

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Fakulta špeciálneho inžinierstva



Dušan JANÁSEK

Jozef SVETLÍK

**RADIAČNÁ, CHEMICKÁ
A
BIOLOGICKÁ OCHRANA**

Zbrane hromadného ničenia

**Vydala Žilinská univerzita
2005**

Skriptá obsahujú základné údaje a informácie o jednotlivých druhoch zbraní hromadného ničenia, ich definíciou, charakteristikou a základným rozdelením; stručný popis fyzikálnych, chemických a toxikologických vlastností náplní jadrových, chemických a bakteriologických zbraní. Sú určené pre študentov študijných odborov v predmete Radiačná, chemická a biologická ochrana a Riešenie krízových situácií. Vybrané témy sú využiteľné aj pre ostatné študijné odbory bakalárskeho a inžinierskeho štúdia na Fakulte špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline.

Odborný redaktor: RSDr. Štěpán Machynka

Recenzenti: doc. Ing. Ladislav Olšar, PhD
Ing. Alexander Daloš

© D.Janásek, J.Svetlík 2005

ISBN 80-8070-431-7

Za odbornú náplň zodpovedá odborný redaktor doc. Ing. Ladislav Olšar, PhD.

Autori	Ing. Dušan Janásek, Ing. Jozef Svetlík
Názov	RADIAČNÁ, CHEMICKÁ A BIOLOGICKÁ OCHRANA
Vydala	Žilinská univerzita v Žiline v EDIS-vydavateľstve ŽU v júni 2005 ako svoju 2051. publikáciu
Zodpovedný redaktor	PhDr. Katarína Šimánková
Vydanie	prvé
Náklad	100 výtlačkov

ISBN 80-8070-431-7

Rukopis vo vydavateľstve neprešiel redakčnou ani jazykovou úpravou.

OBSAH

ÚVOD	5
1 ZBRANE HROMADNÉHO NIČENIA	7
1.1 Jadrové zbrane	8
1.1.1 Charakteristika	8
1.1.2 Trendy vývoja	9
1.2 Chemické zbrane	11
1.2.1 Charakteristika	11
1.2.2 Trendy vývoja	12
1.3 Biologické zbrane	14
1.3.1 Charakteristika	14
1.3.2 Trendy vývoja	15
2 HMOTA A LÁTKA	17
2.1 Všeobecná charakteristika	17
2.2 Štruktúra atómu	20
3 RÁDIOAKTÍVNE LÁTKY	25
3.1 Energia jadra	25
3.2 Jadrové reakcie	28
3.2.1 Alfa premena	32
3.2.2 Beta premena	33
3.2.3 Gama premena	36
3.3 Druhy rádioaktívneho žiarenia	37
3.3.1 Alfa žiarenie	38
3.3.2 Beta žiarenie	38
3.3.3 Gama žiarenie	39
3.3.4 Neutrónové žiarenie	40
3.4 Princíp jadrových zbraní	41
3.4.1 Klasifikácia jadrových zbraní	42
3.4.2 Štiepne jadrové reakcie	43
3.4.3 Termonukleárne jadrové reakcie	47
3.4.4 Neutrónové zbrane	50
3.4.5 Gama zbrane	50
3.5 Vplyv rádioaktívnych látok	51
4 OTRAVNÉ LÁTKY	55
4.1 Fyzikálne vlastnosti	55
4.2 Chemické vlastnosti	56
4.3 Fyziologické vlastnosti	58
4.4 Bojové vlastnosti	61
4.5 Základné skupiny otravných látok	62
4.5.1 Otravné látky dusivé	62
4.5.2 Dráždivé otravné látky	64
4.5.3 Otravné látky všeobecne jedovaté	68
4.5.4 Pľuzgierotvorné otravné látky	70
4.5.5 Nervovoparalytické otravné látky	73
4.5.6 Psychoaktívne otravné látky	78
4.5.7 Pomocné látky	82
4.6 Subjektívne dôkazy otravných látok	83

5	BIOLOGICKÉ PROSTRIEDKY	85
5.1	Všeobecná charakteristika	85
5.2	Zaradenie biologických látok	86
5.2.1	Baktérie	87
5.2.2	Rickettsie	89
5.2.3	Vírusy	90
5.2.4	Toxíny	92
5.2.5	Herbicídy a defolianty	95
5.3	Priebeh pôsobenia	97
5.4	Šírenie v priestore	100
6	JADROVÉ ENERGETICKÉ ZARIADENIA	103
6.1	Všeobecná charakteristika	103
6.2	Jadrové energetické zariadenia	104
6.2.1	Jadrový reaktor	106
6.2.2	Jadrové palivo	109
6.2.3	Moderátor	111
6.2.4	Chladiace médium	112
6.2.5	Regulácia výkonu reaktora	112
6.3	Jadrové reaktory	114
6.3.1	Tlakovodný reaktor VVER 440	114
6.3.2	Tlakovodný reaktor VVER 1000	114
6.4	Jadrová bezpečnosť	115
6.4.1	Rádioaktívny odpad	116
	PRÍLOHY	121
	LITERATÚRA	129

ÚVOD

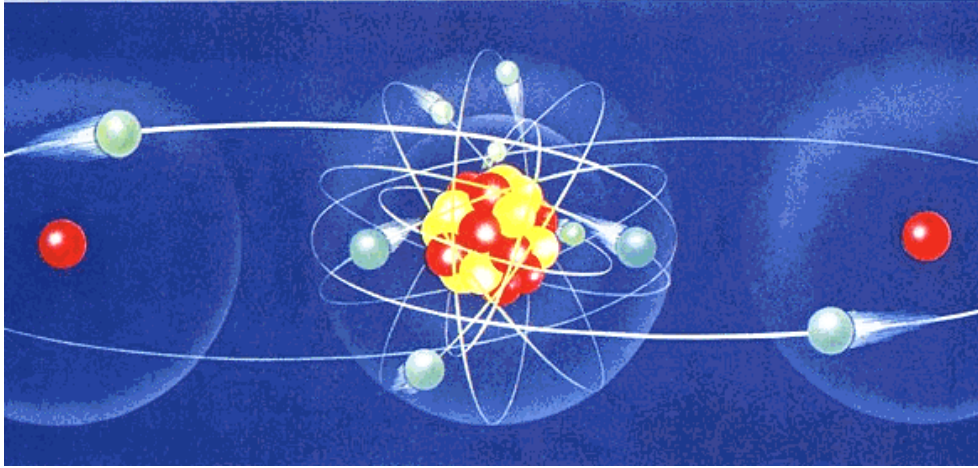
Zložitosti vývinu súčasnej civilizácie, jej špecifikácia a rozdielne podmienky života v jednotlivých regiónoch a oblastiach, postupné prehĺbovanie rozdielov medzi rozvinutejšími a zaostávajúcimi časťami sveta, narastanie radikalizmu a extrémizmu a postupný rozvoj a prejavy terorizmu regiónov alebo štátov vlastniacich jadrové, chemické alebo biologické zbrane vyvolávajú obavy celého demokratického svetového spoločenstva.

Napriek určitým obmedzeniam spôsobu rozširovania jednotlivých druhov zbraní hromadného ničenia, utajovania špecifických technologických postupov a výrobných procesov narastajú možnosti rady štátov (ale aj rôznych extrémistických organizácií) získavania jednotlivých prostriedkov zbraní hromadného ničenia, prípadne technologických procesov výroby, nielen ako celku ale aj ako dielčích komponentov (štiepna jadrová látka, výrobná technológia obohacovania a pod.).

Z toho vyplýva nebezpečenstvo použitia prípadne zneužitia jednotlivých zbraňových systémov alebo náplní ZHN (rádioaktívne a otravné látky, biologické prostriedky) pri riešení konfliktných situácií, ktoré vzniknú v jednotlivých regiónoch tohoto sveta. Následky ich použitia dokážu ohroziť nielen daný priestor a v ňom celý ekologický systém (príroda, zvieratá, človek), ale vplyvom vhodných poveternostných podmienok aj oblasti, ktoré sú v prvopočiatku mimo konfliktného regiónu.

Druhou stránkou je možnosť havárií jednotlivých technologických celkov (výroba, skladovanie, preprava) buď zlyhaním časti riadiaceho systému (najmä človeka), vplyvom živelných havárií (zemetrasenie, potopy, požiare a pod.), alebo diverzným poškodením vhodných častí technického zariadenia a následným únikom nebezpečných zložiek do okolitého priestoru.

Nebezpečenstvo dlhodobého a v širokom priestore pôsobiaceho účinku daných látok zvyšuje aj nedostatočný a na nízkej až nevyhovujúcej úrovni stav vedomostí a praktických návykov ľudí riešiť vznikajúce krízové situácie na základe znalostí ich základných fyzikálnych, chemických a toxických vlastností.



1 ZBRANE HROMADNÉHO NIČENIA

V celej histórii ľudstva nebolo ešte nikdy sústredené na zemi také obrovské množstvo zbraní s takým potenciálom ničenia ako v súčasnosti. Ich použitie v jednotlivých ozbrojených konfliktoch, prípadne zneužitie rôznymi extrémistickými skupinami, zasahuje nechránenú živú silu buď priamo, alebo cez devastáciu materiálových hodnôt či životného prostredia nepriamo, a zásadným spôsobom ovplyvňuje jej existenciu.

Poznanie základných fyzikálnych a chemických princípov pôsobenia jednotlivých druhov zbraní hromadného ničenia, pochopenie mechanizmu účinkov ich jednotlivých ničivých faktorov na živú silu, materiál, techniku, objekty a terén dáva základné a potrebné predpoklady pre organizáciu a uskutočňovanie účinnej ochrany proti nim.

Hlavným cieľom použitia zbraní hromadného ničenia (**ZHN**) vo všetkých druhoch a spôsoboch činnosti (bojovej alebo diverznej) je zničenie alebo vyradenie živej sily z aktívnej činnosti, spôsobenie strát na technike, materiále, objektoch a teréne a zlomenie vôle vojsk a obyvateľstva k odporu.

Jednotlivé druhy ZHN môžu používať všetky zložky ozbrojených síl (ale aj ostatné zložky - diverzné) buď samostatne alebo vo vzájomnej súčinnosti s ostatnými prostriedkami ničenia. Podľa charakteru a rozsahu ničivých účinkov, zásad a spôsobov ich použitia rozdelíme ZHN na:

Tabuľka 1.1

Všeobecné rozdelenie ZHN

ZHN			
jadrové	chemické	biologické	?

Zápalné zbrane, aj keď ich ničivé účinky za určitých špecifických podmienok dosahujú alebo presahujú niektoré parametre ničivých účinkov ZHN radíme medzi konvenčné zbrane.

Špecifickým postavením v tejto problematike sú jadrové energetické zariadenia (**JEZ**) v jadrových elektrárnach alebo teplárnach, ktorých základným a rozhodujúcim článkom sú reaktory, v ktorých prebieha **riadená štiepna jadrová reakcia**.

Vo väčšine JEZ sa palivo, moderátor, chladiivo a riadiace tyče nachádzajú v tlakovej reaktorovej nádobe. U reaktorov chladených a moderovaných vodou je to valcovitá nádoba zhotovená z ocele, tlakové nádoby plynom chladených reaktorov sú vyrobené z predpätého betónu. Druhý typ reaktorov nemá tlakovú nádobu, palivové články sú umiestnené v oceľových tlakových kanáloch, ktoré sú uložené v moderátore (napr. uhlík) a každý z nich je samostatne chladený prietokom chladiaceho média.

Aktívnou zložkou sú palivové články s jadrovým palivom, ktoré obsahujú jednak vlastné obohatené jadrové palivo (urán, plutónium) ale aj produkty vzniknuté príslušnými štiepnymi jadrovými reakciami, ktoré sú vysokoradioaktívne.

1.1 JADROVÉ ZBRANE

1.1.1 Charakteristika

Jadrové zbrane predstavujú najúčinnější prostriedok hromadného ničenia živej sily a materiálových hodnôt a v súčasnosti najprepracovanejšie zbraňové systémy. Ich ničivé účinky sú založené na energii uvoľnenej **explozívnu exotermickou jadrovou reakciou** a to buď **štiepnou** alebo **syntetickou**.

Jadrové zbrane sú charakterizované **súborom kvalitatívnych a kvantitatívnych vlastností**, ktoré v súhrne udávajú ich bojovú hodnotu. Jednotlivé vlastnosti sa mnohostranne prelínajú, podmieňujú a dopĺňujú, preto nie je možné ich naprosto jednoznačne klasifikovať. Z technického hľadiska preto hovoríme o vlastnostiach všeobecných a špeciálnych.

Všeobecné vlastnosti jadrových zbraní sa svojím charakterom neodlišujú od vlastností ostatných zbraňových systémov. Sú dané takticko-technickými parametrami prostriedkov ich použitia a ovplyvnené niektorými špecifickými vlastnosťami jadrovej munície.

Špeciálnou vlastnosťou jadrových zbraní sú ich ničivé účinky. Rozhodujúcimi parametrami k posúdeniu ničivých účinkov jadrovej munície sú množstvo, charakter, kvalitatívne a geometrické rozdelenie energie uvoľnenej pri výbuchu.

Množstvo uvoľnenej energie je obvykle charakterizované mohutnosťou jadrového výbuchu, udávanou tritolovým ekvivalentom v kilotonách. Mohutnosť jadrového výbuchu závisí na type, konštrukcii a adjustácii jadrovej munície; je tiež ovplyvnená vekom, údržbou jadrovej munície a radom ďalších faktorov. Preto jadrovú muníciu charakterizujeme predovšetkým menovitou mohutnosťou, udávajúcou strednú pravdepodobnú mohutnosť výbuchu daného typu munície. V súčasnosti sa jadrová munícia podľa menovitej mohutnosti delí na muníciu:

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| - veľmi malej mohutnosti | do 1 kt |
| - malej mohutnosti | od 1 do 10 kt |
| - strednej mohutnosti | od 10 do 50 kt |
| - veľkej mohutnosti | od 50 do 500 kt |
| - zvlášť veľkej mohutnosti | nad 500 kt |

Jednotlivé typy jadrovej munície sa vyrábajú buď s jednou menovitou mohutnosťou alebo v prevedeniach o rôznych stálych menovitých mohutnostiach, prípadne s premenlivou (voliteľnou) mohutnosťou, ktorá môže byť spojená alebo stupňovitá.

Rozdelenie uvoľnenej energie medzi ničivé faktory je do značnej miery u každého typu jadrovej munície špecifické. Pokiaľ účinky niektorého z ničivých faktorov výrazne prevládajú nad ostatnými, hovoríme o jadrovej munícii s výberovým ničivým účinkom.

Súčasná jadrová munícia uvoľňuje pri výbuchu energiu do všetkých smerov, pôsobí preto účinne predovšetkým na plošné a priestorové ciele. Geometrické rozdelenie uvoľnenej energie v priestore výbuchu závisí len na prostredí. U niektorých nových špeciálnych typov jadrovej munície však môže byť energia usmernená v lineárnych, kužeľovitých alebo iných geometrických útvaroch, čo má zabezpečiť pôsobenie proti malorozmerným alebo bodovým cieľom.

Charakter uvolnenej ničivej energie určuje spôsob ničenia alebo druh poškodenia cieľového objektu. Jadrová munícia pôsobí väčšinou kombinovanými účinkami tlakovej vlny, svetelného a tepelného žiarenia, prenikavej radiácie, tlakovej vlny, rádioaktívneho zamorenia terénu a ovzdušia, elektromagnetických, seizmických, gravitačných a ďalších javov. Jej podiel na celkovom účinku je daný typom munície, charakterom ničenia objektu, výškou výbuchu, prostredím, poveternostnými podmienkami a pod.

1.1.2 Trendy vývoja

Vývoj v oblasti jadrových zbraní (zbraňových systémov) je zameraný na:

- miniaturizáciu komponentov,
- voliteľnosť účinkov,
- zvyšovanie presnosti zásahu,
- ochranu jadrového náboja proti účinkom EMI a ionizujúceho žiarenia,
- ochranu povrchu jadrovej hlavice proti laserovej zbraňi (ochranná vrstva),
- viacnásobné hlavice,
- mobilnosť systému.

Výskum rieši problematiku jadrových zbraní tretej generácie. Sú to zbrane so špecifickými vlastnosťami:

- malé jadrové náplne so zosilným prenikavým žiarením (neutrónové),
- náplne s riadeným (zosilným) rádioaktívnym zamorením (gama zbraň),
- náplne so zosilnou tlakovou vlnou (vývoj bol pravdepodobne zastavený).

Pri vývoji jadrových zbraní tretej generácie prebieha nielen snaha o zosilnenie jedného ničivého faktora napr. žiarenia, ale i o jeho **fokusáciu** (nasmerovanie) do požadovaného smeru. Žiarenie má potom v danom smere ničivú schopnosť na značne väčšiu vzdialenosť obzvlášť v kozmickom priestore, kde nedochádza k absorpcii v prostredí. K typickým predstaviteľom daného typu zbrane sa počítajú v súčasnosti **lasery budené jadrovým výbuchom** a zbrane so **zosilným elektromagnetickým impulzom**.

Špecifické potreby niektorých druhov ozbrojených síl vedú v poslednej dobe k vývoji niektorých špeciálnych konštrukcií nových zbraňových systémov. Tieto zbrane, ktoré väčšinou nepatria medzi ZHN (ale časť z nich využíva štíepnu alebo termojadrovú reakciu ako základný zdroj energie) sa rozdeľujú na zbrane na báze **kinetickej energie** a na zbrane **lúčovité**, ktoré môžeme rozdeliť na **kvantové** a **časticové**.

