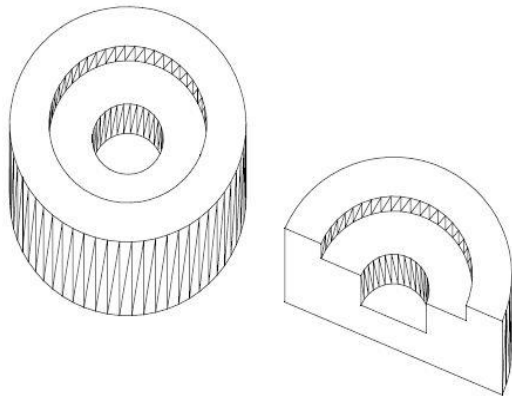
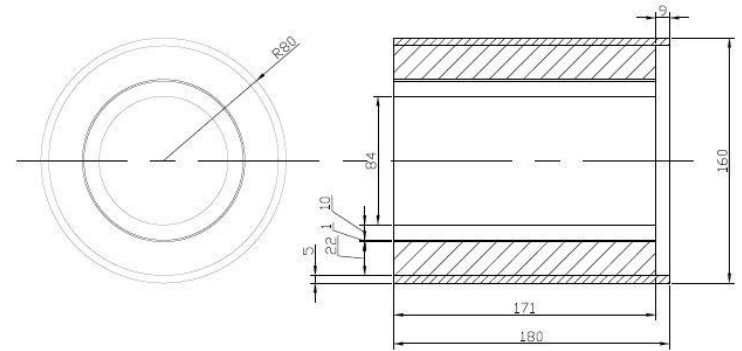
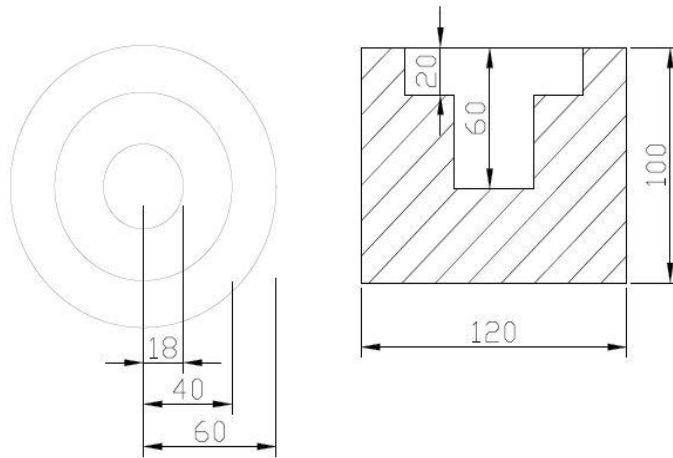
- Kaksivuotinen hanke
- Vuonna 2014:
 - Säteilytettiin arkipäiväisiä aineita (suolaa, vettä ,lannoitetta) AmBe ja ^{252}Cf neutronilähteillä
 - Kartoitettiin kaupallisesti saatavilla olevien neutronitykkien ominaisuuksia sekä mahdollisuutta rakentaa neutronitykki
- Vuonna 2015:
 - Muutettiin mittausgeometria realistisemmiksi ts. arkipäiväiset aineet kranaatin sisällä sekä mitattiin oikean räjähteen gammaspektri.

Mittausgeometria laboratoriossa

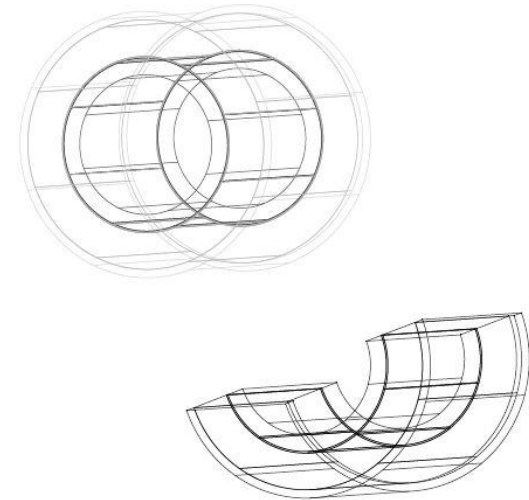
- Aineet kranaatin kuoreessa: Ruokasuola (NaCl), vesi (H₂O) sekä lannoite (typpeä, klooria, kaliumia, vetyä ja happea).
- Hexogen-alumiini-kranaatti
- HPGe ja LaBr₃ ilmaisimet.



