

Neutronok és detektálásuk

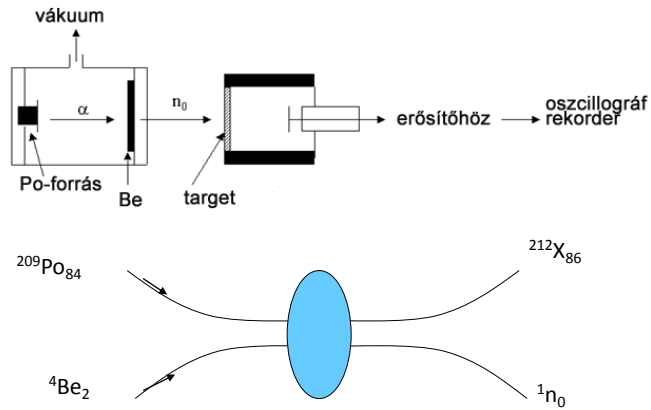
1. rész

Pátzay György
BME KKFT-OKF
2012 június 28



A neutron felfedezése

- 1932 James Chadwick felfedezte az atommagban lévő semleges részecskét a **neutron**.



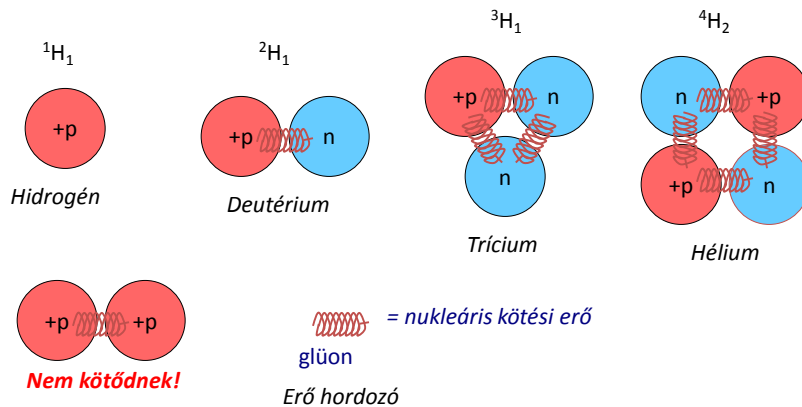
2017.09.11.

Pátzay György

3

Magok kötési energiája

- Ha a magban protonok vannak, miért nem kapcsolódnak egymáshoz?



2017.09.11.

Pátzay György

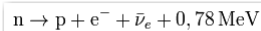
4

Neutronok

•A neutron az atommag egyik összetevője, ezért a protonnal együtt nukleonnak nevezzük. Jele: n. A neve a latin *neutral* (semleges) szóból ered amihez egy görög -on végződést kapcsoltak.

•Az antineutron a neutron ellen- vagy antirészecskéje. Bruce Cork fedezte fel 1956-ban, egy évvel az antiproton felfedezése után. Tömege megegyezik a neutronéval és töltéssel szintén nem rendelkezik. A különbség, hogy antikvarkokból épül fel, két anti-d kvarkból és egy anti-u kvarkból.

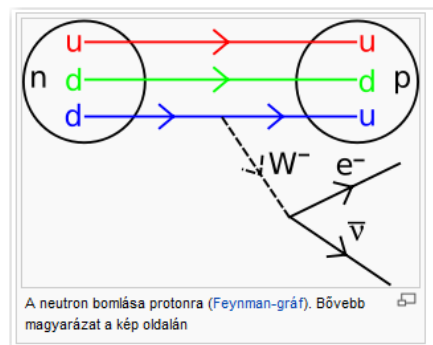
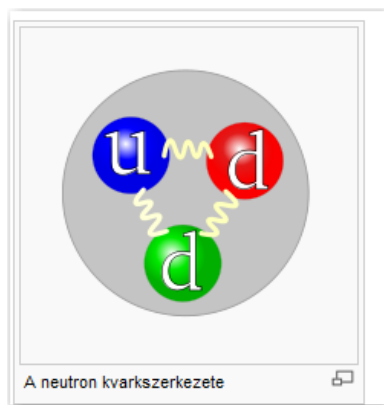
•Az atommagon kívüli, szabad neutron nem stabil, átlagos élettartama $885,7 \pm 0,8$ s (majd 15 perc). Elbomlik protonra, elektronra és anti-neutrínóra:



2017.09.11.

Pátzay György

5



2017.09.11.

Pátzay György

6

Neutronok csoportosítása

- A neutronokat energiájuk szerint csoportosítják
- Hideg neutronok, energiájuk 0,025 eV alatt
- **termikus neutronok**, energiájuk ~ 0.025 eV, a hőmozgás energiájával rendelkeznek- Mozgásuk zeg-zugos.
- **epitermikus neutronok**, rezonancia neutronok, lassú neutronok, energiájuk 0.01 MeV és 0.1 MeV között
- **gyors neutronok**, energiájuk - 0.1 MeV és 20 MeV között
- **Relativisztikus (ultragyors) neutronok** energiájuk 20 MeV fölött