Medzi zbrane na princípe kinetickej energie, ktorým sa v súčasnosti venuje veľká pozornosť patrí protidružicová riadená strela ASAT (Anti-Satelite), odpaľovaná z lietadla alebo pozemnej protiraketovej riadenej strely. RS ASAT je zložená z leteckej protizemnej RS SRAM, v ktorej bojovej hlavici sú sekundárne strely MHV (Miniature Homing Vehicle). Strela MHV, ktorej rýchlosť je cca 13 km/s ničí cieľ buď priamym nárazom alebo výbuchom s črepinovým účinkom.

V súčasnej dobe sa vedie intenzívny výskum tzv. **elektromagnetického dela** s urýchlením striel menších hmotností (1-2 kg) na rýchlosť niekoľko desiatok km/s. Vysokého zrýchlenia strely sa dosahuje silným elektromagnetickým poľom vytváraným v hlavni kanónu prúdom s intenzitou 10^6 A.

Novým druhom zbraní, ktorým sa v oblasti „hviezdnych vojen“ prikladá rozhodujúca, perspektívna úloha sú **lúčovité zbrane**. Využívajú lúča sústredenej energie elektromagnetického žiarenia (svetelné, ultrafialové, röntgenové, gama). V súčasnej dobe je hlavná pozornosť zameraná na výskum a vývoj kvantových lúčovitých zbraní predovšetkým laserových v oblasti viditeľného a ultrafialového žiarenia. Vo fáze rozšíreného výskumu sú tzv. X-lasery (xasery), pracujúce s röntgenovým žiarením.

Xaser pôsobí sústredeným účinkom röntgenového žiarenia do vzdialenosti až 500 km. Z konštrukčného hľadiska sa jedná o röntgenový laser, ktorého aktívnym prostredím je kov a zdrojom aktívnej energie je výbušná jadrová reakcia. Úzkeho lúča röntgenového žiarenia sa dosiahne usporiadaním aktívneho prostredia v tvare úzkej dlhej tenkej tyče. Jednou jadrovou náplňou môže byť aktivované až 50 tyčí, z ktorých každá môže byť nezávisle nasmerovaná na samostatný cieľ.

Graser má byť jadrovou muníciou s lineárne usmerneným účinkom gama žiarenia. Z konštrukčného hľadiska má ísť o špeciálny typ gama laseru. Má využívať jadrovú luminiscenciu, ku ktorej dochádza pri jadrových reakciách. Zdrojom energie bude výbušná štiepna alebo termojadrová reakcia, ktorej energia sa usmerní do aktívneho prostredia, ktoré vhodným geometrickým usporiadaním zabezpečí tvar sústredenej energetického lúča.

Časticové zbrane sú v štádiu základného a experimentálneho výskumu (podľa niektorých prameňov pokročilo Rusko už do štádia výstavby príslušného pozemného zariadenia). Pracujú na princípe urýchlených nabitých alebo neutrálnych častíc; oproti laserom preniká lúč hmotných častíc i do hĺbky materiálu a vyvoláva okrem tepelného účinku indukované prúdy, ktoré poškodzujú a ničia elektroniku.

Pre časticové zbrane s požadovanou energetickou hodnotou lúča sú potrebné urýchľovače, poskytujúce energiu rádovo v GeV a energiu lúča aspoň 0,25 MJ v impulze. Zdrojom energie by mohol byť miniatúrny štiepny alebo termonukleárny jadrový výbuch.

Hlavný problém tvoria jednak urýchľovače častíc na vysoké energie, jednak spôsob sústredenia a šírenia sa lúča častíc v atmosfére a kozmickom priestore. V kozme je použiteľný len lúč nenabitých častíc, v atmosfére je možno použiť i lúč nabitých častíc. V súčasnosti môžeme hovoriť o dosiahnutí týchto výsledkov:

- výroba výbušnej alebo impulznej energie štiepením alebo syntézou jadier,
- využitie elektrónových lúčov k stlačovaniu paliva pre termonukleárne reakcie, ktoré potom prebiehajú pri nižšej teplote,
- výstavba špeciálnych urýchľovačov pre výrobu plazmy o vysokej teplote k urýchľovaniu elementárnych častíc,
- výstavba kapacít ku krátkodobému nahromadeniu veľkého množstva energie (kondenzátor - dielektrikum je voda pod tlakom 10 MPa),
- ovládnutie spínacích procesov potrebných k nahromadeniu dodanej energie,
- vývoj chladených tlakových vedení k odvádzaniu energie od generátora k zásobníkom.

1.2 CHEMICKÉ ZBRANE

1.2.1 Charakteristika

Chemické zbrane patria vzhľadom ku svojej vysokej bojovej účinnosti a rozsiahlym priestorovým pôsobením medzi hlavné druhy zbraní hromadného ničenia. Na rozdiel od ostatných zbraňových systémov sa **vyznačujú radou špecifických vlastností**. Ide najmä o veľké priestorové účinky, dlhodobé pôsobenie, veľký morálne psychologický účinok a schopnosť vyradovať živú silu bez poškodenia objektov, zariadení a materiálu. Spôsobujú dočasné obmedzenie použiteľnosti materiálu, techniky a objektov a sťažujú činnosť v danom priestore. Rozširujú výber prostriedkov k vyvolaniu hromadných strát protivníka.

Svojimi priestorovými účinkami na živú silu protivníka môžu byť zrovnateľné s jadrovými zbraňami malej až strednej ráže. Dielčou výhodou chemických zbraní je, že podľa zámyslu vedenia bojovej činnosti môžeme dosiahnuť rôzneho stupňa poškodenia živej sily, v rozsahu od dočasného zneschopenia až po rýchle usmrtenie.

Úplný systém chemických zbraní je tvorený **chemickou muníciou a vhodným technickým prostriedkom** jej dopravy na cieľ. Účinnou zložkou chemickej munície sú **otravné látky**, ktoré patria ku základným druhom chemických látok.

Chemické zbrane v zrovnaní s inými zbraňami používanými k ničeniu živej sily majú radu výhod. Vyznačujú sa veľkými priestorovými účinkami a schopnosťou spôsobiť vážne poškodenie živej sily v rozsahu od čiastočného a dočasného vyradenia až po vyradenie trvalé. Je možné s nimi dosiahnuť zničenie živej sily protivníka na veľkých priestoroch s malými nákladmi a vytvárať podmienky pre ovládnutie materiálnych hodnôt v napadnutom území bez poškodenia.

Vysoká bojová účinnosť chemických zbraní je daná predovšetkým **toxickými účinkami** jednotlivých typov **otravných látok**. Vysoká efektívnosť ich použitia sa zvyšuje v dôsledku šírenia sa oblaku zamoreného ovzdušia terénom v smere prevládajúceho vetra a vysokou stálosťou niektorých otravných látok v poľných podmienkach. Ďalej tým, že sú schopné zasiahnuť živú silu i v uzavretých objektoch, úkrytoch a vozidlách, do ktorých vnikajú malými otvormi a netesnosťami. Vonkajším zamorením uvedených objektov a zariadení dochádza k dočasnému vyradeniu alebo sťaženiu ich bezprostredného použitia protivníkom.

Zásady použitia chemických zbraní vychádzajú z prijatých doktrinálnych zásad a opierajú sa o špecifické vlastnosti jednotlivých druhov otravných látok, o najúčinnnejšie spôsoby a prostriedky ich použitia a o dobu trvania ich pôsobenia za rôznych terénnych a poveternostných podmienok.

Pri plánovaní použitia chemických zbraní je treba hodnotiť radu dôležitých faktorov, ktoré ovplyvňujú ich konečný efekt. Pri posudzovaní cieľov chemického napadnutia sa hodnotí ich operačný a taktický význam, ich poloha, charakter, veľkosť a tvar. K dôležitým prvkom, na ktoré sa musí brať ohľad patrí spôsob vytvárania oblaku v cieľi, poveternostné podmienky, ráz terénu v priestore cieľa a úroveň protichemickej ochrany protivníka a vlastných vojsk.

Na základe požiadavku rozsahu ničenia sa prevedie **výber druhu otravnej látky a prostriedku chemického napadnutia**. Vybraný druh otravnej látky musí spĺňať požiadavky na stupeň, rozsah a rýchlosť vyradenia živej sily protivníka a bezpečnosť vlastných vojsk v súlade so zámyslom ďalšej činnosti.

Celkové možnosti použitia chemických zbraní protivníkom sú závislé na počte a stavu bojovej pripravenosti príslušných prostriedkov chemického napadnutia, zásobách chemickej munície, jej bojaschopnosti a možnostiach rýchlej distribúcie. V priebehu konfliktu môžu nadobúdať na význame i možnosti jednotlivých strán vo výrobe otravných látok a chemickej munície.

1.2.2 Trendy vývoja

Jedným z prvoradých faktorov určujúcich bojové vlastnosti chemických zbraní sú fyzikálno-chemické a toxické vlastnosti otravných látok. Počet otravných látok sa z niekoľko desiatok látok zavedených v období 1. svetovej vojny a viac ako desiatich z obdobia 2. svetovej vojny zúžil na niekoľko druhov otravných látok, ktoré sú v súčasnosti vo výzbroji.

Na jednej strane je možno sledovať tendenciu k **znižovaniu sortimentu** otravných látok, na druhej sú však hľadané **nové otravné látky** s výhodnejšími vlastnosťami. Hlavná pozornosť je sústredená na organické zlúčeniny obsahujúce fosfor, sledované sú však i karbamáty, hľadané sú i účinnejšie zneschopňujúce látky a v poslednom období je značné úsilie venované najmä výskumu toxínov a hodnoteniu ich možností bojového použitia.

Stredne prchavá otravná látka **IVA** (Intermediate Volality Agent) - zmyslom jej zavedenia bolo preklopenie výrazných rozdielov v prchavosti medzi sarinom a látkou VX a tiež dosiahnutie vyššieho účinku pár tejto látky cez pokožku (voči sarinu) a cez výstroj (voči VX). Z dostupných údajov vyplýva, že IVA je 4 krát toxickejšia ako VX a 20-40 krát toxickejšia ako sarin. Je rovnako ako doposiaľ používané OFOL **inhibítorom cholinesterázy** (CHE), s veľmi rýchlou inhibíciou acetylcholinesterázy (ACHE) v krvi.

Bicyklické fosfororganické zlúčeniny - **BCF** - sú látky, bežne používané ako retardéry horenia, antioxidanty organických zlúčenín a stabilizátory gumových zmesí, polyolefínov a pod. Toxicita je zrovnateľná so somanom a VX. Nie sú inhibítormi CHE, ale **pôsobia na centrálnu nervovú sústavu**, cestou blokovania GABA receptorov. Modifikujú tiež aktivitu adenylátcyklázy, čím dochádza k zásahu regulácie mnoho životne dôležitých funkcií ľudského organizmu. Toxikologická charakteristika, ľahká syntéza z dostupných zdrojov, neznalosť riešenia a detekcie radí BCF medzi potencionálne OL s možnosťou použitia v poľných podmienkach vo forme aerosólu alebo k diverzným účelom.

Veľkú skupinu látok s možným vojenským využitím tvoria **karbamáty**. Sú to inhibítory ACHE, kde reagujú s aktívnym centrom za vzniku enzýmu, ktorý je 10^6 krát stabilnejší ako acetylovaný enzým vznikajúci v priebehu hydrolýzy acetylcholínu. Toxicita karbamátov je zrovnateľná so sarinom, ale najmenej dve skutočnosti túto skupinu látok robia z hľadiska vojenského (zneužitia) použitia nebezpečnou. Nebolo doposiaľ nájdené špecifické antidotum a prechod z výroby insekticídnych karbamátov na vojensky využiteľné karbamáty by nebol zložitou organizačnou záležitosťou.

Predstava bojového použitia **zneschopňujúcich** otravných látok, ktoré by nemali dlhodobé účinky, nespôsobovali ani trvalé poškodenie organizmu a nevyvolávali materiálne straty je z vojenskopolitického hľadiska príťažlivá. Názory na skutočnú vojenskú aktuálnosť sú však rozporné. Aj ich členenie do jednotlivých skupín je problematické, lebo chýbajú jednotiace kritéria, klasifikácia a terminológia nie sú plne ustálené. Pri určitom zjednodušení a s prihliadnutím k vojenskému významu a spôsobu zneschopenia živej sily je ich možno rozdeliť do dvoch skupín a to na psychotropné látky a psychotomimetické látky.

Spoločným znakom **psychotropných látok** je skutočnosť, že prostredníctvom centrálnej nervovej sústavy viac postihujú funkcie fyzické ako mentálne. Vyvolávajú zvýšenú únavu, neprirodzenú podráždenosť, poruchy spánku a pohybovej koordinácie, rigiditu, tremor a pod. Jednou zo skupín týchto látok sú látky **tremorógne** (tremorin), ktoré vyvolávajú trvalé trasenie parkinsonovského typu. Typickým príznakom sú svalové zášklby alebo trasenie hlavy a končatín a výrazný pokles telesnej teploty. Druhou skupinou sú látky na **báze chinuklidov** (kvartérny chinuklidon, deriváty hydroxychinuklidinu), ktoré pôsobia na periférny vegetatívny nervový systém. Nastáva pokles lokomočnej aktivity a zvyšuje sa citlivosť na dotyk.

Psychotomimetické látky vyvolávajú prechodné psychotické stavy, pôsobia predvážne na psychiku človeka. Bez väčšej poruchy vedomia vyvolávajú výrazné zmeny vo sfére emočnej a vo sfére vnímania, niekedy vedú k poruchám myslenia a to všetko bez výrazného ovplyvnenia telesných funkcií. Najdôležitejšie psychotomimetické látky sú po chemickej stránke podobné látkam, ktoré v organizme plnia funkciu mediátorov nervového vzruchu. Z tejto podobnosti vychádza i ich klasifikácia do 4 základných skupín:

Deriváty serotonínu - amidy kyseliny d-lysergovej (LSD-25 - dietylamid kyseliny d-lysergovej) vyvolávajú prechodnú akútnu poruchu myšlienkových pochodov, prejavujúcu sa urýchlením myšlienkových procesov, poruchou reči, vnímanie farieb, priestorové deformácie a zmeny vo vnímaní času. Rovnako účinná je i látka ALD-52. Z ostatných je možno menovať psylocibín, DMS, harmín, harmalín a ibogain. Účinky týchto látok sa prakticky kryjú s účinkom LSD-25 s určitými špecifickými účinkami ale až po podaní dávok cca 100-500 krát väčšími.

Deriváty adrenalínu - sú významné svojimi stimulačnými účinkami na centrálnu nervovú sústavu. Potlačujú pocit únavy, zvyšujú aktivitu a navodzujú stav eufórie. Najdôležitejšími predstaviteľmi sú meskalín, amfetamíny, efedrín, fenmetrazín a DOM. Najpodrobnejšie sú preštudované vlastnosti meskalínu, ktorý sa používa ako modelová látka. Asi 100 krát účinnejšia je látka DOM - v USA pod označením STP.

Deriváty acetylcholínu - patria medzi najvýznamnejšiu skupinu z hľadiska možného vojenského použitia. Sú to látky, ktoré v určitých dávkach vyvolávajú halucinácie a pripomínajú psychózu po LSD alebo meskalíne. Patria sem atropín, skopolamín, benaktyzin a najmä deriváty kyseliny glykolovej (BZ).

Poslednou skupinou sú **chemicky rôznorodé zlúčeniny** nemajúce štruktúru podobnú neuromediátorom. Sú to cannabinoidy a cyklohexylamíny. **Cannabinoidy** sú látky, ktoré obsahuje droga pripravovaná z indického konope - cannabis sativa - z ktorých je 5 biologicky aktívnych. Z **cyklohexylamínov** je pozornosť zameraná na fenylcykliden a jeho analógy, používané v 50. rokoch ako anestetiká.

1.3 BIOLOGICKÉ (BAKTERIOLOGICKÉ) ZBRANE

1.3.1 Charakteristika

Biologické zbrane, ako jedna zložka zbraní hromadného ničenia, majú v súčasnosti špecifické postavenie. Ich rozsah a účinnosť, spôsoby použitia ale najmä cielené účinky na živú silu, zvieratá a rastlinstvo ich dávajú znova do popredia pozornosti predovšetkým z hľadiska ich možného diverzného použitia.

Vojenské doktríny rady štátov klasifikujú bakteriologické zbrane ako významný ničivý prostriedok, vyznačujúci sa výraznými priestorovými účinkami a schopnosťou vyvolať už v malom množstve rozsiahle poškodenie živej sily. Zdôrazňuje sa ich vysoká bojová účinnosť, najmä pri priestorovo neohraničených cieľoch, schopnosť prenikať i do uzavretých priestorov, rozdielnosť v rozvoji a v dĺžke trvania príznakov poškodenia živej sily a zložitosť v predvídaní a zisťovaní následkov napadnutia.

Pod pojmom biologické (bakteriologické) zbrane rozumieme **zbraňové systémy** plnené jednotlivými druhmi alebo zmesami biologických prostriedkov. Bakteriologické zbrane môžu byť použité priamo ako súčasť bežnej bojovej činnosti alebo skryte. Priame použitie sa prevádza podľa bežných zásad vedenia boja za hromadného použitia ZHN. Pri skrytom používaní sa mimoriadny význam prikladá organizovaniu diverznej činnosti a to obvykle už v dobe pred začatím vojny a bezprostredne po jej vzniku. Použitie biologických zbraní v rámci diverznej činnosti umožňujú špecifické vlastnosti biologických prostriedkov ako je obtiažnosť ich zisťovania prítomnosti, presné určenie jednotlivých druhov a okolnosť, že k vyvolaniu epidémií (prípadne pandémie) infekčných onemocnení stačí obvykle pomerne malé množstvo biologického materiálu.

Pojem **biologické (bakteriologické) prostriedky** zahŕňa látky, ktoré sú známe, alebo je dôvodná podozrelosť, že obsahujú patogénne látky t.j. životaschopné mikroorganizmy - vrátane baktérií, vírusov, rickettsií, parazitov a húb, tiež ako rekombinované, hybridné alebo mutované mikroorganizmy - a látky, o ktorých je známe, alebo je potrebné predpokladať, že vyvolávajú choroby ľudí alebo zvierat. Do tejto skupiny patria tiež geneticky zmenené mikroorganizmy a organizmy, biologické produkty, diagnostikované vzorky a infikované živočíchy.