Mittausgeometria



Neutronilähteen muovisuoja

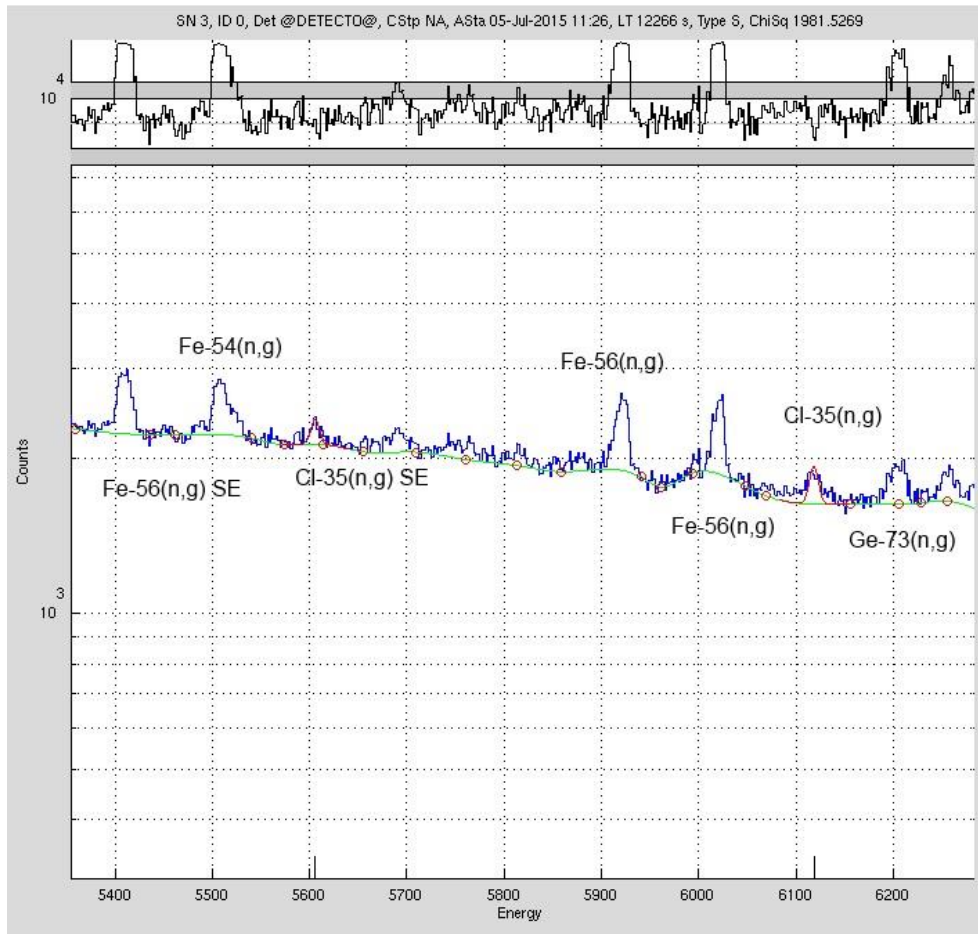


Säteilyilmaisimen lyijy-säteily suoja

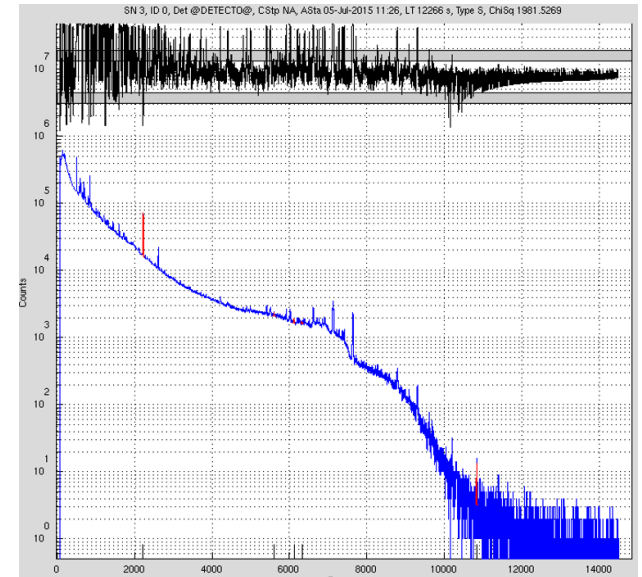
Neutronilähde

Source	Nominal activity [Bq]	Nominal neutron rate [1/s]
^{252}Cf	$9.4 \cdot 10^6$	$1.1 \cdot 10^6$