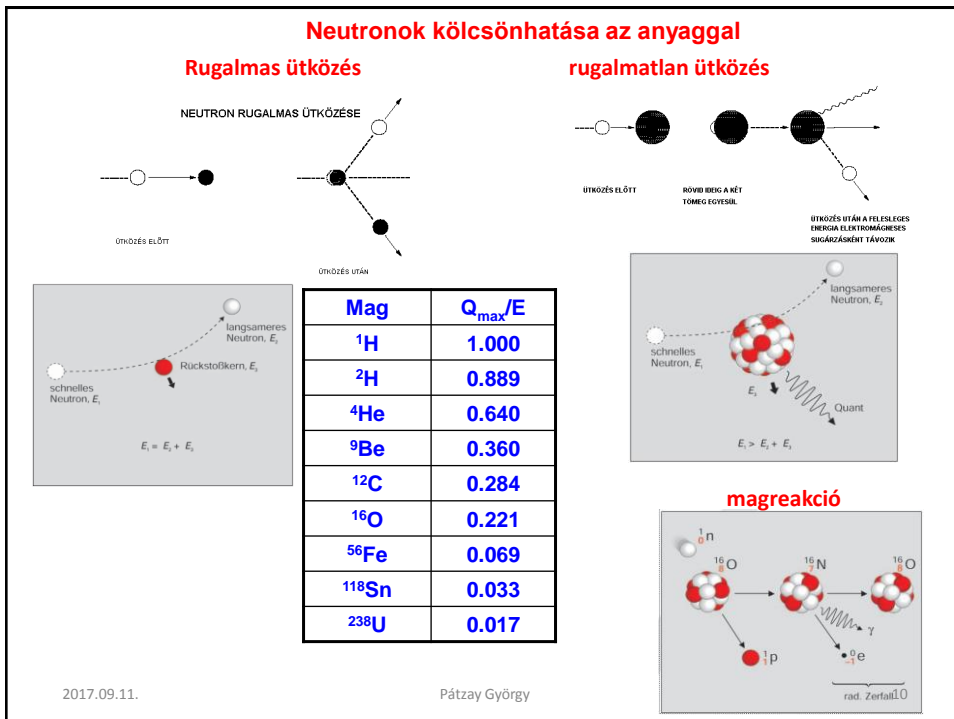
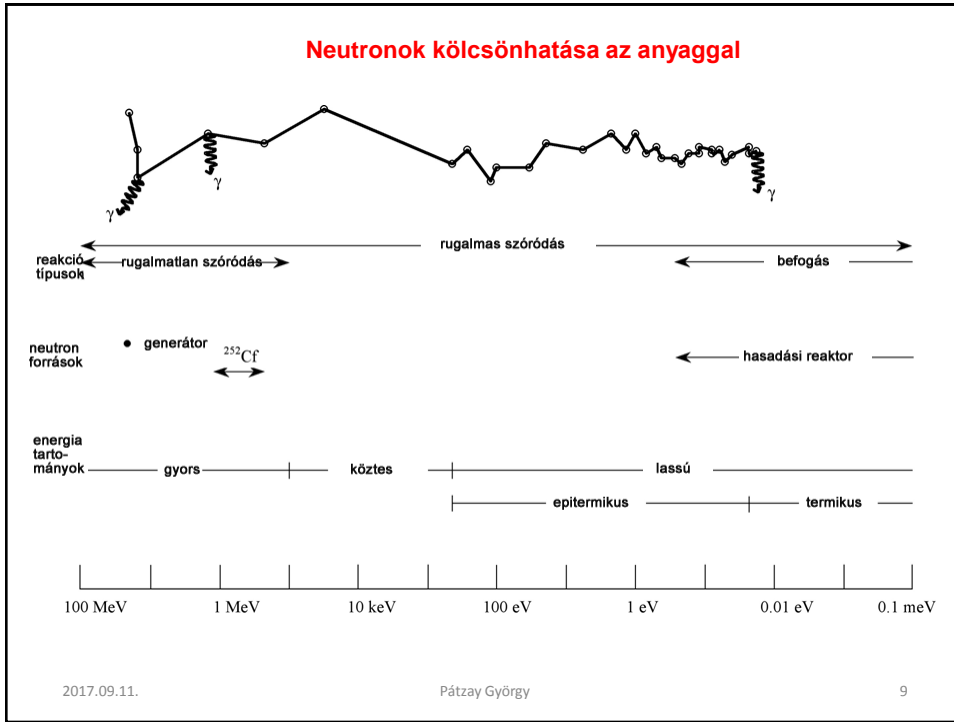
Neutronok csoportosítása

- Sebesség pl. termikus neutronok esetén

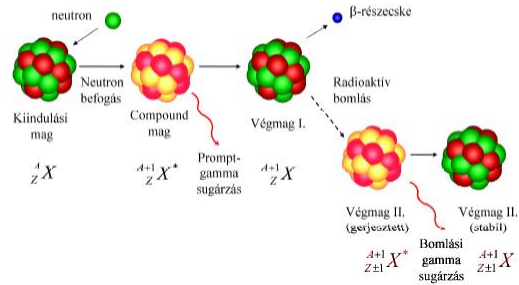
$$\rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = kT$$

$$\rightarrow v = 2200 \text{ m/sec}$$

- A hideg neutronok lassabbak



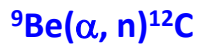
Neutronok kölcsönhatása az anyaggal magreakció



Neutronforrások

1. radioaktív neutronforrások alfa-sugárzó izotóp (${}^{210}\text{Po}$, ${}^{226}\text{Ra}$ vagy ${}^{239}\text{Pu}$) és könnyű elemek (Be vagy B) kombinációja

- A magreakciók:



- Energiaspektrumuk folytonos

(α ,n) neutronforrások

FORRÁS	ÁTL. Neutron energia (MeV)	Felezési idő	$\frac{n}{\text{sec}} / \text{Ci}$
$^{210}\text{PoBe}$	4.2	138 nap	9×10^5
^{210}PoB	2.5	138 nap	4×10^5
$^{226}\text{RaBe}$	3.9	1602 év	1.7×10^7
^{226}RaB	3.0	1602 év	6.8×10^6
$^{239}\text{PuBe}$	4.5	24,400 év	1×10^6

Neutronforrások

2. Fotoneutron források (γ ,n) reakció alapján

- Egy adott gamma energián sugárzó radionukliddal monoenergiás neutronforrás nyerhető
- A forrásokat reaktorban hozzák létre a konvencionális (n, γ) reakció alapján (a ^{226}Ra kivételével)
- A γ -foton által kiváltott magreakció:

$$^9\text{Be}(\gamma, n)^8\text{Be}$$

$$^2\text{He}(\gamma, n)^1\text{H}$$

Fotoneutron források (γ, n)

FORRÁS	átl. Neutron Energia (MeV)	felezési idő	$\frac{n}{\text{sec}} / \text{Ci}$
$^{24}\text{NaBe}$	0.83	15 óra	1.35×10^5
$^{24}\text{NaD}_2\text{O}$	0.22	15 óra	2.7×10^5
$^{114}\text{InBe}$	0.30	54 perc	8.2×10^3
$^{124}\text{SbBe}$	0.024	60 nap	1.9×10^5
$^{140}\text{LaBe}$	0.62	40 óra	3×10^3
$^{226}\text{RaBe}$	0.7 (max)	1622 év	1×10^3

2017.09.11.

Pátzay György

15

Neutronforrások

3. Gyorsítóval előállított neutronok

- részecskegyorsítóval D-T, D-N, P-N magreakciókkal állíthatók elő neutronok



- pozitív Q-érték azt jelenti, hogy a magreakció csak néhány száz keV energiájú ionokkal indukálható

2017.09.11.