Biologická vojna je teda úmyselné použitie živých organizmov alebo nimi produkovaných toxických produktov k ničeniu alebo poškodeniu živej sily, zvierat alebo poľnohospodárskych kultúr na území protivníka. Väčšina biologických prostriedkov, s ktorými sa počíta k vedeniu bakteriologickej vojny, sa vyznačuje vysokou bojovou účinnosťou a schopnosťou napadať objekty na veľkých priestoroch.

K základným faktorom biologických prostriedkov patrí schopnosť vyvolávať u napadnutých osôb, hospodárskych zvierat a poľnohospodárskych kultúr v požadovanom rozsahu hromadné infekčné alebo i neinfekčné ochorenia, ktoré sú príčinou dočasného, prípadne trvalého vyradenia daných objektov z aktívnej činnosti. Efektívnosť ich bojového použitia sa zvyšuje s možnosťou skrytého napadania cieľov, oneskoreným rozvojom príznakov biologického napadnutia a v neposlednej rade ich schopnosťou prenikať do uzavretých, nehermetizovaných objektov a napadať ukrytú živú silu.

Výber vhodného spôsobu použitia bakteriologickej zbrane patrí spolu s výberom biologického prostriedku k základným požiadavkám, ktoré ovplyvňujú efektívnosť použitia bakteriologických zbraní. Z údajov uvedených v jednotlivých dokumentoch vyplýva, že k základným spôsobom použitia bakteriologických zbraní patrí:

- a) tvorba biologického aerosólu obsahujúceho choroboplodné mikroorganizmy alebo toxíny, rozširované v prizemných alebo vyšších vrstvách atmosféry,
- b) rozširovanie infikovaných prenášačov nákaz, hlodavcov, hmyzu, klieští,
- c) rozširovanie pôvodcov infekčných a neinfekčných onemocnení.

Z uvedených možností sa za najefektívnejší spôsob použitia ukazuje **biologický aerosól**. Rozširovanie choroboplodných mikroorganizmov diverznou činnosťou, alebo infikovanými prenášačmi sa považuje za menej efektívne. S týmito spôsobmi sa počíta len v obmedzenej miere a k splneniu špecifických úloh. Rozširovanie choroboplodných mikroorganizmov a toxínov vo forme aerosólu splňuje základné požiadavky na efektívne zasiahnutie objektov v danom priestore. Aerosólové častice choroboplodných zárodkov ľahko prenikajú do celého priestoru, ktorým sa šíria, vnikajú do uzavretých nehermetizovaných objektov a sťažujú ich ďalšie využívanie.

Pri použití biologických zbraní musíme brať do úvahy radu dôležitých faktorov. Sú to predovšetkým niektoré špecifické vlastnosti, ktorými sa vyznačujú, ako je schopnosť napadať v smere prevládajúceho vetra živú silu do veľkých vzdialeností a na veľkých priestoroch. Nemalý význam pri ich použití hrá i možnosť skrytého napadnutia cieľov, oneskorený rozvoj príznakov bakteriologickeho napadnutia, rôzna gradácia stupňov vyradenia a ničenia živej sily a ich schopnosť prenikať do uzavretých objektov bez nebezpečia mechanického poškodenia.

Skrytý rozvoj príznakov infekčných onemocnení je jednou z výrazných špecifických vlastností použitých biologických prostriedkov. Značný výber a rôznosť špecifických charakteristík uvažovaných druhov biologických prostriedkov umožňuje vybrať také, ktoré môžu zabezpečiť požadovaný rozsah vyradenia napadnutej živej sily od dočasného krátkodobého či dlhodobého vyradenia z činnosti, až po smrteľné onemocnenie a s malým alebo vysokým percentom úmrtnosti.

1.3.2 Trendy vývoja

V súčasnej dobe je známe veľké množstvo vysoko účinných pôvodcov infekčných onemocnení a otráv osôb, zvierat a rastlín. K vojenským účelom však musia spĺňať **radu špecifických požiadavkov**. Ide najmä o vysokú bojovú účinnosť, možnosť hromadnej výroby, dostatočná stálosť pri skladovaní a možnosť použitia v zavedených výzbrojných prostriedkoch a munícii. Z ďalších požiadavkov je treba uviesť dostatok možností k ochrane vlastných vojsk, značnú obtiažnosť včasného zistenia pôvodcov nákaz a otráv a minimálnu inkubačnú dobu rozvoja onemocnenia.

Dôležitým faktorom je i možnosť ich **hromadnej výroby**, stálosti v poľných podmienkach i pri dlhodobom skladovaní, a vytvárania v minimálnych koncentráciách podmienky pre vyvolávanie hromadných infekčných ochorení osôb a zvierat a v špeciálnych prípadoch i poľnohospodárskych a lesných kultúr. Hromadná výroba jednotlivých druhov biologických prostriedkov je v súčasnosti prepracovaná a nerobí problém. Vhodné technologické úpravy umožňujú ich dlhodobé skladovanie a ľahkú prípravu na použitie v poľných podmienkach.

K hlavným predstaviteľom biologických prostriedkov, s ktorými sa počíta pri napadnutí osôb, patria predovšetkým zárodky vyvolávajúce bakteriálne ochorenie cholery, úplavicou, morom, brušným týfusom a paratýfusom. K vyvolaniu rickettsiálnych ochorení sa predovšetkým počíta s použitím pôvodcov ochorenia škvrnitým týfusom, horúčkou Skalických hôr, Q horúčkou a pod. Za najbezpečnejšie biologické prostriedky sa považujú vírusové nákazy. Z nich potom prichádzajú do úvahy predovšetkým pôvodcovia žltej zimnice, chrípkových ochorení, pravých kiahní a rôznych zápalov mozgu.

Špecifické postavenie medzi biologickými prostriedkami z hľadiska svojho pôvodu a účinku majú **toxíny**, ktoré môžu byť mikrobiologického, rastlinného alebo živočíšneho pôvodu, v súčasnosti aj ich deriváty umelo syntetizované. Po chemickej stránke sú to zložité bielkovinové molekuly, pozostávajúce z viacerých druhov aminokyselín, ktoré sú samostatne netoxické, ich vzájomné prepojenie v molekule však vytvára silne toxickú látku .. V podstate sú produktom niektorých druhov baktérií, rickettsií a vírusov a vyskytujú sa v dvoch modifikáciách a to ako exotoxíny a endotoxíny.

Nemenej dôležitým faktorom je i **problematika ochrany**, najmä existencia vhodných profylaktických a liečebných prostriedkov voči predpokladanému druhu použitého biologického prostriedku, možnosť disponovania prostriedkami včasného zistenia použitia biologického prostriedku, prípadne, či je ich zistenie obtiažne alebo nemožné. Uvažuje sa o dĺžke inkubačnej doby rozvoja príznakov ochorenia, cestách prenosu nákazy a iných okolnostiach, ktoré môžu ovplyvniť efektívnosť pôsobenia biologických prostriedkov.

Infekčný proces je výsledkom pôsobenia patogénov (mikroorganizmov) a makroorganizmu. Infikujúci mikroorganizmus má rozličný stupeň patogenity, čiže rôzne vysokú účinnosť. Proti patogénnym vlastnostiam infekčnej látky pôsobia obranné schopnosti napadnutého makroorganizmu - jeho odolnosť (imunita). Výsledný obraz i koniec infekčného procesu závisí od toho, či prevládne patogenita mikroorganizmu, alebo odolnosť mikroorganizmu.

Od vnímavosti a stupňa citlivosti závisí, či u exponovaného jedinca vznikne infekčné ochorenie, a či toto ochorenie prebehne rýchlo alebo pozvoľne. Infekčné ochorenia sa preto môžu vyskytovať v populácii vo forme sporadických prípadov, t.j. jednotlivých ochorení, alebo vo forme hromadných prípadov. Priebeh ochorenia závisí od dĺžky a rozptylu inkubačnej doby, spôsobu šírenia nákazy, aktívneho vyhľadávania postihnutých a od spôsobu a formy uplatnenia protiepidemických opatrení a ich účinnosti.

Epidemický výskyt charakterizuje časová a miestna súvislosť medzi jednotlivými prípadmi ochorenia tým istým spôsobom. **Pandémia** je veľmi rozsiahla epidémia, ktorá spravidla prekračuje hranice štátov a kontinentov a nie je teda, na rozdiel od epidémie, priestorovo ohraničená. Vzniká rýchlym rozšírením pôvodcu, proti ktorému ešte nie je v populácii ani čiastočná imunita. Ak sa niektoré ochorenie vyskytne na ohraničenom území ale bez časového obmedzenia, ide o **endemický** výskyt. Oblasť epidemického výskytu určitého ochorenia (aj neinfekčného) označujeme ako **endemickú oblasť**.

2 HMOTA A LÁTKA

2.1 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA

Hmota má rôzne prejavy svojej existencie, z ktorých najdôležitejšie sú **priestor** a **čas**. Okrem toho každá hmota obsahuje určité množstvo **energie**, čo je vedľa hmotnosti tiež jej prejavom a spravidla nachádza výraz v niektorom druhu pohybu. Podľa toho, aké je množstvo absorbovanej energie a koľko jej vyžaruje, má hmota určitú teplotu, svietivosť, rýchlosť a pod.

Základnou vlastnosťou hmoty, od nej neoddeliteľnou, je **pohyb**, bez ktorého nemôže existovať. Medzi základné formy pohybu hmoty patrí:

- mechanická (premiestňovanie v priestore),
- fyzikálna (tepelné, svetelné, gravitačné a jadrové premeny),
- chemická (chemické procesy a premeny),
- biologická (organický život).

Najskôr si hmotu okolo seba uvedomujeme, keď prichádzame do styku s rôznymi **látkami**, ktoré nás obklopujú (tuhé, kvapalné, plynné) a majú rôzne vlastnosti (tvar, farbu, hmotnosť, teplotu a pod.). Je to preto, lebo väčšina bežných druhov látok sú zmesi chemických prvkov a zlúčenín, ktoré majú určité vlastnosti.

Tieto súbory, ktoré už môžeme poznávať svojimi zmyslami, ktoré predstavujú látky v užšom slova zmysle, označujeme súhrnne ako **chemické látky**. Základ chemických látok predstavujú tzv. čisté látky, medzi ktoré patria chemické prvky a zlúčeniny, ich kombináciou vznikajú potom zložitejšie látkové systémy - zmesi alebo roztoky.

Zmesi prvkov a zlúčenín môžeme charakterizovať z rôznych hľadísk. Z hľadiska počtu zúčastnených zložiek v jednotlivých zmesiach na dvoj alebo viaczložkové. Podľa charakteru jednotlivých zložiek na:

rovnorodé - roztoky plynné (vzduch), kvapalné (voda) alebo pevné (zliatina), u ktorých sa jednotlivé zložky nedajú rozlíšiť bežnými technickými prostriedkami,

nerovnorodé - suspenzie (zmes pevných a kvapalných látok), emulzie (zmes kvapalných látok), peny (zmes plyných látok v kvapaline) a aerosóly (zmes kvapalných látok v plyne), ktoré sa dajú rozlíšiť bežnými technickými prostriedkami a niekedy aj voľným okom.

Niektoré z látok, ktoré poznáme alebo s ktorými prichádzame do styku nie sú zmesi chemických prvkov a zlúčenín, ale sú celkom alebo do značnej miery čistými chemickými prvkami alebo zlúčeninami, alebo ich môžeme jednoduchými procesmi zbaviť prímiesi do tej miery, že ich môžeme považovať za takmer čisté.

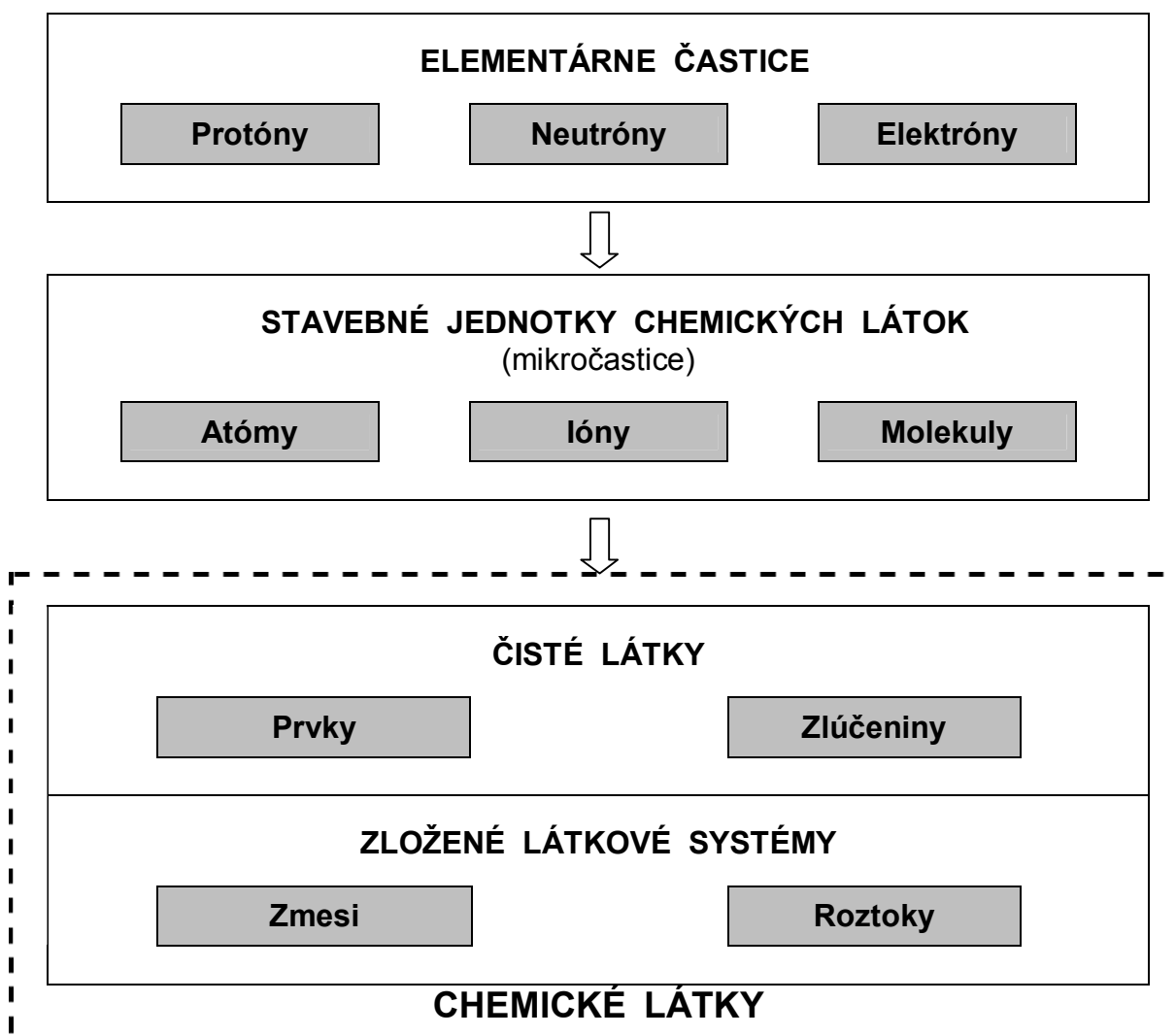
Chemické prvky a zlúčeniny je možno **mechanicky** alebo **fyzikálne** deliť až na molekuly¹ - najmenšie častice, ktoré majú fyzikálne a chemické vlastnosti danej látky. Sú to častice zložené z dvoch alebo viacerých atómov, ktoré majú buď rovnaké protónové číslo (prvky) alebo rôzne protónové číslo (zlúčeniny).

¹) v 1 g vody sa nachádza $3,347 \cdot 10^{22}$ molekúl vody

Základnými stavebnými jednotkami látok, ktoré nás obklopujú a s ktorými sa stretávame v prírode alebo technickej praxi, sú elementárne častice, ktorých súčasná veda rozoznáva viac ako sto druhov. Pre všeobecný výklad štruktúry našich látok vystačíme s tromi základnými druhmi elementárnych častíc, a to sú:

protóny, neutróny a elektróny.

Zoskupením určitého počtu elementárnych častíc a ich charakteristickým usporiadaním vzniknú základné útvary - **atómy**, respektíve **ióny** alebo **molekuly** - označované obecné ako mikročastice, ktoré predstavujú základné stavebné jednotky tzv. chemických látok.



Obrázok 2.1 Schematické znázornenie stavby látok

Spojovanie atómov chemickými väzbami (silami elektromagnetickej povahy) vedie ku vzniku molekúl. Atómy a molekuly považujeme za základné stavebné jednotky chemických látok (prvkov a zlúčenín), ku ktorým musíme zaradiť aj ióny, čo sú elektricky nabité atómy a molekuly. Združovaním atómov, iónov a molekúl vznikajú agregátne stavy (plyny, kvapaliny, kryštály, roztoky, zmesi a pod.)

Molekula je najmenšia častica látky, skladajúca sa z určitého počtu rovnakých atómov (prvok) alebo rôznych druhov atómov (zlúčenina), ktorá je schopná samostatnej existencie v priestore.

V plynnom a kvapalnom skupenstve majú všetky chemické látky presne definované molekuly. V tuhom skupenstve u niektorých zlúčením dochádza k tomu, že jednotlivé (niekoľkoatómové) molekuly v štruktúre látky nemôžeme identifikovať. Celý kryštál týchto látok je napr. jedinou makromolekulou vytvorenou arómami prepojenými kovalentnými väzbami (diamant), alebo iónovými väzbami zo vzájomne sa obklopujúcich iónov (chlorid sodný). V týchto prípadoch formálne určujeme najmenšiu časť látky, ktorá svojim zložením ešte odpovedá zloženiu látky (atóm C v diamante, skupina SiO₂ v oxide kremičitom).