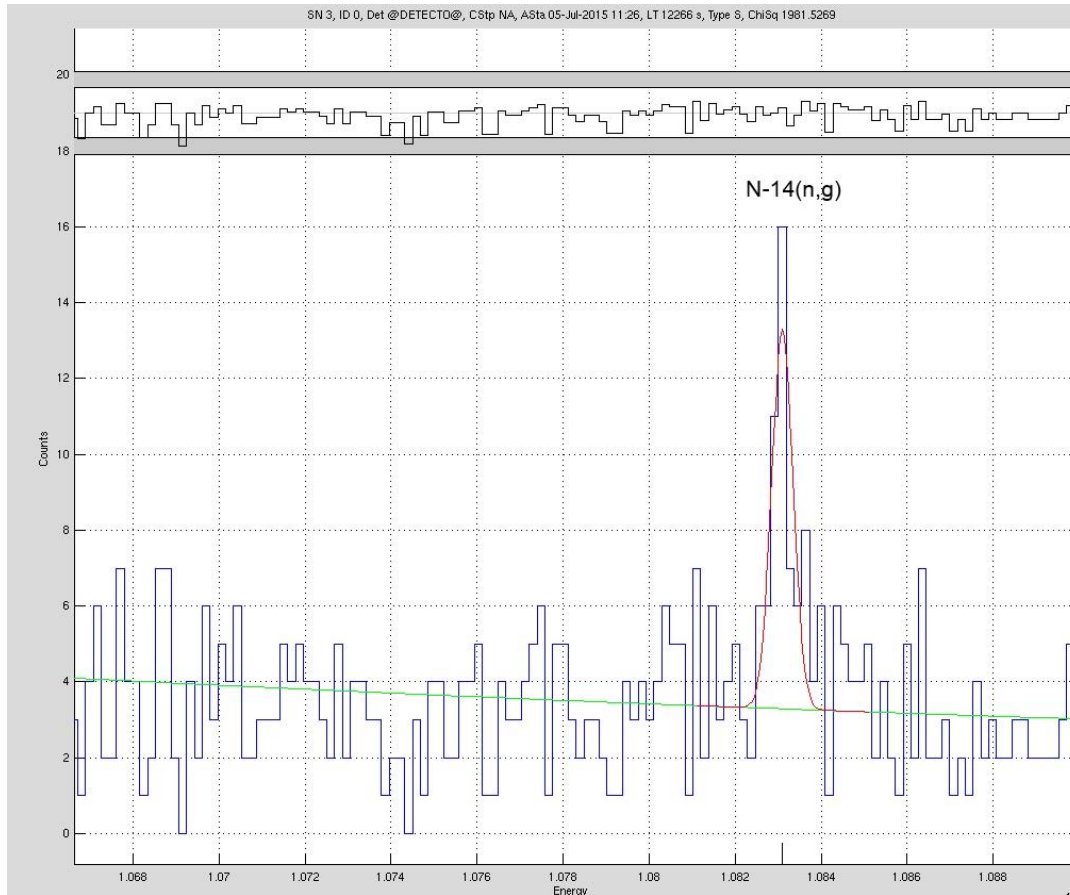
Kloori lannoitteessa (Cf-252 heräte)



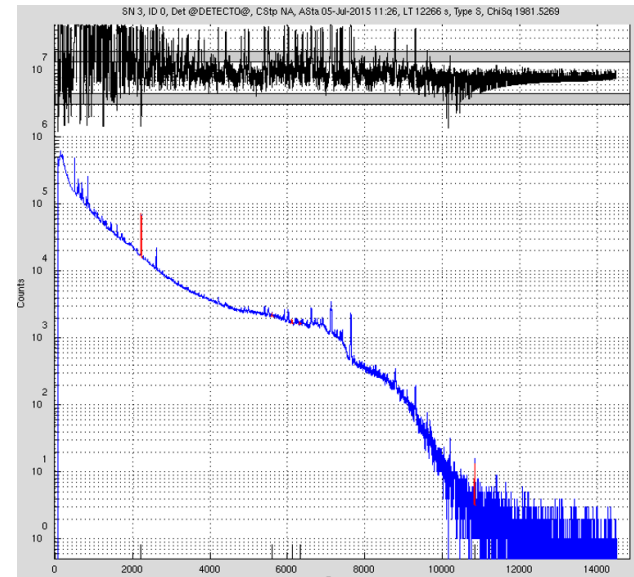
- Cl-35 neutronisieppausreaktio, joka emittoi 6120 keV fotonin