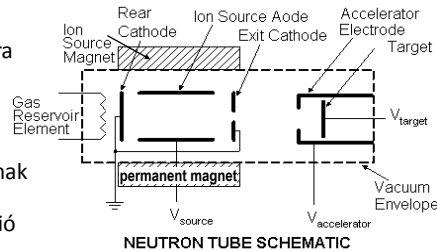
Pátzay György

16

D-T Neutron Generátorok

- Fizikai folyamat

- Az anódnál az elektronok hatására plazma jön létre
- A pozitív töltésű molekula-ionok keresztül haladva a katód résén felgyorsulnak nagy feszültség (~ 100 kV) hatására és becsapódnak egy trícium-deutérium targetbe
- A targetben lejátszódó magreakció neutront emittál



- Targetként fémhidrideket (Ti, Sc, vagy Zr) réz, vagy molibdén hordozón, magas H koncentrációt biztosítva alkalmaznak
- Az ionsugár és a target 50% tríciumot és 50% deutériumot tartalmaz
- Vákuumtömör, üveg-kerámiacső tartalmazza a tríciumot és ezt nagynyomású (60 – 120 psi), tiszta (99.996%) SF₆ szigetelőgáz veszi körül.



2017.09.11.

Pátzay György

17

Neutronforrások

4. Spontán hasadási neutronforrások

- Egyes nehéz atommagok spontán hasadással neutronokat emittálnak
- Néhány ilyen neutronforrás: ²⁵⁴Cf, ²⁵²Cf, ²⁴⁴Cm, ²⁴²Cm, ²³⁸Pu és ²³²U
- Legtöbbször a spontán hasadás felezési ideje nagyobb az alfa-bomlás felezési idejénél
- A²⁵⁴Cf bomlik leginkább spontán hasadással 60 napos felezési idővel

2017.09.11.

Pátzay György

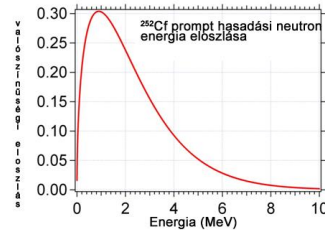
18

Neutronforrások

- ^{252}Cf spontán hasadása átlagosan 10 hasadást produkál 313 alfa-bomlásra.
- A ^{252}Cf alfa-bomlásának felezési ideje 2,73 év, spontán hasadásának felezési ideje pedig 2,65 év.
- neutron emissziója is $2,31 \times 10^6$ neutron/sec/mikrogramm ^{252}Cf
- Az emittált neutronok energiája széles tartományt ölel fel, legvalószínűbb energiája ~ 1 MeV, átlagos energiája ~ 2.3 MeV

Spontán hasadási neutronforrások

- Például ^{252}Cf (2.65 év)
- Prompt neutronok keletkeznek a hasadásból átlagosan ~ 4 neutron/hasadás
- Spontán hasadás csak a bomlások 3% -a, a többi α -bomlás. A neutronhozam $\sim 2.3 \times 10^9$ neutron/s/mg ^{252}Cf
- A neutronok energia eloszlása tipikus hasadási neutron energia eloszlás, 1 – 3 MeV átlagos energiával



Pu izotópok spontán hasadási neutronemissziós sebességei

Izotóp	Spontán hasadási neutron emisszió sebesség (neutron/sec-g)
Pu-238	2.59×10^3
Pu-239	2.18×10^{-2}
Pu-240	1.02×10^3
Pu-241	5×10^{-2}
Pu-242	1.72×10^3

A reaktor üzemanyagban a Pu-240 jele dominál a Pu-238 és Pu-242 izotópokkal szemben, mert nagyobb mennyiségben fordul elő

2017.09.11.

Pátzay György

21

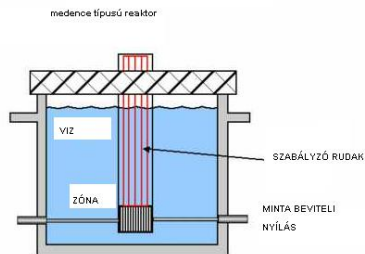
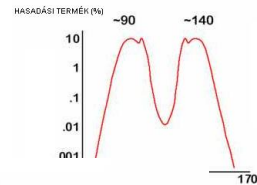
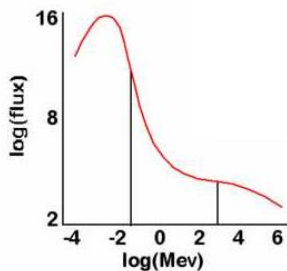
Neutronforrások

5. Reaktor neutronforrások

3-6%-ban ^{235}U -ra dúsított fűtőelemet alkalmaznak. $^{235}\text{U} + n_{\text{th}} \rightarrow 2\text{ff} + \sim 2,5n + \sim 200 \text{ MeV}$

A hasadási termékek az ún kétpúpú görbe mentén oszlanak meg.

A reaktorok neutron fluxusa 10^{11} - $10^{15} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ között változik. Néhány impulzus reaktor fluxusa elérheti 10^{17} - $10^{21} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ értéket. A neutronok kezdetben



2017.09.11.