Ión je kladne alebo záporne nabitá častica, ktorej forma môže byť jednoduchá (jednoatómová) - Na⁺, Ca⁺², Cl⁻, O⁻² alebo zložená (viacatómová) - NH₄⁺, OH⁻.

Atóm je najmenšia častica, skladajúca sa z jadra (nukleóny t.j. protóny a neutróny) a obalu (elektróny), ktorá je ešte nositeľom chemických vlastností prvku. V jadre je sústredená prakticky všetka hmotnosť atómu, lebo elektróny, ktoré tvoria obal atómu, majú oproti jadrú zanedbateľnú hmotnosť.

Hmotnosť atómu - **atómová (nuklidová) hmotnosť**, ktorá sa označuje **m** je definovaná ako kludová hmotnosť nuklidu. Skutočné hmotnosti atómov sú veľmi malé čísla, preto bola zavedená atómová hmotnostná jednotka unifikovaná **m_u**, ktorá je definovaná ako 1/12 hmotnosti atómu uhlíka ¹²₆C.

$$1 m_u = \frac{m(^{12}_6\text{C})}{12} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ (kg)}$$

kde **m_u** - atómová hmotnostná jednotka unifikovaná,
m (¹²₆C) - kludová hmotnosť atómu ¹²₆C.

Poznámka:

niekde sa stretne s hodnotou $1 m_u = 1,66044 \pm 0,00008 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, vychádzalo sa z používania 1/16 O, ale kyslík má viac izotopov - ¹⁶₈O, ¹⁷₈O, ¹⁸₈O, čo viedlo k značným nepresnostiam.

Tabuľka 2.1

Hmotnosti základných častíc atómu

Častica	Symbol	Hmotnosť (kg)	Relatívna hmotnosť (m _u)
protón	p ⁺	1,6725 · 10 ⁻²⁷	1,0072
neutrón	n	1,6748 · 10 ⁻²⁷	1,0086
elektrón	e ⁻	9,1091 · 10 ⁻³¹	0,0005

Priemer atómu je rádovo 10⁻¹⁰ m, priemer jadra je rádovo 10⁻¹⁵ m. Objem, ktorý zaberá jadro je rádovo 10⁻⁴⁵ m³, kým objem atómu je 10⁻³⁰ m³, teda 10¹⁵ rás väčší.

2.2 ŠTRUKTÚRA ATÓMU

Podľa dnes všeobecne prijatého nukleárneho modelu sa v atóme rozlišujú dve základné oblasti:

a) - centrálna (vnútorná), kladne nabitá oblasť, ktorú tvorí **jadro**, obsahujúca

kladne nabité častice - *protóny*, a
elektricky neutrálne častice - *neutróny*.

protón ${}_1^1\text{p}$

elementárna hmotná častica, ktorej kludová hmotnosť je $1,672\,52 \pm 0,000\,08 \cdot 10^{-27}$ kg ($1,007\,2766 \pm 0,000\,0002$ m_u). Veľkosť náboja je $1,602\,1917 \cdot 10^{-19}$ C ($4,802 \cdot 10^{-10}$ elektrostatických jednotiek) ale s kladným znamienkom. Kludová energia protónu W_p je $938,2592$ MeV²

neutrón ${}_0^1\text{n}$

elementárna hmotná častica, ktorej kludová hmotnosť je $1,674\,82 \pm 0,000\,08 \cdot 10^{-27}$ kg ($1,008\,6654 \pm 0,000\,0013$ m_u). Volný neutrón na rozdiel od elektrónu a protónu nie je stabilnou časticou - rozpadá sa na protón a elektrón s polčasom rozpadu 12,8 minút.

b) - vonkajšia, záporne nabitá oblasť, ktorú tvorí **elektrónový obal**, obsahujúci

záporne nabité častice - *elektróny*,

elektrón ${}_{-1}^0\text{e}$

elementárna hmotná častica, ktorej kludová hmotnosť je $9,1091 \pm 0,0004 \cdot 10^{-31}$ kg ($0,000\,548 \pm 0,000\,09$ m_u). Náboj elektrónu je najmenší náboj, aký sa dá v prírode izolovať s hodnotou $1,602\,1917 \cdot 10^{-19}$ C ($4,802 \cdot 10^{-10}$ absolútnych elektrostatických jednotiek) a má zápornú hodnotu.

(*hmotnosť elektrónu = 1/1836 hmotnosti protónu*).

Protóny a neutróny sú v jadre atómu viazané **vnútrojadrovými** príťažlivými silami, ktoré pôsobia do veľmi malých vzdialeností (okolo 10^{-15} m), vďaka ktorým sa jadrá atómu nerozletia (napriek tomu že elektrostatické sily atómu „zabezpečujú“ vzájomné odpudzovanie protónov, pretože majú rovnaký náboj). Ale ich krátky dosah nám umožňuje pochopiť umelé štiepenie jadier atómu vonkajšími časticami.

Obal i jadro atómu sú spolu viazané hlavne **elektrostatickými** silami, ktoré pôsobia - vzhľadom k ich hmotnosti a rozmerom - na značné vzdialenosti. Z toho vyplýva, že atóm sa skladá z „ťažkého“ kladne nabitého jadra, ktorý má veľmi malé rozmery a z „ľahkého“ pomerne rozmerného elektrónového obalu, ktorý je riedko vyplnený pohybujúcimi sa elektrónmi. Medzi jadrom a obalom je teda značný hmotnostný a rozmerový rozdiel.

²⁾ $1 \text{ MeV} = 1,602\,19 \cdot 10^{-19} \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$

U rady prvkov prebiehajú samovoľné premeny rozpadávajúcich sa atómov a ich jadier, ktoré sú doprevádzané vyžarovaním prebytku energie a hmoty vo forme fotónov (elektromagnetického žiarenia) svetla a rôznych elementárnych častíc.

Tabuľka 2.2

Známe elementárne častice jadrových premien

Častica			Značka	Náboj	Hmotnosť (m_u)
skupina	druh	názov			
ľahké	leptóny	neutrino	ν	0	okolo 0
		elektrón	e	-	0,0005
		pozitrón		+	
		mión	μ	0	0,1134
stredné	mezóny	pión	π	-	0,1499
				+	
		kaón	K	-	0,5303
				+	
				0	0,5344
				0	
ťažké	baryóny	protón	p	+	1,6725
		antiprotón		-	
		neutrón	n	0	1,6748
		antineutrón			
	hyperóny	lambda	λ	0	1,1970
		sigma	Σ	+	1,2770
				-	1,2840
				0	1,2790
		ksí	χ	-	1,4150
				0	1,4080

Z uvedených častíc sa považujú fotóny, neutrína, antineutrína, elektróny, pozitrony, protóny a antiprotóny za stabilné. Stredná doba životnosti neutrónov a antineutrónov je 17 minút. Ostatné častice sa považujú za nestabilné.

U atómu ani na okamžik nie je žiadna časť a jej náboj celkom bez pohybu. Oblaky elektrónov sa pohybujú vo svojich vrstvách obalu, alebo ich menia, protóny sa menia na neutróny a naopak a súčasne sa pohybujú. Okolo nich sa pohybujú voľné elektróny a iné častice, napr. voľné neutróny. Ide o stály pohyb a zmeny v každom zlomku sekundy. Tak pravdepodobne v skutočnosti vypadá štruktúra hmoty. Plošné alebo priestorové vyobrazenia používané v publikáciách to nemôžu v celej rozmanitosti a najmä pohybu t.j. premenách verne zachytiť. Znázorňujú len určitý okamžitý stav.

Elektróny sú v obale rozdelené do jednotlivých sfér (vrstiev), v ktorých sa môže umiestniť len určitý, presne stanovený počet. V prvej, najbližšej k jadrú **K** – 2, v druhej **L** – 8, tretej **M** – 18, štvrtej **N** – 32 atď. v zákonitej závislosti počtu elektrónov vo vonkajšej vrstve atómu k protónovému číslu.

Tabuľka 2.3

Rozmiestnenie elektrónov v jednotlivých sférach atómu

Periódá	Sféra							Celkový počet elektrónov	Počet prvkov v perióde
	K	L	M	N	O	P	Q		
1	2							2	$2 \cdot 1^2 = 2$
2	2	8						10	$2 \cdot 2^2 = 8$
3	2	8	8					18	$2 \cdot 2^2 = 8$
4	2	8	18	8				36	$2 \cdot 3^2 = 18$
5	2	8	18	18	8			54	$2 \cdot 3^2 = 18$
6	2	8	18	32	18	8		86	$2 \cdot 4^2 = 32$
7	2	8	18	32	32	18	8	(118)	$2 \cdot 4^2 = 32$
plne obsadené sféry					neúplne obsadené sféry				

Skutočnosť je ale bližšia predstava, že ide o stavy hmotnosti a energie, v ktorých napr. u elektrónu jeho jednotkový elektrický náboj nie je sústredený do guľovitého tvaru, ale nerovnomerne rozložený do oblaku pokrývajúceho časť sféry obalu, zodpovedajúceho počtu elektrónov v ňom, pričom väčšia časť náboja bude asi uprostred tejto časti, alebo rozdelená do niekoľkých miest.

Vlastnosti atómového jadra určuje počet, druh a vzájomné usporiadanie nukleónov v jadre. Zloženie atómového jadra je charakterizované **protónovým** (atómovým), **neutrónovým** a **nukleónovým** (hmotnostným) číslom.

$$\begin{matrix} A \\ X \\ Z \end{matrix}$$

Protónové číslo (Z) vyjadruje počet protónov v atómovom jadre a súčasne aj veľkosť elektrického náboja, resp. počet elektrónov v obale elektrónneutrálneho atómu. Určuje **atómové číslo**, ktoré je zhodné s poradovým číslom príslušného prvku v periodickej sústave prvkov. Atómy určitého prvku majú vždy ten istý počet protónov, kým počet neutrónov nemusí byť vždy rovnaký.

Neutrónové číslo (N) vyjadruje počet neutrónov v atómovom jadre.

Nukleónové číslo (A) vyjadruje celkový počet nukleónov (súčet protónov a neutrónov) v atómovom jadre. Medzi protónovým - atómovým (Z), nukleónovým (A) a neutrónovým (N) číslom v atómovom jadre platí vzťah:

$$N = A - Z$$

Prvok je chemické individuum skladajúce sa z atómov o rovnakom protónovom čísle (bez ohľadu na počet neutrónov v jadre), ktoré je charakteristické pre atómy jedného prvku. Látka zložená z takýchto atómov je chemicky jednotná. Látka zložená z atómov, ktorých jadrá sa zhodujú počtom protónov a neutrónov sa nazývajú **nuklidy**, v prípade že ich jadrá sú nestále, rádioaktívne, sú to **rádionuklidy**.

Nuklidy - druh atómov definovaných určitým zložením a štruktúrou jadra, t.j. protónovým a neutrónovým číslom. Ich vzťahy sú dané zhodou čísel (A, Z, N), ktoré ich určujú.

Prvok nemusí byť jednotný fyzikálne, lebo môže obsahovať atómy s rôznym počtom neutrónov v jadre, preto môžu byť atómy jedného prvku rôzne ťažké. Takého atómy označujeme ako **izotopy** daného prvku, ak sú jadrá týchto atómov nestále, rádioaktívne, sú to **rádioizotopy**. Izotopy označujeme hmotnostným číslom, ktoré je dané počtom nukleónov (počet protónov a neutrónov) v jadre.

*Izotopy sú prvky, ktorým prislúcha to isté protónové číslo, ale líšia sa počtom neutrónov. Tento jav sa nazýva **izotopia**. Prírodné prvky môžu mať jeden izotop (^{19}F) alebo viac izotopov ($^{112,114,115,116,117,118,119,120,122,124}\text{Sn}$). Všetky izotopy sú nuklidy, ale nie všetky nuklidy sú vzájomné izotopy.*

Izotopy - nuklidy toho istého prvku, ktoré sa odlišujú počtom neutrónov. Majú teda rovnaké protónové číslo (Z) ale rozdielne nukleónové číslo (A):



Izobary - nuklidy s rovnakým počtom nukleónov, ale s rozdielnym počtom protónov. Poznáme ich podľa rovnakého nukleónového čísla:

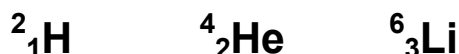


Izotony - nuklidy, ktoré majú rovnaký počet neutrónov:



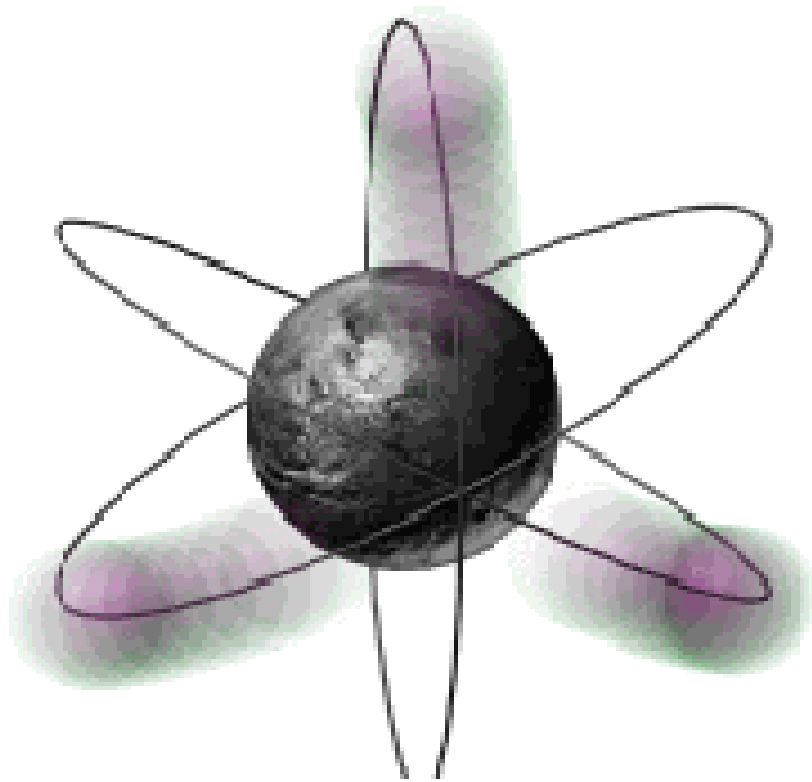
Izodiasféry - nuklidy s rovnakým rozdielom medzi počtom neutrónov a protónov (rovnakým nadbytkom neutrónov vzhľadom na protóny) - platí základný vzťah:

$$N - Z = A - 2 \cdot Z = 0$$



Jadrové izoméry (izobarické izotopy) - nuklidy toho istého prvku, ktoré obsahujú rovnaký počet protónov a neutrónov, odlišujú sa iba svojím energetickým stavom a predovšetkým rádioaktívnymi vlastnosťami. Vyšší izomér t.j. nuklid s väčším obsahom energie, ako je jeho základný stav a s merateľným časom životnosti sa označuje malým **m** (metastabilný) za nukleónovým číslom:





3 RÁDIOAKTÍVNE LÁTKY

3.1 ENERGIA JADRA

Systém nukleónov navzájom viazaných v jadre môže absorbovať alebo emitovať energiu. Minimálne množstvo energie potrebnej k odstráneniu nukleónu (protónu alebo neutrónu) z jadra atómu sa nazýva **väzbovou energiou**. Naopak pri vytváraní nových jadier z jednotlivých častíc sa potom uvoľňuje **vnútrojadrová energia** a jej množstvo (veľkosť) je čo do absolútnej hodnoty zhodná s väzbovou energiou.

a) kvapkový model atómového jadra

hrubá analógia medzi atómovým jadrom a kvapkou kvapaliny. Predpokladá, že súdržné sily (jadrové sily) medzi jednotlivými nukleónmi sú podobné súdržným silám u kvapaliny (povrchové napätie), ktoré bránia ich rozpadu.

b) hladinový (sférický, planétový, škrupinový) model atómového jadra

predpokladá, že nukleóny v jadre sú na určitých energetických hladinách. Tieto energetické hladiny sa môžu nasýtiť pri určitom počte nukleónov. Nukleóny postupne obsadzujú jednotlivé energetické hladiny a po ich zaplnení vznikne stabilne jadro.

Na všetky častice jadra - nukleóny pôsobia vnútrojadrové sily, ktoré

- majú dosah oveľa kratší ako je dosah elektrostatických síl,
- sa môžu nasýtiť - k takto nasýtenému jadru sa môže pripojiť ďalší protón alebo neutrón veľmi ťažko, vytvorené jadro je nestabilné a hneď sa rozpadá,
- sú nezávislé od náboja - vzájomné pôsobenie nukleónov nezávisí od toho či ide o dvojicu p-p, n-n, p-n.

V stabilizovanom „normálnom“ stave má atóm najmenšie množstvo energie a môže prijať (pohltiť) a vyslať (vyžiariť) len jej určité množstvo. Energiu nepohlcuje ani nevyžaruje nepretržitým tokom, ale prerušovane v dávkach - **kvantách**. Tieto kvantá atóm pohlcuje alebo vyžaruje v okamžiku, keď rýchle (skokom) prechádza z jedného kludového stavu do druhého. Množstvo tejto energie zodpovedá rozdielu energie stavov, medzi ktorými sa uskutočnil prechod.

Skôr než atóm môže vyžiariť kvantum (dávku) energie musí byť vzбудený, tzn. musí obdržať určité množstvo energie, ktorá ho prevedie do vyššieho energetického (vzbudeného) stavu. Vo vzbudenom stave vydrží len krátky okamžik (do 10^{-6} s) a vracia sa do stálejšieho stavu, pričom vyžaruje jeden alebo viac fotónov svetla³.