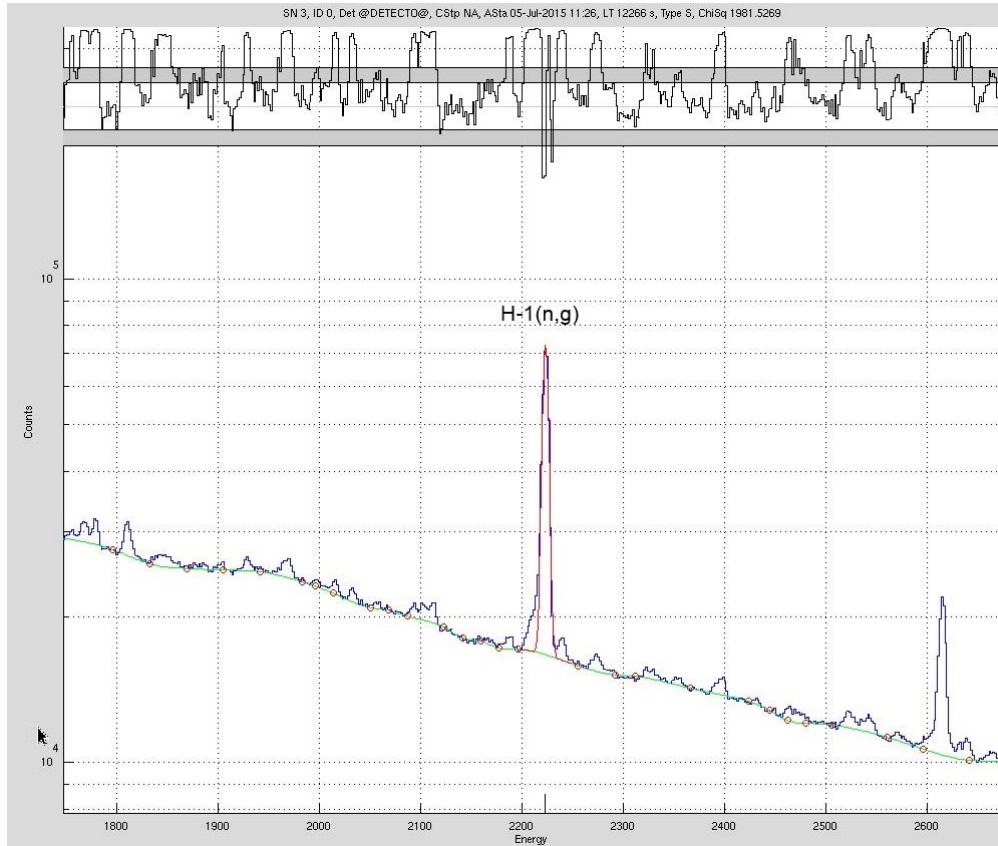
Typpi lannoitteessa (Cf-252 heräte)



- N-14 neutronisieppausreaktio, joka emittoi 10.8 MeV fotonin



Vety lannoitteessa (Cf-252 heräte)



- H-1 neutronisieppausreaktio, joka emittoi 2223 keV fotonin
- Vetyä on myös neutronimoderaattorissa, joten on vaikeata varmuudella erottaa, mistä havaitut fotonit tulevat.