Pátzay György

22

Reaktor neutronforrások

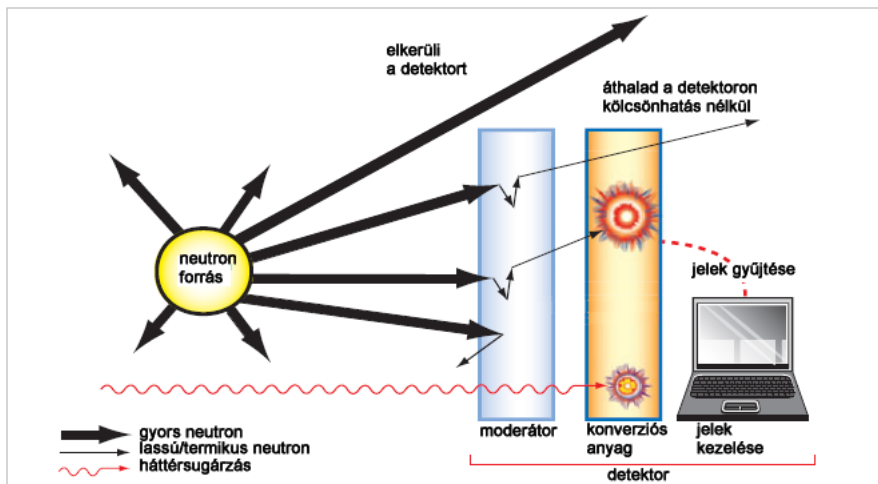
- A neutron fluxus a zóna közelében tipikusan 10^{14} neutrons/cm²/s
- Az energia spektrum csúcsai 1 – 2 MeV körül és 5 – 7 MeV energia tartományban terül el
- A reaktor árnyékolásán kialakított lyukakon a neutron nyaláb kihozható laboratóriumi használatra
- A magas neutron fluxust neutronbefogásos mesterséges radioizotópok előállításához alkalmazzák
- Például Oak Ridge-ben a High Flux Isotope Reactor (HFIR) (85 MW) alkalmazzák
 - ²⁵²Cf források előállítására (rákterápia, roncsolásmentes elemzés)
 - ⁴³K (szív koronaér betegségek vizsgálatához)
 - ¹⁰³Pd (prosztatarák kezeléséhez)
 - ¹⁵³Gd (csonttritkulás vizsgálatához)
 - ¹⁸⁸W (rákbetegségek és arthritis kezeléséhez)

2017.09.11.

Pátzay György

23

Neutronok detektálása



2017.09.11.

Pátzay György

24

2017.09.11. Pátzay György 25

Bevezetés

A neutronok nem rendelkeznek töltéssel, közvetlenül nem ionizálnak, és így a szokásos detektálási módszerekkel, amelyek a részecskék ionizáló hatását használják fel közvetlenül nem detektálhatók. Hasonló a helyzet mint a gamma-sugarak detektálása esetén: itt is olyan kölcsönhatásokat kell keresnünk, amelyek során töltött, azaz ionizációra képes termékek keletkeznek. Ezzel a "transzformációval" a neutron detektálását visszavezethetjük az ionizáló részek detektálására.

A neutronszámlálás természetesen más problémákat vet fel, ha csak relatív mérésről van szó, mintha az abszolút neutronsám meghatározását is megkívánjuk. Ugyancsak más jellegű feladat a neutronok egyszerű megszámlálása, és az, amikor egyúttal az energiájuk szerinti intenzitásukat (gyakoriságukat) is meg akarjuk határozni. A továbbiakban nagyrészt csak a relatív módszerekkel foglalkozunk.

A lehetséges kölcsönhatások, amelyek során a semleges neutron ionizáló részecskévé transzformálhatjuk, a következők:

- rugalmas szóródás (visszalökés),
- rugalmatlan szóródás
- maghasadás (fragmentáció)
- magreakció radioaktív termék keletkezésével (neutronok által indukált mesterséges radioaktivitás, indikátormódszer)
- magreakció radioaktív termék keletkezése nélkül (prompt sugárzás lép ki)

Ezen a kölcsönhatási formák során ionizáló részek keletkeznek és ezek detektálására felhasználhatjuk a megismert detektorok csaknem teljes arzenálját, azaz:

ionizációs kamrát,
 proporcionális számlálócsövet,
 GM-csövet,
 félvezető detektort,
 szcintillációs detektort,
 magemulziót,
 detektorokból álló teleszkóprendszert,
 Wilson-kamrát,
 buborékkamrát,
 szikrakamrát,
 Cserenkov-számlálót
 szilárdtest-nyomdetektort, stb.

Nem mindegyik esetben használhatjuk a fenti detektorok mindegyikét, és az elvileg lehetséges detektorfajták sem egyforma detektálási hatásfokkal rendelkeznek gyakorlati szempontból. A gyakorlatban jól használható detektorokra esetenként rámutatunk.

Visszalökési (protonszórásos) neutron-detektorok

A gyors neutronok jellemző kölcsönhatási formáját, a rugalmas ütközési kölcsönhatást alkalmazzák. Ha a gyors neutron valamilyen atommal rugalmasan ütközik, akkor energiájának egy részét átadja a meglökött magnak, amely az energiaátadás következtében ionizálódik. A meglökött (visszalökött) ionizálódott magokat ionizációs hatások alapján megszámlálhatjuk a szokásos részecskeszámlálók segítségével. Az atommagok közül a legkönnyebb hidrogén atommaggal a legnagyobb a gyors neutronok rugalmas ütközési valószínűsége. Éppen ezért általában a rugalmas ütközést felhasználó detektorok anyagának nagy hidrogéntartalmú anyagokat (hidrogén gáz, víz, paraffin, műanyagok) szokás választani.

A módszer elsősorban közepes és nagyenergiájú neutronok detektálására alkalmazható; kisebb energiáknál (termikus neutronok) a visszalökött mag energiája ugyanis nehezen mérhető.

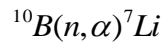
A visszalökési detektorok kiviteli formája különféle lehet. Felhasználhatunk erre a célra hidrogénnel töltött ionizációs kamrát, proporcionális csövet, vagy Wilson-kamrát, amikor a töltőgázban keletkezett visszalökési protonok ionizációs jeleit számolja a detektor. Egy másik lehetőség, hogy hidrogéntartalmú szóróanyagot (radiátort) helyeztünk el vékony paraffin-lemez formájában a detektor előtt, vagy a detektor belsejében.

A magemulzió is alkalmas visszalökési detektornak, mivel a zselatin sok hidrogént tartalmaz. Hasonlóképpen felhasználhatók neutron detektálásra a plastik-foszforok és folyadék szcintillátorok, magas hidrogéntartalmuk következtében.

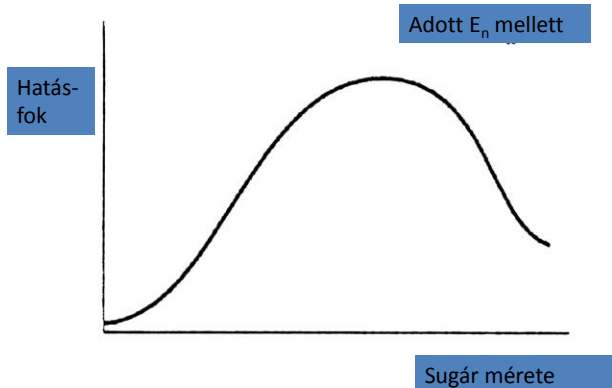
A rugalmas ütközést felhasználó, ún. protonszórási detektorok közül leggyakrabban a hidrogén gázzal töltött ionizációs kamrát és a szerves szcintillátorokat tartalmazó protonszórásos szcintillációs detektorokat alkalmazzák.