Jadrová energia sa môže prejaviť vo forme energie kinetickej, tepelnej, svetelnej alebo ionizujúceho žiarenia. Hmotnosť jadra je menšia ako je súčet hmotností častíc, z ktorých sa skladá. Tomuto rozdielu hovoríme **hmotnostný defekt (schodok)**. Tento schodok je **mierou väzbovej energie**, ktorá je určujúca pre množstvo energie uvoľňovanej sa pri tvorbe nových jadier.

³) fotón je častica elektromagnetického žiarenia s presnými dávkami (kvantami) energie pohybujúci sa vždy rýchlosťou svetla.

Hmotnostný schodok m vyjadrený v energetických jednotkách vyjadruje väzbovú energiu jadra. Vzťah medzi hmotnostným schodkom a energiou vyjadruje Einsteinova rovnica

$$E_j = m \cdot c^2$$

kde $c = 2,997\,925 \pm 0,000\,003 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Podiel väzbovej energie jadra E_j a počtu nukleónov určuje strednú energiu väzby jadra, alebo tiež strednú väzbovú energiu nukleónu. Jej hodnota sa pre väčšinu jadier pohybuje okolo 8 MeV^4 a potvrdzuje tak nasýtenosť ako jednu z vlastností jadrových síl.

Veľkosti väzbovej energie na jeden nukleón rôznych jadier atómov a teda i množstvo jadrovej energie, ktorá sa uvoľní pri vzniku alebo rozpade jadra boli vypočítané a zostavené do nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 3.1

Energetické charakteristiky jadier niektorých nuklidov

Protónové číslo	Nuklid		Defekt hmotnosti	Energia väzby jadra (MeV)	Merná energia väzby na jeden nukleón (MeV)
	názov	symbol			
1	deutérium	${}^2_1\text{D}$	0,0024	2,22	1,11
	trítium	${}^3_1\text{T}$	0,0091	8,48	2,82
2	hélium	${}^3_2\text{He}$	0,0083	7,72	2,57
		${}^4_2\text{He}$	0,0304	28,30	7,07
3	lítium	${}^6_3\text{Li}$	0,0340	31,99	5,33
		${}^7_3\text{Li}$	0,0420	39,24	5,60
4	berýlium	${}^8_4\text{Be}$	0,0607	56,49	7,08
6	uhlík	${}^{12}_6\text{C}$	0,0989	92,16	7,68
8	kyslík	${}^{16}_8\text{O}$	0,1370	127,60	8,00
12	horčík	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	0,2130	398,30	8,26
26	železo	${}^{58}_{26}\text{Fe}$	0,5470	509,90	8,79
50	cín	${}^{120}_{50}\text{Sn}$	1,0960	1020,50	8,50
82	olovo	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	1,700	1636,50	7,86
92	urán	${}^{235}_{92}\text{U}$	1,9150	1783,90	7,59
		${}^{238}_{92}\text{U}$	1,9340	1801,70	7,57
94	plutónium	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	1,9400	1806,90	7,56

⁴⁾ **elektrónvolt** (eV) - kinetická energia, ktorú má častica s elektrickým nábojom, keď v elektrickom poli prebehne potenciálnym rozdielom jedného voltu.

Porovnávaním bolo zistené že väzbová energia závisí na nukleónovom (hmotnostnom) čísle. S jeho rastom (bez ohľadu na drobné výkyvy) u ľahkých chemických prvkov sa väzbová energia rýchle zväčšuje až do maxima 8,8 MeV, potom mierne klesá do hodnoty 7,5 MeV. Najväčšia stredná väzbová energia (asi 8,5 MeV) je pri stredne ťažkých jadrách (A je približne medzi 50 a 120 - od titánu po cín, stred - striebro $^{108}_{47}\text{Ag}$). Potom sa stredná väzbová energia pozvoľne znižuje a pri veľmi ťažkých jadrách má hodnotu priemerne 7,5 MeV. Toto zníženie je spôsobené ustavične sa zväčšujúcim účinkom coulombovských odpudivých elektrických síl medzi protónmi pri zväčšovaní náboja atómového jadra.

Podľa základnej charakteristiky vyplýva, že atómy **ťažšie** ako atóm striebra budú uvoľňovať energiu pri **štiepení jadra**, ale **ľahšie** atómy budú uvoľňovať energiu pri **syntéze jadier**. Tým viacej energie sa uvoľní, čím je jadro prvku od atómu striebra ďalej. Prvky zo začiatku a konca tabuľky (Mendelejevovej periodickej sústavy prvkov) sú menej stabilné.

Najviac energie sa bude uvoľňovať pri vzniku jadier, ktoré majú najväčšiu strednú väzbovú energiu. Ukazuje sa teda, že štiepenie ťažkého jadra na dve stredne ťažké jadrá je energeticky možné. V dôsledku štiepenia sa zväčší stabilita a uvoľní energia, ktorej rádovú hodnotu môžeme odhadnúť:

$$8,5 - 7,5 = 1 \text{ MeV na každý nukleón.}$$

Pre nuklid s nukleónovým číslom 200 to bude energia 200 MeV, čo znamená, že približne 0,1 % hmotnosti uvoľní jadro vo forme energie.

Druhý spôsob získavania jadrovej energie sa zakladá na využití reakcií, v ktorých sa ľahké jadrá spájajú do ťažších jadier. Čím ľahšie sú spájajúce jadrá, tým viac energie sa môže pri takýchto reakciách uvoľniť. Napríklad vhodne spojené vodíkové jadrá môžu vytvoriť atómové jadro hélia, pričom sa premení na energiu 0,7 % ich hmotnosti, teda oveľa väčší podiel ako pri štiepných jadrových reakciách.

príklad He

$$2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n = 4,0329812 m_u$$

experimentálne je hmotnosť jadra hélia iba 4,002604 m_u , teda je o 0,030377 m_u menšia než relatívna hmotnosť. Pretože jednej hmotnostnej jednotke prísľuší energia 931 MeV, potom energia väzby jadra He je:

$$0,030377 \cdot 931 = 28,30 \text{ MeV}$$

to znamená, že pri vzniku jadra hélia z 2 protónov a 2 neutrónov sa uvoľní energia 28,30 MeV.

V realnosti bude táto energia nižšia o hodnotu, ktorá sa spotrebuje pri uvoľnení jednotlivých protónov a neutrónov z jadier atómov, ktoré sa zúčastňujú danej termojadrovej reakcie. Forma a hodnota uvoľnenej energie bude závisieť od špecifických podmienok, v ktorých daná termojadrová reakcia prebehne (tepelná, svetelná energia, kinetická energia častíc a pod.).

3.2 JADROVÉ REAKCIE

Jadrovú energiu môžeme uvoľniť pomocou takých jadrových reakcií, pri ktorých sa atómové jadrá niektorého prvku (alebo prvkov) premenia na jadrá iného prvku s väčšou stabilitou a teda s väčšou väzbovou energiou. Uvoľnená energia sa rovná rozdielu väzbových energií výsledných a východiskových prvkov.

Podmienkou stability atómových jadier je určitý pomer počtu neutrónov k počtu protónov. Pri nuklidoch s nízkym protónovým číslom sú stabilné nuklidy s pomerom neutrón : protón ($N : Z$) = 1 : 1, so zvyšovaním protónového čísla sa tento pomer postupne zvyšuje na 1,56 : 1. Každému protónovému číslu zodpovedá určitá hodnota N/Z v ktorej je atómové jadro stabilné. Nestabilné jadro sa „samovoľne upravuje“ v prospech stabilnejšej konfigurácie – príloha č.1.

Dnes poznáme asi 1300 rozličných nuklidov, z ktorých je asi 1000 nestabilných, čo značí, že jadrá sa časom menia na iné stabilnejšie jadrá.

Teoreticky (absolútne) **stabilný nuklid** je len taký, ktorého aktivita je nulová, t.j. ktorého polčas premeny je nekonečne veľký. Sú to nuklidy, ktorých labilita vzhľadom na ktorýkoľvek spontánnu premenu je z energetických dôvodov vopred vylúčená.

Prakticky stabilný nuklid je na rozdiel od uvedeného aj každý v skutočnosti rádioaktívny nuklid, ktorého čas života má síce konečnú hodnotu, ale takú veľkú, že príslušná aktivita je detekčnými prostriedkami súčasnej techniky nepostrehnuteľná alebo prakticky zanedbateľná.

Príklad U^{238}

$T - 10^{16}$ rokov, tzn. v 1 g ($6,023 \cdot 10^{23}$ atómov) U^{238} nastane iba 26 samostatných štípení (rozpadov jadra) za 1 hodinu.

Počet týchto len „prakticky“ stabilných nuklidov nebude nikdy experimentálne presne zistiteľný. V tomto zmysle stráca aj svoj pôvodný význam presného rozdelenia nuklidov na **stabilné** a **rádioaktívne**. Dospievame tým k poznaniu, že rádioaktivitu nemožno považovať za mimoriadnu vlastnosť prírodných nuklidov, ale za jav všeobecného charakteru akou je stabilita.

Počet atómov, ktoré sa v každom okamžiku premieňajú, je úmerný celkovému počtu atómov **N** rádioaktívnej látky. Zmenu počtu atómov **dN** v časovom intervale **dt** vyjadruje časový zákon rádioaktívnych premien, podľa ktorého sa počet atómov rádioaktívnej látky s časom exponenciálne znižuje, ktorého vzťah:

$$dN = -a \cdot N \cdot dt$$

kde **a** - premenná (rozpadová) konštanta (s^{-1})

Riešením tejto diferenciálnej rovnice je exponenciálna funkcia

$$N = N_0 \cdot e^{-a \cdot t}$$

kde **N₀** - počet rádioaktívnych atómov v čase **t₀**

Rýchlosť rádioaktívnych premení atómov rádioaktívnej látky charakterizujeme **polčasom premeny** (polčasom rozpadu) **T**, t.j. časom, za ktorý sa premení polovica rádioaktívnych jadier na iné rádioaktívne alebo stabilné jadrá. Vzťah medzi polčasom premeny **T** a premennou konštantou **a** môžeme vyjadriť vzťahom:

$$1/2 = e^{-a \cdot T} \quad \text{teda} \quad T = 0,693/a$$

Z uvedeného vyplýva ešte jeden dôležitý poznatok pre prax. Ak sa za dobu polčasu rozpadu od doby, keď začíname merať, rozpadne polovica atómov, potom zo zbývajúcej polovice zase polovica, t.j. štvrtina, potom polovica štvrtiny, t.j. osmina atď., znamená to že počet rozpadávajúcich sa atómov neustále klesá.

Tabuľka 3.2

Niektoré príklady rádionuklidov

Prvok	Rádionuklid	Polčas rozpadu
prírodné		
uhlík	$^{14}_6\text{C}$	$5 \cdot 10^3$ rokov
samárium	$^{222}_{62}\text{Sm}$	$2,5 \cdot 10^{11}$ rokov
radón	$^{152}_{86}\text{Rn}$	3,82 dní
rádium	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$1,622 \cdot 10^3$ rokov
urán	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ rokov
umelé		
sodík	$^{24}_{11}\text{Na}$	14,8 hodín
hliník	$^{28}_{13}\text{Al}$	2,3 minút
fosfor	$^{32}_{15}\text{P}$	14,3 dní
vápnik	$^{45}_{20}\text{Ca}$	180 dní
chróm	$^{51}_{24}\text{Cr}$	26,5 dní
železo	$^{59}_{26}\text{Fe}$	47,1 dní
kobalt	$^{60}_{27}\text{Co}$	5,27 rokov

Rádionuklid môžeme okrem polčasu premeny charakterizovať aj **stredným časom životnosti** alebo **strednou životnosťou** **T** jeho atómov, ktorý je daný recipročnou hodnotou premennej konštanty **a**:

$$T = 1/a = 1,442 \cdot T$$

Stredný čas životnosti rádioaktívneho nuklidu je čas, za ktorý by sa uvažovaná rádioaktívna látka premenila, keby počet nuklidov, ktorý sa v prvej sekunde premení, zostával vždy rovnaký.

Stredný čas životnosti všetkých rádionuklidov sa rovná polčasu premeny vynásobeného faktorom 1,4.

Nestabilné jadro „samovoľne upravuje“ pomer protónov a neutrónov v prospech stabilnejšej konfigurácie. V prípade **nadbytku neutrónov** predpokladáme, že neutrón sa premení na protón pri súčasnej emisii zápornej beta-častice (negatrónu), hovoríme o **rozpade beta mínus**.

V prípade, keď je **počet neutrónov nedostačujúci** na stabilnú konfiguráciu, môže prebiehať viac procesov, ktorých výsledkom je vznik stabilného jadra:

- protón sa premení na neutrón pri emisii kladne nabitého elektrónu (pozitrónu), hovoríme o **rozpade beta plus**,
- atómové jadro zachytí jeden elektrón z elektrónového obalu a s týmto elektrónom protón atómového jadra vytvorí jeden neutrón, hovoríme o **elektrónovom záchyte** alebo **záchyte K**,
- atómové jadro vyšle dva neutróny a dva protóny vo forme héliového jadra, hovoríme o **rozpade alfa**.

Prechod atómových jadier z nestabilných na stabilné stavy je doprevádzaný uvoľnením energie vo forme žiarenia. Žiarenie, ktoré má svoj pôvod v atómovom jadre sa všeobecne nazýva **jadrovým (nukleárnym) žiarením**.

Pri samovoľných jadrových premenách sa vysielané žiarenie nazýva **rádioaktívne** (alfa, beta, gama) **žiarenie**. Jadrovým žiarením nazývame aj deuterónové, neutrónové a protónové žiarenie.

Podľa **charakteru** členíme jadrové žiarenie na:

- korpuskulárne,
- elektromagnetické.

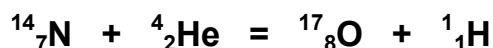
Podľa **hmotnosti častice** rozlišujeme korpuskulárne žiarenia na:

- ľahké (kladné a záporné elektróny),
- stredné (protóny, neutróny, deuteróny, alfa-častice),
- ťažké (urýchlené ióny, štiepne jadrové trosky).

Podľa **náboja častice**, ktorá tvorí korpuskulárne žiarenie rozlišujeme častice:

- neutrálne (neutrón, neutríno),
- s nenulovým elektrickým nábojom (elektrón, protón, deuterón, alfa-častica).

Jadrá atómov môžu podliehať určitým zmenám, ktoré sú buď samovoľné, alebo k nim dochádza účinkom iného jadra, častice alebo fotónu. Tie premeny, ktoré vznikajú vonkajším pôsobením označujeme ako **jadrovú reakciu**. Jadrovú reakciu zapisujeme buď v úplnej forme:



alebo v skrátenej forme



Reakcia medzi dusíkom a časticou alfa bola prvou jadrovou reakciou, ktorá bola pozorovaná a umelo vyvolaná (Rutherford 1919).

Jadrové reakcie prebiehajú v dvoch fázach:

- a) **splynutie častice** (nukleónu) s jadrom prvku a vznik zloženého jadra, zložené jadro má nielen kinetickú ale i väzbovú energiu tejto častice, ktorá sa pohybuje okolo 8 MeV na jeden nukleón.
- b) nasledujúci **rozpad zloženého jadra** za vzniku produktov reakcie, jadro stráca väčšiu časť prebytočnej energie, zostávajúca sa uvoľňuje pri postupnom rozpade produktov reakcie, alebo je viazaná v stabilných konečných produktoch reakcie.

Zrážka bombardujúcej častice (nukleónu) s jadrom prvku a ich následné splynutie trvá asi 10^{-21} s. Nasledujúci rozpad prebehne za menej než 10^{-12} s. V priebehu tejto veľmi krátkej doby sa prebytok energie zloženého jadra rozdelí medzi všetky nukleóny. Rozpad zloženého jadra je možný niekedy len jedným spôsobom, inokedy je možností niekoľko. Najčastejšie sa stretávame s reakciami, ktorým postačuje najmenšia energia bombardujúcej častice.

Pravdepodobnosť pohltienia častice jadrom vyjadrujeme tzv. **účinným prierezom jadra**. Účinný prierez je u rovnakého jadra rôzny pre rôzne bombardujúce častice a pre rôzne energie týchto častíc (10^{-24} m² až 10^{-36} m²)⁵.

Vzbudené jadro môže svoju energiu predať i iným spôsobom, napr. niektorému elektrónu z obalu atómu. V tom prípade je predanie energie jadra atómu priame - bez emisie fotónu a navonok sa toto prejaví uvoľnením elektrónov z obalu. Toto nazývame **vnútorná premena** (konverzia). Preskokom elektrónu z vyššej hladiny (sféry) na nižšiu, na miesto uvoľnené v dôsledku záchytu K sa uvoľňuje sekundárne (druhotné) röntgenové žiarenie, sprevádzajúce záporné beta žiarenie.

Fotóny, ktoré vznikajú pri jadrových premenách sú obvykle pomenované podľa svojho pôvodu:

- a) **gama žiarenie**,
elektromagnetické žiarenie vyvolané zmenami atómového jadra,
- b) **brzdné žiarenie**,
vzniká keď nabitá častica (ión) pri prechode niektorou látkou je spomaľovaná elektrostatickým polom jadra atómu,
- c) **žiarenie X**,
vzniká pri návrate elektrónov obalu do základného stavu,
- d) **anihilačné žiarenie**,
vzniká pri „stretnutí“ a „zániku“ napr. negatrónu s pozitronom, keď sa vo forme elektromagnetického žiarenia uvoľňuje množstvo energie ekvivalentné hmotnosti častíc, ktoré sa „stretnú“ a „zaniknú“.

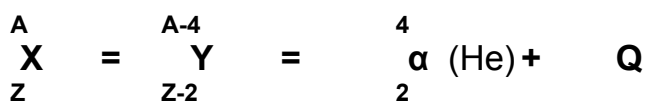
Vo všetkých prípadoch ide o elektromagnetické žiarenie, ktoré má rozdielnu energiu. Interakcia (vzájomné pôsobenie) fotónov tohoto žiarenia s látkami nezávisí na spôsobe, ktorými boli vyvolané, ale len na energii fotónov.