Hiili ja happi

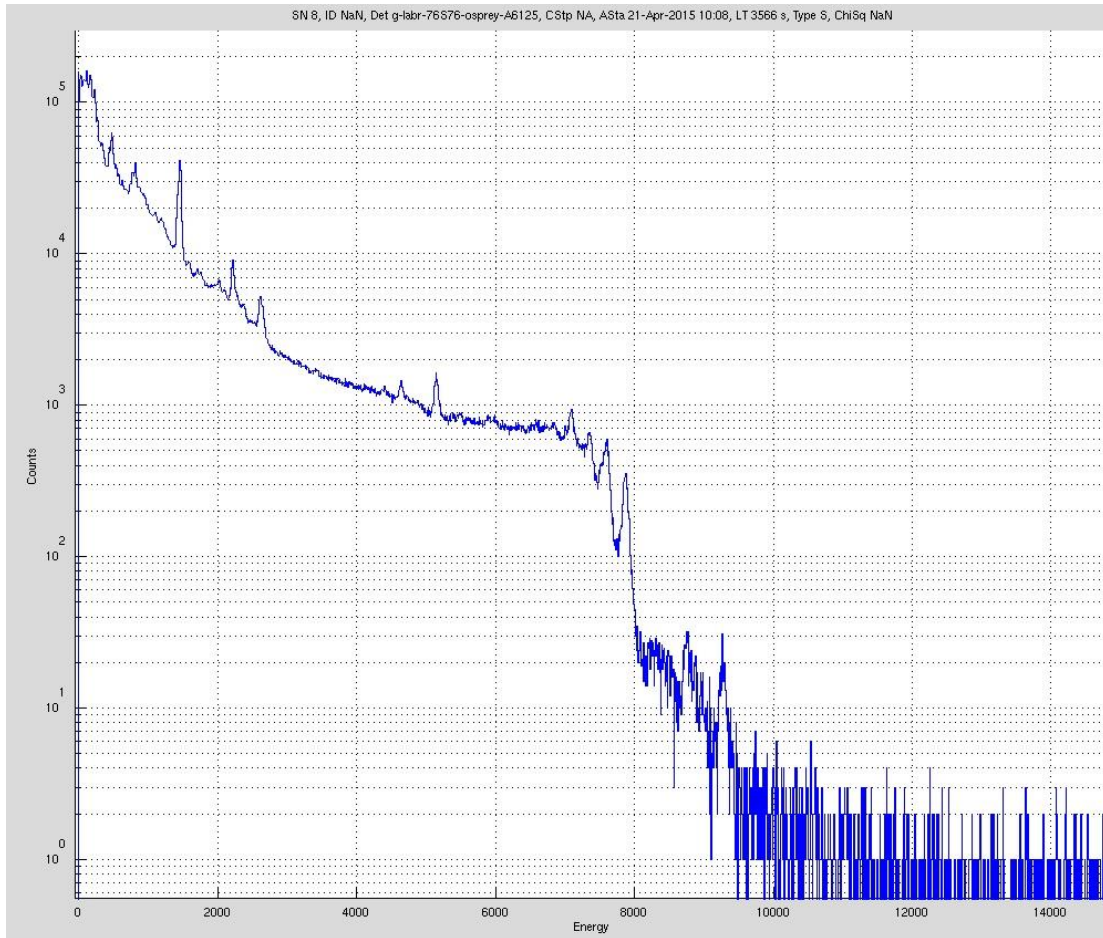
- Hiili ja happi voidaan havaita epäelastisten sirontareaktioiden kautta.
 - Neutronit virittävät ytimet ensimmäisiin viritystiloihin:
 - 4439 keV (C-12)
 - 6130 keV (O-16)
- Virittäminen vaatii neutroneilta vähintään viritystilojen verran energiaa, joten näitä reaktioita ei nähdä Cf-252 lähteitä (pieni eksitaatiovuono).
- AmBe-lähteellä havaitaan happi, mutta koska AmBe-lähde itse emittoi 4439 keV fotoneja, hiilen tunnistaminen kohteesta on käytännössä mahdotonta.
- Neutronitykki tarvitaan hiilen ja hapen havaitsemiseen.

Key signatures of target materials

Mitatut karakteristiset gammaviivat (arkiset aineet).

Nuclide	Energy [keV]	Reaction	Target
H-1	2223	n,g	water, fertilizer
N-14	10829	n,g	fertilizer
Na-23	440	n,ng	salt
Cl-35	1952	n, g	salt
Cl-35	1959	n,g	salt
Cl-35	6120	n,g	salt, fertilizer