Magreakción alapuló neutron-detektorok

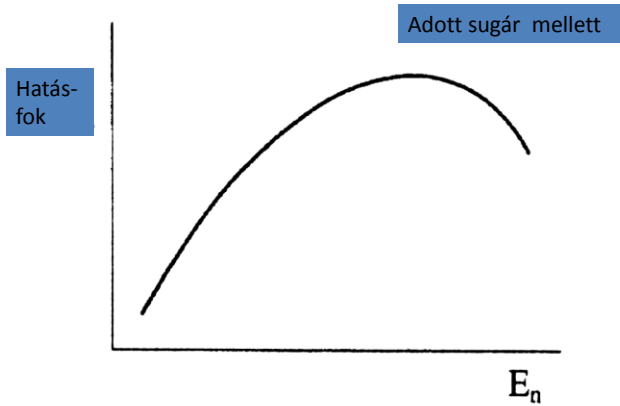
A termikus és gyors neutronok magreakcióba léphetnek a detektor anyagával, melynek során a detektor atomjaival energiát közölnek és azok energiafeleslegüktől radioaktív bomlás révén szabadulnak meg. Az esetek többségében a magból kirepülő részecske, például gamma-kvantum viszi el a teljes energia felesleget, vagy annak csak egy részét. Az első esetben a visszaradt atommag stabil és csak a pillanatszerűen (prompt idő, $\sim 10^{-12}$ s alatt) kirepülő gamma-kvantum, alfa-részecske stb. ionizációs hatása érzékelhető (magreakció radioaktív termék keletkezése nélkül), a második esetben pedig a prompt részecske csak az energia felesleg egy részét viszi el és a visszaradt atommag radioaktív, melynek sugárzása, annak ionizációs hatása miatt jól detektálható. Az első kölcsönhatásra jó példa ^{10}B atommag reakciója:



Moderátor gömb lassítása a sugár függvényében



Moderátor gömb lassítása az energia függvényében

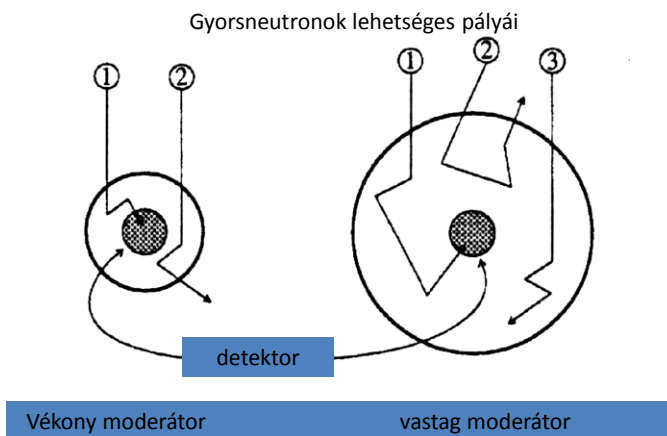


2017.09.11.

Pátzay György

31

Moderátoros gyorsneutrontektorok

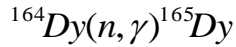


2017.09.11.

Pátzay György

32

melynek során a bór atommagból kirepülő alfa-részecske ionizációs hatása érzékelhető. A második kölcsönhatás típusra jó példa a ^{164}Dy atommag reakciója:



Ebben a reakcióban a magból kirepülő prompt-gamma kvantumok eltávozása után radioaktív (béta- és gamma-sugárzó) diszprózium atommagok maradnak vissza, melyek sugárzásának ionizációs hatása révén következtethetünk a neutronok számára. Néhány, a termikus neutronok detektálására alkalmas neutronok által kiváltott detektorban alkalmazott magreakciót foglaltunk össze a következő táblázatban:

Reakció	Hatáskeresztmetszet (termikus)	Izotóparány	Q (reakcióhő) MeV
$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$	$3900 \pm 110 \text{ barn}^*$	18,83%	2,791
$^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{T}$	$910 \pm 100 \text{ barn}$	7,4	4,785
$^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$	19500 barn	12,3	7,5
$^3\text{He}(n, p)^3\text{T}$	$5060 \pm 200 \text{ barn}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,7637

*1 barn= 10^{-24}cm^2

A szokásos megoldás szerint, az ionizációs kamrát vagy proporcionális számlálócsövet BF_3 tartalmú töltőgázzal töltönek meg, vagy - ritkábban - e detektorok belsejét fém B illetve B_4C bevonattal látják el. Szcintillációs módszereket használva, kézenfekvőnek látszik a Li kristály alkalmazása, amikor is a Li magon végbemenő neutronreakció ionizációs termékei magában a kristályban fényfelvillanást eredményeznek. Egy másik megoldásnál bórsavas észtert kevernek össze ZnS szcintillációs foszforral; ekkor a keletkezett alfarészek a ZnS -ban szcintillációs fényfelvillanást váltanak ki. Ha valamilyen oldható kadmium vegyületet folyadék-szcintillátorba viszünk, akkor a kadmiumon történő neutronbefogásnál (magreakció!) keletkező gamma-sugarakat a folyadék-szcintillátor detektálja.

Alkalmazható. neutrondetektorként bórvegyülettel átitatott magemulzió is. Érdekességként említjük meg, hogy ha egy szikraszámoló egyik elektródját B_4C bevonattal látjuk el, akkor neutronszámlálásra használhatjuk, mivel a szikraszámoló nagy effektivitással és gyakorlatilag háttérmentesen detektálja a keletkezett alfa-részeket.

A fenti detektorok közül leggyakrabban a ^{10}B izotópban dúsított BF_3 gázzal töltött proporcionális csövet (röviden BF_3 -csövet) vagy újabban a He-töltött proporcionális csövet használják.

A legtöbb magreakción alapuló neutrondetektornál technikai nehézséget jelent az, hogy a gammasugarakra is érzékenyek, ugyanakkor a neutron-sugárzást szinte minden esetben kíséri gamma sugárzás. Külön módszereket kell kidolgozni ezen érzékenység csökkentésére.