⁵⁾ účinný prierez reakcie jadra si nesmieme stotožňovať so skutočnou plochou prierezu jadra.

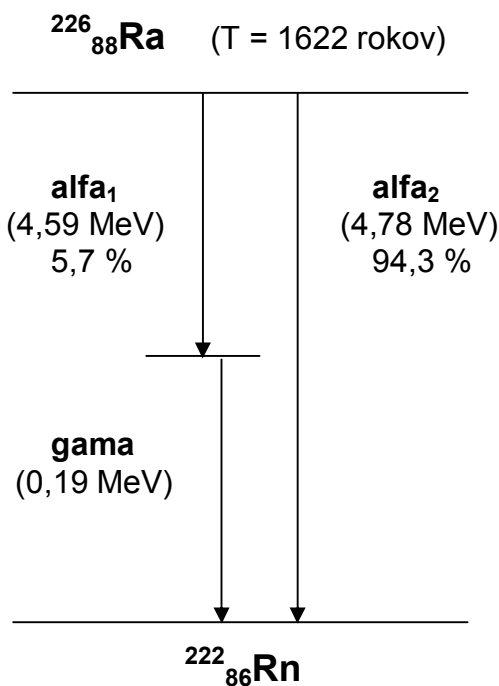
3.2.1 Alfa-premena

Alfa žiarenie sa skladá z rýchlo letiacich dvojmocných kladných iónov hélia, ktoré sa pohybujú rýchlosťou asi 20-krát menšou ako je rýchlosť svetla (rádovo 10^7 m.s^{-1}) s doletom vo vzduchu okolo 2 až 7 cm. Ich energia je obvyčajne 4 až 9 MeV v závislosti od charakteru rádioaktívneho nuklidu. Spôsobuje elektrickú vodivosť vzduchu, čo sa využíva v dozimetrii - meranie aktivity žiarenia.

V dôsledku emisie štyroch nukleónov je nukleónové číslo produktu o štyri jednotky menšie. Pretože z jadra boli emitované dva protóny, je aj protónové číslo o dve jednotky menšie a novovzniknutý nuklid sa posunie v Mendelejevovej periodickej sústave o dve miesta vľavo. Emisiu alfa-častíc zväčša sprevádza emisia jedného alebo viacerých gama-fotónov.



Pôvodný prvok (materský) sa premení na nový prvok (dcérin) s odlišnou chemickou vlastnosťou.



Obr. 3.1 Schéma premeny rádia $^{226}_{88}\text{Ra}$ na radón $^{222}_{86}\text{Rn}$.

V 94,3 % prípadoch prebieha alfa-premena izotopu rádia až na základný stav izotopu radónu, v 5,7 % prípadoch vyžiarením alfa-častíc rádium prechádza na vzбудený stav radónu, ktorý prejde na základný stav vyžiarením fotónov.

Väzbová energia nukleónov alfa-častíc je veľmi veľká (viac ako 28 MeV) a preto sa správajú pri vzájomnom pôsobení s okolitými atómami absorbátora ako kompaktné častice.

3.2.2 Beta - premena

Pri beta-rádioaktívnej premene sa z atómového jadra emitujú záporné alebo kladné elektróny (negatróny alebo pozitróny), pohybujúce sa rýchlosťou, ktorá dosahuje až 99 % rýchlosti svetla ($3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) s doletom až 20 m.

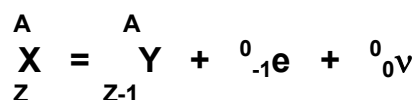
Pretože v jadre sa nenachádzajú elektróny, dochádza v jeho štruktúre k premene nukleónu. Teória hovorí, že neutrón a protón môžeme pokladať za jednu časticu - nukleón, majúci dva stavy: protónový a neutrónový. Pri beta-premene ide o prechod neutrónu na protón alebo protónu na neutrón pri súčasnej emisii zápornej alebo kladnej beta-častice. Zároveň bolo nepriamo dokázané, že s elektrónom uniká z jadra pravdepodobne ešte iná, oveľa menšia a ťažko dokázateľná častica nazvaná **neutríno** (značí malý neutrón).

a) záporná (negatrónova) premena

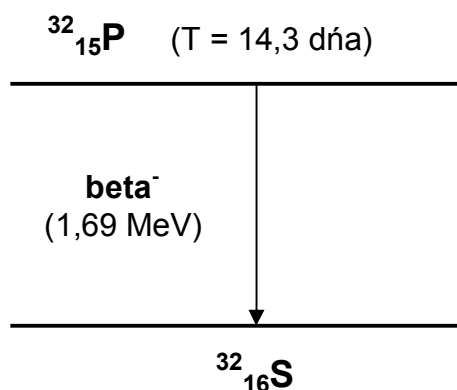
Je to najdôležitejšia a najrozšírenejšia forma beta-premeny, ktorá nastáva vtedy, keď pomer počtu neutrónov a protónov v jadre daného nuklidu prekračuje určitú medznú hodnotu. Pri zápornej beta-premene sa jeden neutrón v atómovom jadre premení na protón, pričom sa uvoľní záporne nabitý elektrón (negatrón) a antineutríno podľa schémy:



Pri zápornej beta-premene atómu sa zväčší jeho protónové číslo o jednotku, ale nukleónové číslo sa nezmení:



Pôvodný prvok (materský) sa premení na nový prvok (dcérin) s odlišnou chemickou vlastnosťou.



Obr. 3.2 Schéma premeny fosforu ${}^{32}_{15}\text{P}$ na síru ${}^{32}_{16}\text{S}$.

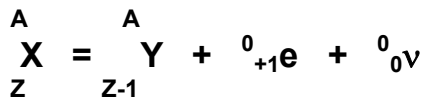
Častice beta sa uvoľňujú s rôznymi energiami až po určitú hranicu. Napríklad uvedený fosfor 32 v rozmedzí od 0 do 1,69 MeV.

b) kladná (pozitrónová) premena

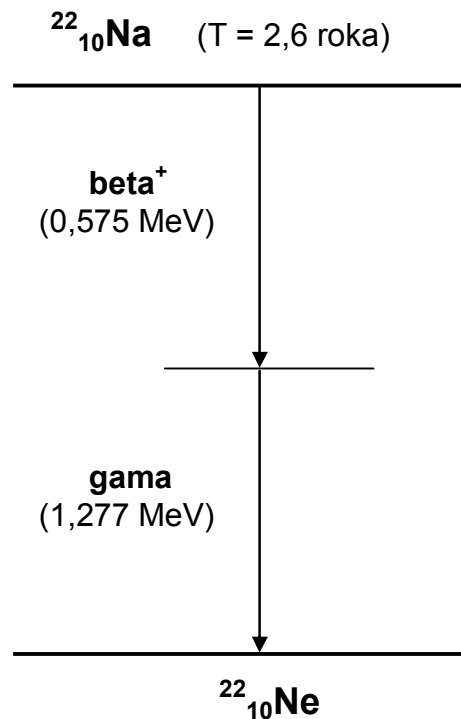
Je typická pri umelých rádioaktívnych nuklidoch, ktorých pomer počtu neutrónov a protónov má menšiu hodnotu, ako pomer zodpovedajúci stálym nuklidom určitého prvku. Pri kladnej beta-premene sa jeden protón v jadre premení na neutrón, pričom sa uvoľní pozitron a neutríno podľa schémy:



Pri kladnej beta-premene atómu sa jeho protónové číslo zmenší o jednotku, ale nukleónové číslo sa nezmení:



Pôvodný prvok (materský) sa premení na nový prvok (dcérin) s odlišnou chemickou vlastnosťou.



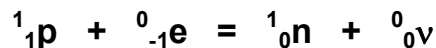
Obr. 3.3 Schéma premeny sodíka ${}^{22}_{10}\text{Na}$ na neón ${}^{22}_{10}\text{Ne}$.

Kladná beta-premena je vždy sprevádzaná vyžarovaním gama-fotónov. Spomalený pozitron na konci svojej dráhy totiž ľahko reaguje s negatrónom, pričom sa vytvoria dva gama-fotóny vyžiarené v opačných smeroch. Energia vzniknutých fotónov je ekvivalentná pokojovej hmotnosti pôvodných častíc (0,51 MeV). Takto vzniknuté gama-žiarenie sa označuje ako **anihilačné žiarenie**. Schematicky je možno tento dej znázorniť takto:

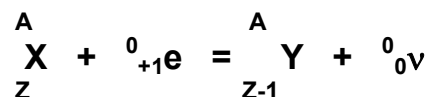


c) elektrónové zachytenie

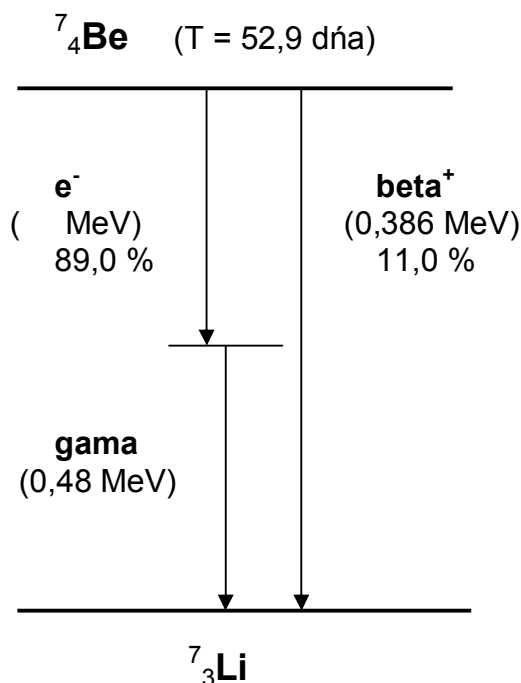
Je to tretí variant beta-premeny, pri ktorom jadro nuklidu zachytáva elektrón z vlastného elektrónového obalu (najčastejšie elektrón z K - hladiny). Pretože v jadre nemôžu byť elektróny, prebehne proces:



Pri elektrónovom záchyte atómu sa jeho protónové číslo zmenší o jednotku, ale nukleónové číslo sa nezmení:



Elektrónové zachytenie je formálne ekvivalentné s pozitronovou premenou a predstavuje konkurenčný proces. Pôvodný prvok (materský) sa premení na nový prvok (dcérin) s odlišnou chemickou vlastnosťou.



Obr. 3.4 Schéma premeny berýlia ${}^7_4\text{Be}$ na lítium ${}^7_3\text{Li}$.

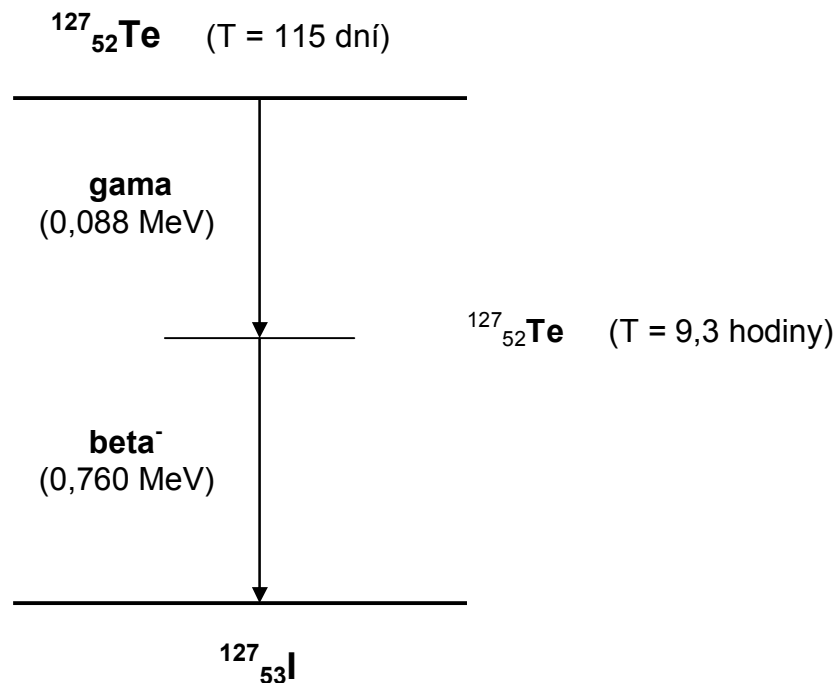
Zachytením elektrónu jadrom sa v hladine K (L, M, ..) uvoľní jedno miesto. Toto uvoľnené miesto obsadí elektrón z niektorej vyššej elektrónovej hladiny. Tento preskok elektrónu sprevádza vysielanie charakteristického röntgenového žiarenia, ktoré môže vyvolať fotoelektrický jav vo vlastnom elektrónovom obale.

3.2.3 Gama - premena

Žiarenie gama je elektromagnetické žiarenie (vlnenie) s malou vlnovou dĺžkou (tzv. tvrdé) 10^{-10} až 10^{-14} m a je tvorené kvantami fotónov. Šíri sa ako každé elektromagnetické žiarenie rýchlosťou svetla. Vo vzduchu má dolet stovky metrov a podľa množstva energie má schopnosť prenikať látkami.

Gama-premena je samovoľná premena atómov, pri ktorej sa nemení nukleónové (protónové alebo neutrónové) číslo. Podobne ako atómy tak aj atómové jadrá sa môžu nachádzať vo vzbudenom stave, v ktorom určitý čas (10^{-13} s i menej) zotrývajú.

Pri vysielaní gama-žiarenia prechádza atómové jadro z energeticky metastabilného stavu na izomér (jadro s rovnakým nukleónovým a protónovým číslom), ktorý je alebo stabilný, alebo sa ďalej premieňa: Ak sa rozdiel energie jadra v pôvodnom vzbudenom a novom základnom stave vyrovná emisiou elektromagnetického žiarenia, hovoríme o **gama-žiarení** atómového jadra.



Obr. 3.5 Schéma premeny telúru $^{127}_{52}\text{Te}$ na jód $^{127}_{53}\text{I}$.

Vzbudené jadro môže energiu vzбудenia odovzdať niektorému elektrónu z elektrónového obalu atómu. Navonok sa tento dej prejaví uvoľnením elektrónov z obalu. Odovzdanie energie vzbudného jadra elektrónu je priame (bez emisie fotónu). Tento spôsob uskutočnenia gama-premeny sa nazýva **vnútorná konverzia** alebo **vnútorná premena**. Vysielané konverzné elektróny sú monoenergetické.

Po vnútornej konverzii sa výsledný atóm nachádza vo vzbudenom stave. Preskokom elektrónu z vyššej hladiny na miesto uvoľneného elektrónu sa uvoľňuje sekundárne, charakteristické **röntgenové žiarenie**. Vnútorná konverzia sa teda prejavuje ako záporné beta-žiarenie, späť so sprievodným röntgenovým žiarením.

3.3 DRUHY RÁDIOAKTÍVNEHO ŽIARENIA

Žiarenie emitované rádioaktívnymi nuklidmi predstavuje tok hmotných častíc resp. fotónov, ktorých energia je v rozmedzí keV - MeV, čo niekoľkokrát prevyšuje ionizačnú energiu atómov alebo molekúl (< 25 eV). Preto pri prechode hmotným prostredím vyvoláva toto žiarenie intenzívnu ionizáciu - odtiaľ **ionizačné žiarenie**. Spoločnou vlastnosťou všetkých druhov ionizačného žiarenia je vysoká energia, ktorá sa pri prechode cez hmotné prostredie (materiál) prejaví všestrannými účinkami fyzikálneho a chemického charakteru.

Pre **ionizujúce žiarenie** sa tiež používajú názvy jadrové žiarenie a rádioaktívne žiarenie. Názov jadrové žiarenie je vecne správny, zahŕňa však len žiarenie vznikajúce pri rádioaktívnych premenách. Naopak názov rádioaktívne žiarenie je nesprávny a zavádzajúci, pretože ionizujúce žiarenie samo o sebe nie je rádioaktívne. Výnimkou je žiarenie neutrónové, pretože volné neutróny sú nestabilné voči premene beta (β).

V súčasnej vede sa každé žiarenie považuje za hmotné, ale pre praktické účely (najmä didaktiku) sa pripúšťa jeho delenie na **korpuskulárne**⁶ (časticové) a **vlnové**. Vo vzťahu k jadrovej problematike sa za korpuskulárne žiarenie považuje žiarenie alfa, beta a tok neutrónov, za vlnové potom široké spektrum elektromagnetického žiarenia od najväčších dĺžok a najmenších energií, zrovnateľné s dlhými rozhlasovými vlnami, cez infračervené a ultrafialové až po gama žiarenie, ktoré má prirodzenú obdobu v žiarení prírodných rádionuklidov a kozmickom žiarení.

Každou jednotlivou ionizáciou alebo excitáciou sa energia ionizujúcej častice zmenší o dieľčiu hodnotu príslušnej ionizačnej alebo excitačnej energie. Pretože táto predstavuje len malú časť pôvodnej energie častice, vytvára každá častica veľké množstvo iónov, elektrónov alebo excitovaných stavov. Častica tak odovzdáva prostrediu svoju energiu postupne, až nakoniec stratí schopnosť ionizácie a excitácie - dochádza k absorpcii častice.

Pri prechode žiarenia cez materiál nastáva vzájomné pôsobenie (interakcia). Z vysokého obsahu energie rádioaktívneho žiarenia vyplýva špecifická forma pôsobenia na materiál - schopnosť ionizácie, ktorá je najdôležitejšou vlastnosťou jadrového žiarenia. Táto interakcia má rôzny charakter predovšetkým v závislosti od náboja a hmotnosti interagujúcej častice resp. od charakteru žiarenia, ako aj od charakteru materiálového prostredia, cez ktoré žiarenie prechádza. Pri zrážke sa podstatne mení fyzikálny stav častíc, ktoré sa na takej zrážke zúčastnili. Mení sa napr. impulz, kinetická energia, vnútorná štruktúra, alebo jedny častice zanikajú a druhé častice vznikajú.