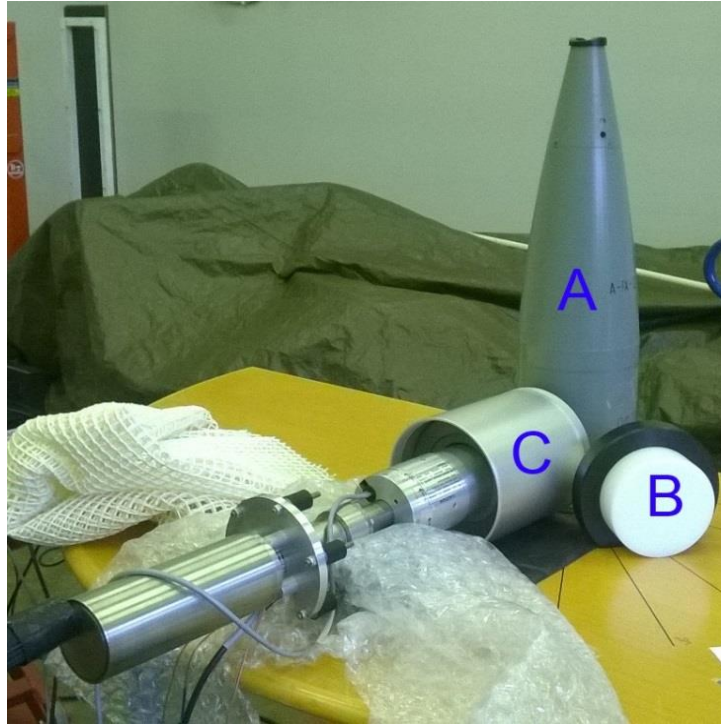
Lannoite LaBr3-ilmaisimella



- Ilmaisimen pienemmän tehokkuuden sekä ilmaisimen sisällä tapahtuvien neutronireaktioiden takia nähdään pelkästään vetyä.

Hexogen-kranaatti

(1/3)

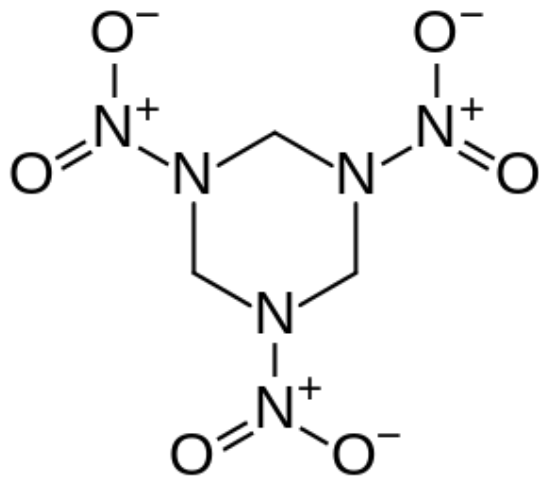


- A. Flegmatoitu hexogen-alumiini räjähdde
- B. Moderoitu neutronilähde
- C. Kollimoitu HPGe-ilmaisin

Hexogen-kranaatti

(2/3)

- Hexogen = RDX; Trimethylentrinitramin; T4



- $C_3H_6N_6O_6$
- Käytetty toisessa maailmansodassa (ja sen jälkeen)
- 1.5 kertaa voimakkaampi kuin TNT

Hexogen-kranaatti

(3/3)

- Laboratoriomittauksissa tunnistettiin tyyppi, kun täytettiin kranaatin kuori lannoitteella.
- Tekninen vika hexogen-kranaatin mittauksessa. Tämän takia ei tunnistettu tyyppiä kenttämittauksessa.
- Hexogen-kranaatissa on enemmän tyyppiä kuin lannoite-kranaatissa, joten tyypin tunnistus on mahdollista.

Miksi neutronitykki?

- Kovempi neutronispektri → virittää tiettyjä ytimiä paremmin (C, O)
- Taustareaktiot minimoidaan (suuri vuo lyhyen aikaa, kollimointi)
- Pulssitettu vuo → nopeiden neutronien reaktiot erotetaan termisten neutronien reaktioista
- Neutronivuo saadaan pois päältä → säteilysuojelullisesti parempi, varsinkin ottaen huomioon tarvittava, korkea neutronivuo

Vaarallisten aineiden havainnoinnin onnistumisen edellytyksiä ovat

1. suuri neutroniheräte

DD: (10^9 n/s - 10^{11} n/s); DT (10^{11} n/s - 10^{13} n/s)

1. pulssitettu toiminta, pulssin kesto 1 μ s
2. kollimoitu suihku; säteily suojaus optimoitu laitteen ympärillä
3. ilmaisimet suojattu hajasäteilyltä, geometrian optimointi.



Yhteenveto

- Aktiivisella menetelmällä voidaan tunnistaa vaaralliset aineet avaamatta pakettia.
- (N/H)-suhde on avain räjähteiden havaitsemiseen. Tarvitaan suuri pulssitettu termisten neutronien vuo. Suomessa on osaamista rakentaa tarvittava laitteisto (JHV Physics).
- Tunnistus onnistuu myös paksun kranaattikuoren sisältä (noin 1 cm rautaa).
- MATINE-projektissa kehitettiin mittaus- ja simulointikykyä erilaisten aineiden neutronivasteen ymmärtämiseksi. Luotiin osaamisen perusta suunnitella ja rakentaa operatiivinen laitteisto.