Ha nem termikus neutronokat akarunk BF_3 csővel detektálni, akkor a detektort néhányszor 10 cm vastag paraffin-réteggel vonjuk be. Ilyenkor a gyors neutronok lefékeződnek, termalizálódnak és így a kiindulási neutronspektromtól nagyjából függetlenül csak termikus neutronok jutnak a detektorra. Ezzel a megoldással sikerült a 10 keV - 3 MeV energiatartományban közel egyenletes érzékenyséű neutrondetektort megvalósítani (long counter).

A radioaktív termék eredményező magreakciókat az ún. aktivációs (aktivációs) detektoroknál, vagy monitoroknál használjuk fel. Ezek a detektorok lényegében az illető target-anyagból készült vékony fóliák (ezüst-, arany-, diszprózium-fólia stb.), melyeket a neutron sugárzás útjába helyeznek el és a sugárzás révén felektíválódnak. A radioaktívvá vált lemezeket kiemelve és megmérve azok beütésszámát, ebből kiszámolva az aktivitást, az aktiválás időtörvénye alapján meghatározható az aktiválást végző neutronok idő- és felület-egységre eső száma, flukszusa. Ezeket a monitor lemezeket használják termikus neutron fluxus monitorozására (In, Au, I, Dy, Co, Mn, Na, V, Cl stb.) éppúgy, mint a gyorsneutronok fluxusának meghatározására (^{31}P , ^{24}Mg , ^{27}Al , ^{58}Ni , ^{28}Si , ^{12}C , ^{127}I stb.) is. Utóbbi monitorokat küszöbdetektoroknak is nevezik, mivel a gyors neutronokkal végbemenő, radioaktív termék eredményező magreakció csak bizonyos neutron energia fölött következik be.

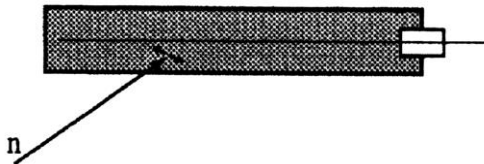
Előnyük az egyéb detektor fajtákhoz képest az, hogy a neutron sugárzást kísérő gamma hátér ebben az esetben nem okoz mérés-technikai problémát mert a radioaktív terméket más helyen, később mérhetjük.

2017.09.11.

Pátzay György

35

A BF_3 detektor



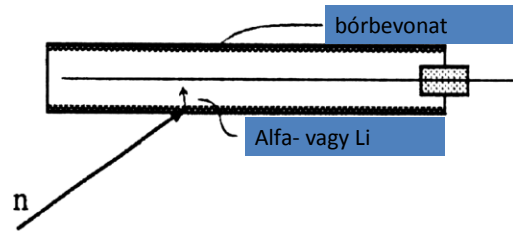
- Tipikus BF_3 nyomás < 1 atm
- Tipikus HV: 2000-3000 V
- Szokásos dúsítás ^{10}B -re 96%

2017.09.11.

Pátzay György

36

Bórbevonatú proporcionális detektor



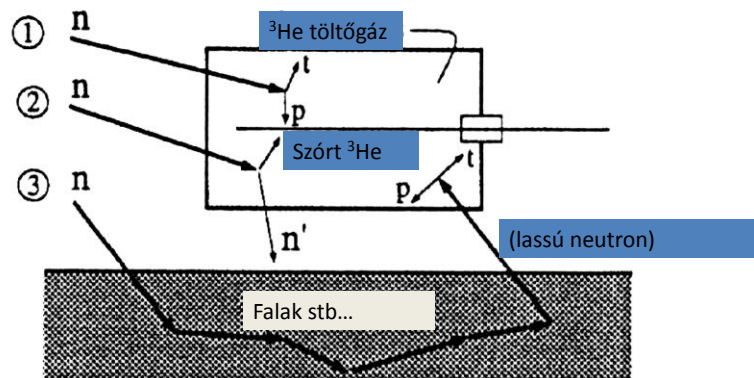
- Konvencionális proporcionális gáztöltet
- A detektálás hatásfokát a bórbevonat vastagsága határozza meg

2017.09.11.

Pátzay György

37

A ${}^3\text{He}(n,p)$ reakció alkalmazása – a ${}^3\text{He}$ proporcionális számláló

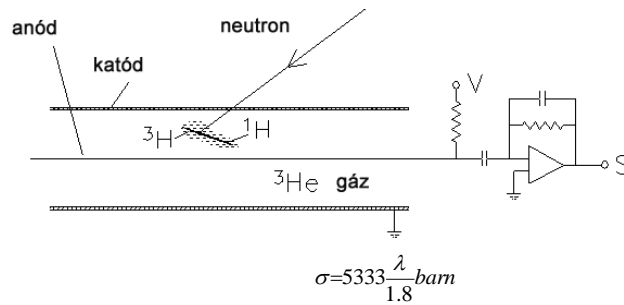


2017.09.11.

Pátzay György

38

Gáztöltésű detektorok



~25,000 ion és elektron keletkezik neutrononként ($\sim 4 \times 10^{-15}$ coulomb)

2017.09.11.

Páztay György

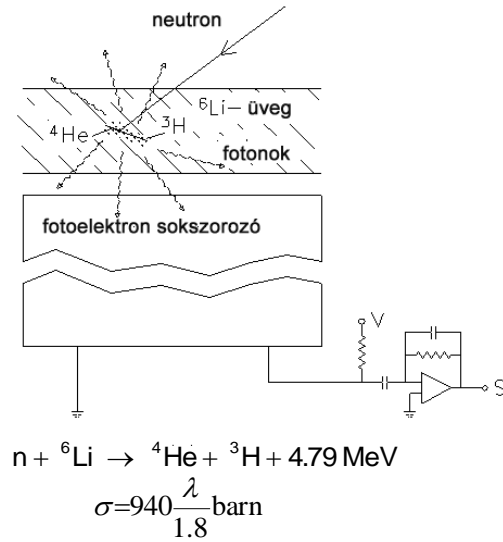
Gáztöltésű detektorok

- Ionizációs kamra üzemben
 - Elektronok becsapódva az anódba elektromos impulzust generálnak
- Proporcionális kamra üzemben
 - Ha a gyorsító feszültség elég magas másodlagos ionizáció (gázerősítés) lép fel nagyobb áramimpulzus
 - gázerősítés
 - 1000-4000-szeres

2017.09.11.

Páztay György

Szcintillációs detektorok



2017.09.11.