V súčasnej praxi, keď sa prevádzajú presné merania, sa vždy zisťuje prirodzené ionizačné „pozadie“, t.j. intenzita (množstvo) tohoto žiarenia v okolí, ktoré je spôsobované prítomnosťou základných rádionuklidov uránu, tória a draslíka v pôde, radónu v atmosfére a rádia a uhlíka v biosfére.

⁶⁾ pre predstavu korpuskulárneho charakteru - hmotnosť svetla: Slnéčné žiarenie „tlačí“ na 1 m² povrchu Zeme hmotnosťou okolo 0,25 g.

3.3.1 Alfa – žiarenie

Ťažké nabité častice (alfa-častice, rýchle protóny, deuteróny, štiepne fragmenty) pri interakcii s materiálom odovzdávajú veľmi ľahko energiu, ktorú strácajú postupne až do okamžiku, keď sú prudko zabrzdené. Po strate kinetickej energie sa stabilizujú v príslušnej forme ako atómy hélia, deutéria a prvkov, ktorým patria štiepne produkty.

Interakcia medzi ťažkými nabitými časticami a absorbujúcim prostredím prebieha najmä nepružnými zrážkami s elektrónovými obalmi atómov. Prejavuje sa to ionizáciou a excitáciou atómov. Lineárna ionizácia (počet iónov vytvorených na jednotkovej dĺžke dráhy častice) zapríčinená týmto žiarením je zo všetkých typov žiarenia najvyššia - vo vzduchu asi 10^6 m^{-1} a pri štiepných troskách ešte vyššia.

Dosah ťažkých nabitých častíc je určený najmä stratou energie v dôsledku ionizácie v prostredí, cez ktoré preleteli. Dosah sa predlžuje so zvyšovaním energie nabitých častíc a skraca sa zo zväčšujúcou sa relatívnou atómovou hmotnosťou i protónovým číslom prvku absorbujúceho prostredia. Vo vzduchu (v závislosti od energie častíc) je dosah 2 až 10 cm a v kondenzovaných fázach je mikroskopický.

(alfa častice o energii 7,6 MeV z ^{214}Po majú vo vzduchu dolet cca 6,95 cm).

Vo veľmi zriedkavých prípadoch sa môžu alfa-častice rozptyľovať elektrostatickým poľom jadra, alebo sa odrážajú v opačnom smere (jedna na 10^4 alfa častíc), prípadne prebieha jadrová reakcia (jedna na 10^6 alfa-častíc).

3.3.2 Beta – žiarenie

Beta žiarenie, ktoré tvoria záporné alebo kladné elektróny, stráca svoju energiu najmä nepružnými zrážkami s elektrónovým obalom atómu a pružnými zrážkami s atómovými jadrami.

Nepružné zrážky s elektrónovým oblakom sa prejavujú vo forme ionizácie a excitácie. Pretože beta-častice sú oveľa ľahšie ako alfa-častice, majú pri určitej energii oveľa väčšiu rýchlosť (preto dosah beta-častíc je väčší ako dosah alfa-častíc viac ako o 10^2 -krát), ale ich ionizačná schopnosť je oveľa menšia (približne o 10^3 krát). Lineárna ionizácia zapríčinená elektrónmi je tým menšia, čím väčšia je energia elektrónov. Vo vzduchu je to $5 \cdot 10^3$ až $5 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$, v kondenzovaných parách je to priemerne o tri rády menšie.

(Napríklad beta častice o energii 3 MeV, s doletom vo vzduchu okolo 100 cm, vytvoria okolo 40 párov iónov na dráhe 1 cm, čo predstavuje tisícinu ionizačnej schopnosti žiarenia alfa o tej istej energii).

Pomer pravdepodobnosti rozptylu beta-žiarenia jadrom k rozptylu elektrónovým obalom je úmerný protónovému číslu. To značí, že pri zrážkach s ľahkými atómami sú obidva procesy približne rovnako pravdepodobné, ale pri ťažkých atómoch prevláda rozptyl jadrami. Dôsledkom interakcie elektrónov s coulombovským poľom atómového jadra je vznik **elektromagnetického brzdného žiarenia**. Podiel brzdného žiarenia sa zväčšuje so zvyšujúcim sa protónovým číslom prostredia.

3.3.3 Gama – žiarenie

Gama-žiarenie je najpenikavejším druhom rádioaktívneho žiarenia. Procesy, ktorými vzniká strata gama-žiarenia pri prechode cez materiál, majú zásadne iný charakter ako pri korpuskulárnom žiarení. Toto žiarenie ionizuje prakticky výhradne tým, že časť alebo celú svoju energiu preniesie na elektróny, ktoré sú potom schopné ionizovať. V závislosti od energie gama-fotónov a od protónového čísla absorbujúcej látky majú veľký význam tri dominujúce procesy interakcie:

- a) fotoelektrický jav,
- b) Comptonov rozptyl,
- c) tvorba elektrónového páru.

a) Pri interakcii gama-fotónov s malou energiou v látkach s vysokým protónovým číslom je najdôležitejším procesom **fotoelektrický jav**. Pri tomto jave sa prakticky celá energia gama-fotónu odovzdá jednému orbitálnemu elektrónu, ktorý pre nadbytok energie opustí atóm. Takto emitovaný elektrón získava kinetickú energiu, ktorá sa rovná rozdielu energie pôvodného gama-fotónu a väzbovej energie elektrónu v obale.

Pri uvoľnení elektrónu sa elektrónová hladina ihneď zaplní, pričom vzniká charakteristické röntgenové žiarenie. Energia charakteristického röntgenového žiarenia sa často ihneď odovzdá slabšie viazanému vonkajšiemu elektrónu, ktorý vyletí z atómu. Tieto elektróny sa nazývajú **Augerove elektróny**. Fotoelektróny strácajú svoju energiu ionizačnými a brzdiacimi procesmi podobne ako beta-žiarenie.

b) **Comptonov rozptyl** sa uplatňuje najmä pri stredných energiách gama-fotónov (do 2 až 3 MeV) a pri nízkych protónových číslach (do $Z = 13$). Pri tomto jave vzniká pružný rozptyl gama-fotónov na slabo viazaných elektrónoch (okrajové elektróny). Dopadajúci gama-fotón odovzdá časť svojej pôvodnej energie elektrónu, ktorý je vyrazený z atómu. Zvyšok energie sa vyžiari ako gama-fotón s nižšou energiou. Rozptýlené gama-fotóny strácajú svoju energiu interakciou s elektrónmi atómu a výsledkom ich absorpcie je fotoelektrický jav.

c) **Tvorbu elektrónového páru** možno pozorovať pri gama-fotónoch s energiou viac ako 1,02 MeV v absorpčnom prostredí s vysokým protónovým číslom. Pri tomto deji gama-fotón preniká až k atómovému jadru, v poli ktorého sa premení na pár antičastíc negatrón - pozitron.

Pravdepodobnosť, ktorý z uvedených troch interakčných procesov prevláda, závisí od viacerých faktorov. Rozhodujúci význam má energia gama-žiarenia a protónové číslo, prípadne hustota absorbujúceho prostredia, ktoré gama žiarenie obdobne ako röntgenové žiarenie pohlcuje a to tým viac, čím je táto hustota väčšia (čím má väčšiu mernú hmotnosť).

Okrem týchto procesov môže prebiehať pri gama-fotónoch s energiou viac ako 8 MeV **jadrový fotoefekt** (fotodezintegrácia). Gama-fotóny vstúpia do interakcie priamo s atómovým jadrom, z ktorého sa vzápätí emituje neutrón, protón alebo alfa častice.

3.3.4 Neutrónové žiarenie

Neutróny ako elektricky neutrálne častice s rýchlosťou okolo $1,5 \cdot 10^4$ km/s a doletom do 2 km (v prízemnej vrstve atmosféry, vo väčších výškach ešte väčšia), nezapríčiňujú pri interakcii s elektrónovým oblakom priamu ionizáciu. Prechod neutrónov cez materiál je sprevádzaný takmer výhradne interakciou s jadrami atómov, ktorej výsledkom je pružný i nepružný rozptyl. Pri pružnom rozptyle odovzdá neutrón časť svojej kinetickej energie atómovým jadrom absorbujúceho prostredia, ale forma energie sa pritom nemení. Odrazené atómové jadrá zapríčiňujú pri interakcii s atómami absorbujúceho materiálu ionizáciu.

Tabuľka 2.6

Rozdelenie neutrónov podľa ich energie

Neutróny	Energia	Rýchlosť
pomalé	<1 keV	$2,2 \cdot 10^3$ m/s (0,025 eV)
- chladné	<0,002 eV	
- tepelné	0,002 – 0,5 eV	
- rezonančné	0,5 – 1000 eV	
so strednou energiou	1 – 500 keV	$1,4 \cdot 10^7$ m/s (1 MeV)
- rýchle	0,5 – 10 MeV	
s vysokou energiou	10 – 50 MeV	
s veľmi vysokou energiou	50 MeV	

Jednou z najdôležitejších foriem interakcie neutrónov s látkou sú jadrové reakcie. S neutrónmi reagujú skoro všetky stabilné nuklidy (výnimka ${}^4_2\text{He}$), sú to procesy zo všetkých jadrových reakcií najrozšírenejšie. Pôsobením polyenergetickými neutrónmi (ktoré poskytuje jadrová reakcia a väčšina neutrónových zdrojov) získame väčšinou niekoľko produktov a to ako u ľahkých tak i u ťažkých jadier. U ťažkých prvkov je proces (n,α) a (n,p) menej častý ako reakcia (n,γ) a (n,2n) v súvislosti s väčším nábojom jadra a v súhlase s väčšinou záporných energetických hodnôt reakcií (n,α) a (n,p), ktoré vyžadujú neutróny s energiou rádovo niekoľko desiatok MeV.

Len u niektorých ľahkých jadier kde má príslušná reakcia kladné energetické hodnoty, môžu reakcie (n, α) a (n,p) výnimočne prebiehať tiež s tepelnými neutrónmi. Sú to najmä reakcie, ktoré majú väčšinou praktický význam:



Najväčší výskyt zo všetkých neutrónových jadrových reakcií sú procesy typu (n,γ), ktoré prebiehajú s najväčšími výťažkami s tepelnými neutrónmi. Sú to najdôležitejšie jadrové reakcie, ktorými je možno pripraviť väčšinu rádionuklidov. S tepelnými neutrónmi reagujú ochotne jadrá prvkov od najľahších po najťažšie:



S výnimkou reakcie (n,2n) vedú neutrónové procesy celkovo k nuklidom s nadbytkom neutrónov, výsledné jadrá sú potom žiariče (β^-), alebo stabilný produkt.

3.4 PRINCÍP JADROVÝCH ZBRANÍ

Energia obsiahnutá v atóme je rozdelená medzi elektrónový obal atómu a jeho jadro. Pri chemických reakciách sa všetky pri nich prebiehajúce zmeny dotýkajú len elektrónového obalu, na ktorý pripadá menej ako 0,05 % celkovej energie atómu. Chemické prvky alebo zlúčeniny vznikajú pri procesoch, pri ktorých prebieha preskupovanie atómov chemických zložiek, jadrá atómov sa pri tom nemenia, atómy si udržiavajú svoje charakteristické vlastnosti.

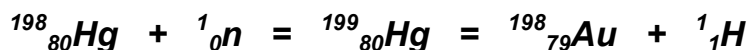
Pri chemických reakciách nedochádza ku zmenám v jadrách atómov a teda ani ku zmenám chemických prvkov. U jadrových reakcií naopak dochádza ku zmenám v jadrách atómov. Zväčšuje či znižuje sa počet nukleónov (protónov, neutrónov), alebo sa mení jeden na druhý, následkom čoho vzniká iný chemický prvok alebo nuklid východzieho prvku. K jadrovým premenám - reakciám, k zmenám zloženia jadra, dochádza teda buď pri (prirodzenom) samovoľnom rádioaktívnom rozpade alebo (umelým) zásahom z vonka.

Za jadrovú reakciu považujeme takú jadrovú premenu, ktorá je vyvolaná vonkajším zásahom, teda interakciou s inými jadrami alebo časticami, vrátane fotónov.

Za rádioaktívnu premenu (rádioaktívny rozpad) považujeme samovoľnú zmenu v zložení alebo stavu jadier nuklidu.

Dosiahnuť uvoľnenie (vyrazenie) nukleónu z jadra, prípadne obohatiť jadro ďalším nukleónom je veľmi problematické. Pri nepatrných rozmeroch jadra je veľmi obtiažne ho „zasiahnuť“, naviac čím je v jadre viac protónov, tým sú silnejšie odpudivé elektrostatické sily, ktoré vytvárajú „ochrannú bariéru“ okolo jadra. K tomu je treba ešte pripomenúť obtiaže vyplývajúce z krátkej doby životnosti jednotlivých častíc (jadrá hélia zachytávajú voľné elektróny a pod.), preto je pre bombardovanie jadra najvhodnejší neutrón, ktorý nemá náboj čo mu umožňuje ľahšie preniknúť cez ochrannú vrstvu odpudivých elektrostatických síl do jadra atómu. V praxi sa jadrové reakcie realizujú dlhodobejším „ostreľovaním“ jadier usmerneným zväzkom jadrových častíc (alfa, deuteróny, protóny, neutróny) s vysokou energetickou hodnotou vo forme rýchlosti

Týmto spôsobom sa podarilo splniť sen alchymistov - vyrobiť zlato:



Jadrovou reakciou sa nazývajú procesy prebiehajúce pri interakcii terčového atómového jadra s ostreľujúcou časticou. Výsledné atómové jadro resp. jadrá môžu byť stále alebo rádioaktívne. Ak vznikajú rádioaktívne jadrá hovoríme o aktivácii. Pri jadrovej reakcii sa často emituje aj častica alebo gama-fotón. Jednoduchý typ jadrovej reakcie môžeme všeobecne schematicky vyjadriť:



Ako každý fyzikálny alebo chemický dej aj jadrová reakcia je spojená s energetickými zmenami. Ak musíme častici **a** alebo jadrú **X** dodať energiu, aby vznikol systém **Y + b**, reakcia sa nazýva **endotermická**, ak naopak sa energia uvoľňuje, hovoríme o reakcii **exotermickej**.

3.4.1 Klasifikácia jadrových reakcií

Jadrové reakcie môžeme klasifikovať podľa rôznych hľadísk. Z hľadiska dôležitosti a významu pre našu problematiku je to hľadisko vyvolania príslušnej reakcie:

a) podľa energie častíc

Jadrové reakcie pri nízkych (rádovo MeV), stredných (do 100 MeV) a vysokých (viac ako 1 GeV) energiách. Jednoduché jadrové reakcie (výmenné jadrové reakcie, záchytné reakcie) sa uskutočňujú všeobecne časticami s relatívne malou energiou (do 10 MeV). So zvyšujúcou sa energiou ostreľujúcej častice sa jadrové premeny stávajú zložitejšími, zväčšuje sa počet emitovaných častíc, ktoré môžu byť rôzneho druhu. Sú známe dva druhy zložitých jadrových reakcií: trieštivé a štiepne reakcie.

b) podľa druhu častíc

Tabuľka 2.7

Hlavné typy jadrových reakcií v závislosti od druhu ostreľujúcich častíc

Ostreľujúca častica	Produkty a typy reakcie					
	alfa α	protón p	neutrón n	neutrón 2n	gama γ	štiepenie fotón
neutrón	(n, α)	(n,p)		(n,2n)	(n, γ)	(n,f)
protón	(p, α)	-	(p,n)		(p, γ)	
deuterón	(d, α)	(d,p)	(d,n)			(d,f)
alfa častica		(α ,p)	(α ,n)	(α ,2n)		(α ,f)
gama-fotón	(γ , α)	(γ ,p)	(γ ,n)	(γ ,2n)		

c) podľa druhu atómových jadier, na ktorých reakcia prebieha

- ľahké jadrá ($A < 25$),
- stredne ťažké jadrá ($25 < A < 80$),
- ťažké jadrá ($A > 80$).

d) podľa energetickej bilancie reakcie

- endotermické ($Q < 0$),
- exotermické ($Q > 0$).

*Pravidlo, že **pokiaľ sa niečo môže stať, tak sa to stane**, je jedným zo základných princípov kvantovej mechaniky, oblasti fyziky, ktorá popisuje chovanie častíc mikrosveta pomocou pravdepodobnostných veličín. Pre niektoré druhy jadier existuje určitá pravdepodobnosť, že sa rádioaktívne rozpadnú, pretože jadro sa môže - i keď len na veľmi krátky okamžik - nachádzať v stave, ktorý dovoľuje jednej jeho časti vplyvom vonkajších faktorov pôsobenia alebo zmenou vnútorného usporiadania uniknúť z daného priestoru.*

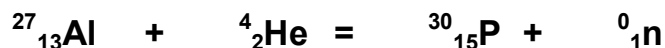
3.4.2 Štiepne jadrové reakcie

Štiepne jadrové reakcie sú založené na princípe štiepenia jadier ťažkých prvkov nukleónmi. Pri tejto reakcii sa jadro roztrhne na dve časti s výrazne odlišnými vlastnosťami od pôvodného jadra. Ak je energia dopadajúcej častice vysoká, zvyšuje sa pravdepodobnosť symetrického štiepenia atómového jadra, pri ktorom vznikajú dve jadrá s približne rovnakými hodnotami. Ak je energia dopadajúcej častice nízka (napr. tepelný neutrón), vzniká nesymetrické štiepenie atómového jadra, pri ktorom obidve novovzniknuté jadrá majú rozdielnu hmotnosť.