Pátzay György

41

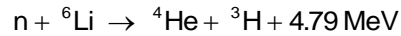
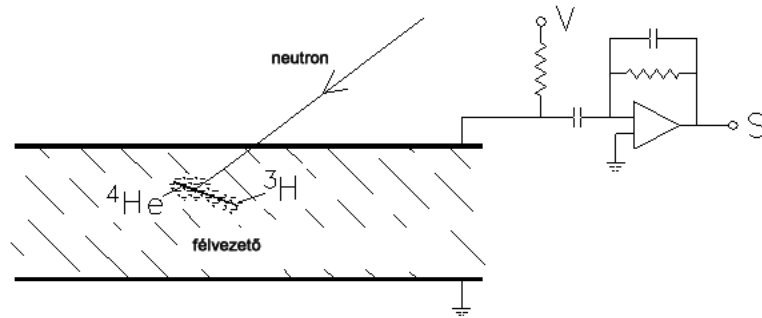
Neutrontektálási szcintillátorok

Anyag	${}^6\text{Li}$ atomok sűrűsége (cm^{-3})	Szcintillációs hatásfok	Foton hullámhossz (nm)	Foton per neutron
Li üveg (Ce)	1.75×10^{22}	0.45 %	395 nm	~7,000
Lil (Eu)	1.83×10^{22}	2.8 %	470	~51,000
ZnS (Ag) - LiF	1.18×10^{22}	9.2 %	450	~160,000

2017.09.11.

Pátzay György

Félvezető detektorok



$$\sigma = 940 \frac{\lambda}{1.8} \text{ barn}$$

2017.09.11.

Pátzay György

43

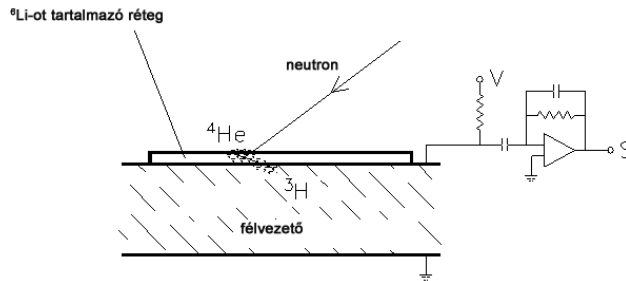
Félvezető detektorok

- ~1,500,000 lyuk és elektron per neutron ($\sim 2.4 \times 10^{-13}$ coulomb)
 - Ez közvetlenül detektálható, további erősítés nélkül
 - De . . . A standard félvezetők nem tartalmazzak elegendő neutronelnyelő magot megfelelő neutron számlálási hatások eléréséhez
 - Neutronabszorber réteg a félvezető felületén?
 - Bór-foszfid félvezető kialakítása?

2017.09.11.

Pátzay György

Félvezető borítása neutron abszorberrel



- A réteg vékony legyen (néhány mikrométer), hogy a töltött részecskék át tudjanak lépni a detektorba
 - Kicsi a számlálási hatásfok
- Az elnyelt energia zöme nem jut be a detektorba
 - Gyenge pulzus amplitúdó diszkrimináció

2017.09.11.

Pátzay György

Hasadási neutron-detektorok

Neutron detektálására felhasználhatjuk; a neutronok által kiváltott reakció egy speciális fajtáját, a maghasadást is, amelyet annak ellenére, hogy logikailag tulajdonképpen az előbbi csoportba tartozik, néhány jellegzetessége miatt célszerűnek látszik külön tárgyalni.

A hasadásnál felszabaduló nagy energiának jelentős része (mintegy 160 MeV) a hasadási termékek kinetikus energiájaként jelentkezik. (A periódusos rendszer végén lévő elemek közül termikus neutronok hatására hasad: pl. ^{235}U , ^{239}Pu). Ennek következménye, hogy a hasadási termékek pl. egy ionizációs kamrában igen nagy impulzusokat váltanak ki annál is inkább, mert erősen (sokszor húszszorosán) ionizáltak. Ha tehát egy ionizációs kamrában hasadó anyagot helyezünk el, akkor a kamrára eső neutronok által létrehozott minden egyes hasadási esemény során egy-egy impulzust kapunk, amelyeket a szokásos elektronikus módszerekkel megszámlálva lehetőségünk van a beérkezett neutronok számának meghatározására. Mivel a neutronok kinetikus energiája elhanyagolható a hasadási termékek kinetikus energiájához képest, a kapott impulzus amplitúdója nem függ a neutron energiájától és így ez a módszer sem alkalmas energia meghatározására. Az előzőekben említett anyagok hasadási hatáskeresztmetszete a termikus tartományban nagy, a nagyobb energiák felé rohamosan csökken. Ha gyorsneutronokat akarunk detektálni, akkor - az előző pontban megismert módszerekhez hasonlóan - vagy paraffinnal termalizáljuk a neutronokat, vagy olyan hasadó anyagokat használunk, amelyeknél a hasadás csak bizonyos neutronenergia fölött megy végbe.

Ilyen pl. az ^{238}U , ^{232}Th , ^{209}Bi , stb., amelyeknél a hasadáshoz szükséges neutron energia MeV nagyságrendű.

Pátzay György

46

A szokásos gyakorlati kivitelnél a hasadó anyagot vékony réteg formájában (a hasadási termékeknek a rétegből való kijutása érdekében) alumínium, platina, vagy nikkel hordozó lemezre veszik fel, amely egyben nagyfeszültségű elektróda. Az effektivitás növelése céljából gyakran többréteges kamrákat használnak, amelyben hasadó anyagot tartalmazó és az ionok összegyűjtésére szolgáló hűtőelektródák váltakozóan, a légekondenzátor lemezeihez hasonló elrendezésben helyezkednek el.

Neutrondetektorok összefoglalása

Izotóp	Potenciális gamma sugárzás diszkrimináció	Potenciális neutron detetálási hatásfok	Típusos detektor típus
Hélium-3	Jó (0.76 MeV)	Kiváló (5333 barn)	Proporcionális
Bór-10	Nagyon jó (2.3 MeV)	Nagyon jó (3835 barn)	Proporcionális, szintillációs, vagy félvezető
Lítium-6	Kitűnő (4.78 MeV)	Jó (940 barn)	Szcintillációs vagy félvezető

2017.09.11.

Pátzay György

47

Magreakciók neutronok detektálására

- $n + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^1\text{H} + 0.764 \text{ MeV}$
- $n + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + 4.79 \text{ MeV}$
- $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^7\text{Li}^* + {}^4\text{He} \rightarrow {}^7\text{Li} + {}^4\text{He} + 0.48 \text{ MeV } \gamma + 2.3 \text{ MeV} \quad (93\%)$
 $\rightarrow {}^7\text{Li} + {}^4\text{He} \quad + 2.8 \text{ MeV} \quad (7\%)$
- $n + {}^{155}\text{Gd} \rightarrow \text{Gd}^* \rightarrow \gamma\text{-sug spektrum} \rightarrow \text{konverziós elektron spektrum}$
- $n + {}^{157}\text{Gd} \rightarrow \text{Gd}^* \rightarrow \gamma\text{-sug spektrum} \rightarrow \text{konverziós elektron spektrum}$
- $n + {}^{235}\text{U} \rightarrow \text{hasadási termékek} + \sim 160 \text{ MeV}$
- $n + {}^{239}\text{Pu} \rightarrow \text{hasadási termékek} + \sim 160 \text{ MeV}$

2017.09.11.

Pátzay György

Neutrondetektálás hatásfoka

- Pontos összefüggés: $\varepsilon = 1 - e^{-N\sigma t}$
- Közelítő összefüggés kis hatásfokok esetén:

$$\varepsilon \approx N\sigma t$$

- Where:

σ = abszorpciós hatáskeresztmetszet

N = abszorber magok sűrűsége

t = vastagság

$N = 2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{atm}^{-1}$ gázokra

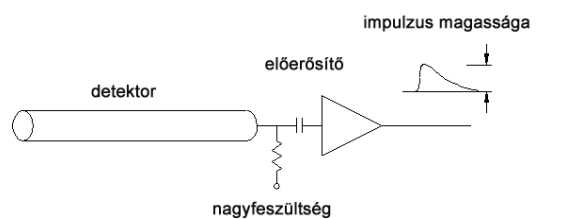
1-cm vastag ^3He 1 atm nyomáson 1.8 Å méretre,

$\varepsilon = 0.13 \rightarrow 13\%$

2017.09.11.

Pátzay György

Impulzus-magasság diszkrimináció



2017.09.11.

Pátzay György

Impulzus magasság diszkrimináció

- A diszkriminációs szintet úgy állítják be, hogy a zajt (gyorsneutronok, gammák, elektronikus zaj) ne számolják
- Így a zaj (háttér) jelentősen csökkenthető
- A diszkriminációs képesség nagyon fontos tulajdonsága a neutron detektoroknak (^3He gáztöltésű detektorok nagyon kedvezőek)

2017.09.11.

Pátzay György

Neutrondetektorok alkalmazása biztonsági mérésekben

Általában háromféle detektortípust alkalmaznak:

- Propcionális számlálót
- Szcintillációs számlálót
- Félvezető detektort

Proporcionális neutron számlálók

A keletkezett primer töltéspárok gázerősítés révén megsokszorozza, a keletkezett töltések száma arányos (proporcionális) a primer töltések számával. A ^3He gáztöltésű detektorokban a gáz egyben konverziós anyag és ionizálódó gáz is. Más proporcionális detektorok konverziós anyagként szilárd bevonatot alkalmaznak és a töltőgáz argon. A következő ábra ^3He gázzal töltött proporcionális detektorcsöveket mutat, melyek 10-50,8 mm átmérővel és 62,5-1994 mm hosszal kereskedelembe beszerezhetők.



2017.09.11.

Pátzay György

52

Szcintillációs neutrondetektorok

Szilárd, vagy folyékony szcintillátort tartalmaznak és a konverziós anyag szintén a „kristályban” vagy a folyadékban helyezkedik el. A neutron hatására töltött részecske (alfa, proton stb.) keletkezik és ez fényfelvillanást (szcintillációt) okoz, a fényt fotoelektron sokszorozó elektromos impulzussá alakítja.

Félevezető neutrondetektorok

Félevezető lapkákat tartalmaznak a konverziós anyaggal együtt (felületen, vagy belekeverve). A neutron hatására töltött részecskék keletkeznek a konverziós anyagban és a töltött részecskék elektromos impulzusként összegyűjthetők.

Konverziós anyagként a ^3He , ^{10}B , ^6Li izotópokat alkalmazzák leggyakrabban. Az USA az utóbbi két izotópot importálja, ezért a ^3He izotópot preferálják. A ^3He előnyei:

1. Magas neutron detektálási határfok
2. Gamma-sugárzásra kevésbé érzékeny
3. Nem-mérgező
4. Olcsó (40-85 US\$/l)

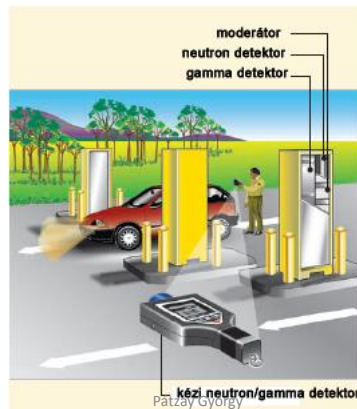
A ^3He töltetű detektorokat biztonsági mérésekhez előszeretettel alkalmazzák. Az ilyen méréseknél a neutron mellett gamma-sugárzást is mérnek radioaktív anyagok, neutronsugárzók és hasadási anyagok kimutatására. A detektorok gyorsneutronokat keresnek, melyeket hasadóanyagok bocsátanak ki. Ezek a hasadóanyagok vízzel, vagy

2017.09.11.

Pátzay György

53

hidrogén-tartalmú anyaggal árnyékolhatók, a felderítési mérések kiküszöbölésére. Teljesen azonban a neutronsugárzást nem lehet leárnyékolni és így a neutronok egy rész eljut a mérő detektorhoz. Az ilyen neutrondetektorok mérő felülete $\sim 0,7 \text{ m}^2$ és detektoronként 44 liter ^3He töltetet igényelnek. A nagy beépített neutrondetektorok mellett kézi és háztáskás detektorokat is alkalmaznak, kisebb mennyiségű töltőgázzal. Emellett alkalmazzák a neutrondetektorokat neutronforrással kombinálva nedvességtartalom meghatározására, olaj és termálvíz fúrt kutak vizsgálatára. Egy tipikus beépített biztonsági mérőpont sémáját mutatja a következő ábra.



2017.09.11.

Pátzay György

54

Köszönöm a figyelmet!!!