Dosiahnuť zasiahnutie a obohatenie jadra nukleónom nie je jednoduché. Pri nepatrných rozmeroch jadier je veľmi ťažké ho „zasiahnuť“. Navyiac, čím je v jadre viac protónov, tým sú silnejšie odpudivé elektrostatické sily vytvárajúce akoby „ochrannú bariéru“ okolo jadra atómu, na druhej strane tak tiež „vyrazenie“ nukleónu z jadra je problematické, pretože sú viazané značnými vnútrojadrovými silami.

V praxi sa jadrové reakcie realizujú ostreľovaním jadier usmerneným zväzkom jadrových častíc (alfa, deutérium, protón). Ak majú tieto častice zasiahnuť jadro a preraziť ochrannú bariéru jadra, musí byť ich dostatočný počet a musia mať veľkú kinetickú energiu (rádovo 10^3 krát vyššiu ako normálne). Používa sa zväzok častíc a ostreľuje sa určitú dobu s tým, že časť častíc postupne jadrá zasiahne.

Tak sa podarilo získať rádioaktívny fosfor bombardovaním jadier hliníka časticami alfa:



pri čom objavil Frederik Joliot-Curie umelú rádioaktivitu (1934). Fosfor sa potom vyžiarení pozitrónu zmení na kremík. K tomu je treba ešte pripomenúť obtiaže vyplývajúce z krátkej doby životnosti jadier hélia (zachycujú voľné elektróny a pod).

Pre bombardovanie jadier je najvhodnejšou časticou neutrón, ktorému to že nemá náboj, umožňuje prenikať do jadier relatívne ľahko, pretože ochranná clona odpudivých elektrostatických síl nie je preňho prekážkou, na druhej strane tieto častice nie je možno ani urýchľovať, ani usmerňovať; preto potrebujeme vhodný rádionuklid s krátkym polčasom rozpadu (veľký počet častíc za časovú jednotku).

Pravdepodobnosť reakcie nukleónu s jadrom atómu je charakterizovaná **účinným prierezom**. Ak vnikne nejaká jadrová častica do materiálu, je pohltaná niektorým jadrom spravidla až po mnohých interakciách (zrážkach) s ostatnými jadrami. Týchto zrážok môže byť veľké množstvo (až 10^{10}) alebo len niekoľko.

V prvom prípade je pohltenie jadrom a nasledujúca jadrová reakcia málo pravdepodobná, v druhom prípade je veľmi pravdepodobná. Ak pôjde o reakciu veľmi pravdepodobnú, je relatívna plocha jadra k zanedbateľným rozmerom bombardujúcej častice veľká, u nepravdepodobných bude relatívne malá. Účinný prierez je u rovnakého jadra rôzny pre rôzne bombardujúce častice a je rôzny pre rôzne energie týchto častíc. Účinný prierez niektorých jadrových reakcií je veľký (10^{-24} m²), iné reakcie sú zase málo pravdepodobné (10^{-36} m²)⁷.

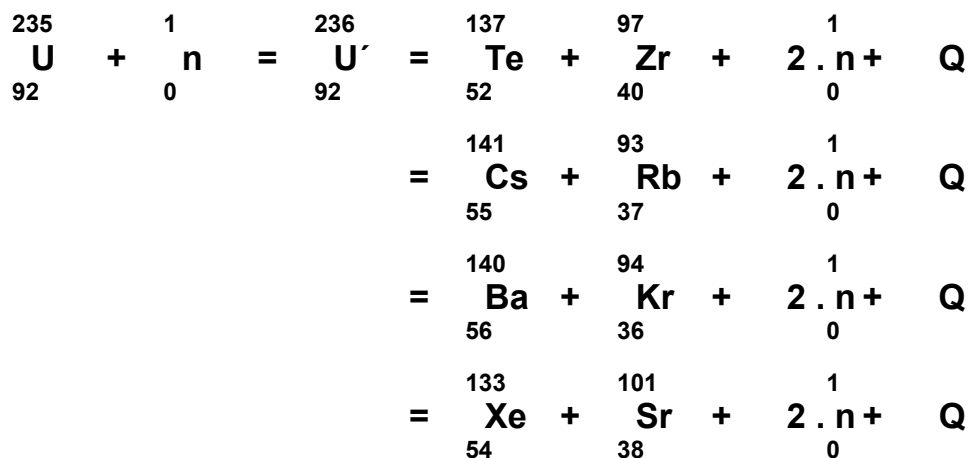
⁷) skutočná plocha prierezu jadra je 10^{-30} až 10^{-29} m².

Pri štiepení ťažkých jadier niektorých prvkov sa uvoľňuje veľké množstvo energie a na jedno rozštiepené jadro 2 až 3 nové rýchle neutróny (napr. pri izotopoch ^{233}U a ^{235}U je to priemerne 2,46 a 2,61, pri izotopoch ^{239}Pu a ^{241}Pu 2,9 a 3,1 rýchleho neutrónu na jedno štiepenie). Tieto nové, tzv. okamžité neutróny umožňujú priebeh reťazovej reakcie.

Štiepna reakcia ako dôsledok zachytenia neutrónu existuje len pri ťažších prvkoch, z ktorých nás predovšetkým zaujíma **tórium** (Th), **urán** (U) a **plutónium** (Pu). Kým určité izotopy týchto prvkov, najmä ^{233}U , ^{235}U a ^{239}Pu sa štiepia tepelnými neutrónmi práve tak ako rýchlymi, na štiepenie iných izotopov ako ^{232}Th a ^{238}U sú potrebné len rýchle neutróny.

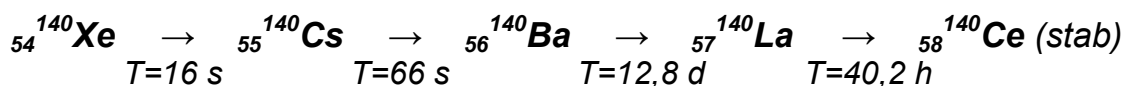
Na základe určitých teoretických úvah možno predpokladať, že jadrá štiepiteľné tepelnými neutrónmi majú vysoké nukleónové číslo a nepárny počet neutrónov. Jediný nuklid nachádzajúci sa v prírode v použiteľnom množstve, ktorý vyhovuje týmto požiadavkám je ^{235}U ($A = 235$, $Z = 92$, $N = 235 - 92 = 143$). Aj umelo pripravený ^{233}U a ^{239}Pu majú nepárny počet neutrónov a sú štiepiteľné tepelnými neutrónmi.

V závislosti na veľkosti energie neutrónu vstupujúceho do štiepnej jadrovej reakcie, sa terčové jadro štiepi na rôzne dvojice prevážne asymetricky, väčšinou vzniká jedno ľahšie a jedno ťažšie jadro napr.:



Tieto dvojice vznikajú s rôznou ale určitou pravdepodobnosťou. Štiepenie prebieha asi 40 spôsobmi, takže vzniká okolo 80 primárnych odštiepkov - štiepných produktov. Vzniklé štiepne produkty patria k prvkom zo stredu periodickej sústavy a budú mať príliš mnoho neutrónov, než aby mohli byť stabilné. Stabilnými sa stanú vyžiareníím jedného alebo viacerých neutrónov, alebo premenou (opakovanými premenami) neutrónu na protón za súčasného vyžiarenia beta-častice. Rozpad beta je často doprevádzaný gama žiarením.

Vzniklé stroncium a xenón tvoria premenné rady v priemere s 3-4 beta premenami, počas ktorých sa stronciový rad rádionuklidov stabilizuje na zirkóne a xenónový rad na cére. Príklad premien, ktoré nastanú pre xenónový rad :



Celý proces je doprevádzaný tokom gama žiarenia s energiou 0,018 - 10 MeV.

Štiepne neutróny vznikajú pri každom rozštiepení ťažkého jadra v počte 2 až 3. Ak počítame len s dvoma neutrónmi v prvom štiepení (1. generácia), ktoré by rozštiepili 2 ďalšie jadrá za vzniku 4 neutrónov (2. generácia), potom v tretej generácii by vzniklo 8 neutrónov a 4 rozštiepené jadrá atď. Reakcia, ktorá prebieha podľa tejto schémy sa teda šíri lavínovito reťazovým mechanizmom. To je ale ideálny prípad, ktorý v skutočnosti nemôže nastať, pretože nie každý neutrón sa zúčastní vlastnej štiepnej reakcie. Osud neutrónov vzniklých štiepením je v reálnom živote v podstate variantný:

- a) absorpcia neutrónu jadrom, vedúca k vlastnej štiepnej reakcii (n , fotón),
- b) zachytenie neutrónu jadrom, nevedúca ku štiepeniu, ale inej reakcii (n , gama),
- c) absorpcia neutrónu v atómových jadrách iných prvkov (nečistôt),
v produktoch štiepenia a ostatných materiáloch (konštrukcia),
- d) difúzia neutrónov a ich únik povrchom z reakčného systému.

Aby bolo možné určiť ako rýchlo bude postupovať reťazová reakcia v ľubovoľnom kúsku štiepiteľného materiálu, zaviedol sa **multiplikačný faktor k** (koeficient množenia neutrónov). Tento faktor vyjadruje pomer počtu neutrónov vzniknutých štiepením k celkovému počtu neutrónov absorbovaných jadrami sústavy za istý časový interval.

- $k < 1$** počet neutrónov a s ním rýchlosť štiepenia sa v sústave znižuje, reťazová reakcia sa po istom čase zastaví.
- $k = 1$** reťazová reakcia prebieha stacionárne, počet neutrónov a rýchlosť štiepenia jadier sa časom nemenia.
- $k > 1$** počet neutrónov v sústave, t.j. hustota neutrónového toku a spolu s ním aj rýchlosť štiepenia jadier sa bude ustavične zväčšovať, exponenciálny rozvoj.

Reťazová reakcia prebieha podľa exponenciálneho vzťahu:

$$n = n_0 \cdot e^{(t \cdot (k - 1)/l)}$$

- kde
- n** - počet neutrónov v čase t
 - n_0** - počiatočný počet neutrónov
 - k** - multiplikačný koeficient
 - l** - stredný čas medzi dvoma za sebou nasledujúcimi generáciami

Hlavnou podmienkou tohoto predpokladu je, aby multiplikačný koeficient bol $k > 1$, to znamená, aby počet nasledujúcich štiepení bol väčší ako počet predchádzajúcich. Vlastná hodnota tohoto koeficientu závisí na:

- množstve štiepiteľnej látky a jej čistote,
- geometrickom tvare štiepnej látky,
- hustote látky a ostatných dôležitých faktoroch.

Štiepna reťazová reakcia môže prebiehať lavínovito len v dostatočne veľkom množstve štiepnej látky. U menšieho množstva sa buď nerozvinie alebo uhasne, pretože väčšia časť neutrónov vyletí mimo túto látku, ďalšia časť neutrónov je pohltená jadrami atómov prímеси i štiepnej látky, bez toho, že by vyvolala štiepenie.

Najmenšie množstvo štiepnej látky, u ktorého môže dôjsť k reťazovej štiepnej reakcii výbušného charakteru sa nazýva **kritické množstvo** (kritická hmotnosť). Pri guľovom tvare štiepateľného materiálu vytvorenom len jadrovým palivom je kritické množstvo pre:

$$^{235}\text{U} = 50 \text{ kg}, \quad ^{239}\text{Pu} = 10 \text{ kg}, \quad ^{249}\text{Cf} = 1,5 \text{ kg}$$

Obklopením gule vhodným reflektorom sa toto kritické množstvo znižuje na menej než jednu polovicu.

Tabuľka 2.8

Kritické hmotnosti pre materiál o normálnej hustote

Náplň	Reflektor		Kritické množstvo (kg)
	materiál	hrúbka (cm)	
urán 235	-	-	49
	berýlium	10	14
	prírodný urán	10	18
plutónium 239	-	-	12,5
	berýlium	5,2	5,4
		32	2,5
	prírodný urán	5	6,4
		24	4,4

Podstata mechanizmu štiepnej jadrovej bomby je v prudkom priblížení podkritických kusov štiepateľného materiálu. Výbuch, ktorý potom nastane sa zakladá na lavíne rýchlych neutrónov, ktoré rýchlosťou 15 - 20 000 km/s rozštiepia jadrá atómov a vysielajú ďalšie neutróny. Neutrón má v bombe životnosť jednu miliardtinu (10^{-9}) sekundy a celý výbuch trvá veľmi malý zlomok sekundy, počas ktorého teplota vystúpi na niekoľko miliónov stupňov Celzia a celá bomba sa roztriešti.

Na štiepnej jadrovej reakcii sa zúčastní len malá časť jadrovej náplne, asi jedna desatina, zvyšok sa teplom vyparí. V súčasnej štiepnej munícii prebehne do výbuchu asi 56 štiepných generácií za menej než 1 μs , rozhodujúcich posledných 5 generácií, ktoré prebehnú za dobu približne 0,05 μs uvoľní cca 99 % energie.

Je rada spôsobov, ako sa dosahuje rozdelenie štiepnej látky v jadrovej munícii na podkritické množstvo (časti) a tiež, akým spôsobom sa vytvára nadkritický stav jadrovej výbušniny, ktorý je nutný k štiepnej jadrovej výbušnej reakcii - výbuchu. V súčasnosti sa používajú dva základné spôsoby a to hlavňový (explozívny) typ a implozívny (zvýšenie hustoty) typ.

U **hlavňového typu** sa nadkritické množstvo dosahuje spojením dvoch alebo viacerých podkritických množstiev, ktoré sú proti sebe vystrelené pomocou klasickej výbušniny. U **implozívneho typu** sa nadkritické množstvo dosahuje zmenšením objemu telesa, ktoré je vzhľadom ku svojmu povrchu podkritické. Implozívny typ je efektívnejší, pretože pri stlačení sa dosahuje vysokej špecifickej hmotnosti jadrovej náplne. Hlavňový typ nie je zase tak citlivý na nárazy a dovoľuje menšie rozmery.

3.4.3 Termonukleárne jadrové reakcie

Pri reakciách jadrovej syntézy vzniká spojenie (fúzia, kondenzácia) ľahkých atómových jadier pri vzniku ťažšieho výsledného jadra a prípadnej emisii častice. Schematicky to môžeme vyjadriť rovnicou:



Pretože jadrové syntézy sa môžu uskutočňovať len pri veľmi vysokých teplotách, nazývame ich **termonukleárne** (termojadrové) reakcie, pre ktoré je charakteristické:

- uvolnenie veľkého množstva energie (do 17 MeV) pri syntéze každého jadra a rýchlych neutrónov,
- spotreba nízkeho množstva energie (okolo 0,1 MeV) na každé syntetizované jadro,
- produkt reakcie - syntetizované jadrá nie sú rádioaktívne.

Oproti štípnym jadrovým náplňiam neexistuje u termonukleárnej náplne kritické množstvo. Termonukleárna náplň môže byť teoreticky neobmedzená, preto môže mať ďaleko väčšiu mohutnosť výbuchu a dávať omnoho vyššie ničivé účinky ako štípná.

Jadrovú syntézu umožňuje uskutočniť tepelný pohyb. Pri veľmi vysokých teplotách (niekoľko miliónov alebo desiatok miliónov stupňov Celzia) je vodík v stave plazmy, čo je vlastne úplne ionizovaný plyn. Atómové jadrá, ktoré sa pohybujú veľmi rýchlo sa navzájom približia. Po prekonaní priehrady elektrostatických odpudivých síl sa jadrá dotknú a jadrové sily vyvolajú fúziu obidvoch jadier. Uskutoční sa syntéza ťažšieho jadra z dvoch ľahších jadier.

Zloženie termonukleárnej výbušniny bude záležať na tom, ktorú z možných zlučovacích reakcií zvolíme. Pri voľbe termonukleárnej náplne musíme vychádzať z niekoľkých predpokladov:

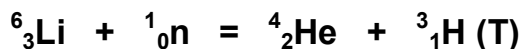
- teplota dosahovaná v iniciátore musí mať rádovo 10^7 stupňov Celzia, preto musíme zvoliť teda také izotopy ľahkých prvkov, ktoré sú v týchto teplotách schopné syntetickej reakcie.
- maximálnej teploty sa dosahuje na dobu rádovo 10^{-6} s, preto musíme zvoliť takú reakciu, ktorá prebehne v oblasti dosahovaných teplôt dostatočne rýchlo.
- musíme zvoliť takú reakciu, ktorá má čo najväčší energetický efekt.

Najlepšie dané podmienky spĺňajú izotopy vodíka - deutérium a trítium. Preto je to základná zložka všetkých termonukleárnych náplní. Použitie deutéria a trícia však prináša určité obtiaže. Jednou z nich je zložitá výroba trícia, problematika jeho skladovania - je rádioaktívny ($T = 12$ rokov), skvapalnený vodík vyžaduje zložitú skladovacie zariadenia (bod topenia $-259,2$ °C, bod varu $-252,8$ °C).

Východiskom sa ukazuje použitie izotopov vodíka vo forme hydridov (napr. hydrid lítium - LiD - ľahká kryštalická látka, dobre skladovateľná, chemicky veľmi aktívna, ktorej výroba je veľmi jednoduchá), pretože lítium má ešte určité výhody oproti iným prvkom. V munícii nezaberá tak veľký priestor ako stlačené deutérium s trítium, nevyžaduje ani obal alebo zariadenie na ich uloženie.

Termonukleárna reakcia je zahájená po vytvorení potrebných podmienok výbuchom štiepnej nálož. Po dodaní potrebného (iniciačného) množstva energie a zahájení syntetickej reakcie, reakcia sama produkuje také množstvo energie, ktoré postačuje k zreagovaniu celej náplne - pokračuje samovoľne.

Pri začiatku priebehu termonukleárnej reakcie sa uvoľňujú neutróny, ktoré môžu reagovať s lítiom:



Takto vzniká trítium priamo v termonukleárnej náplni a odpadá problém s výrobou a skladovaním. Vzniklé trítium potom reaguje s deutériom čím sa uvoľní ďalšia energia, vzrastie teplota a môžu prebiehať ďalšie reakcie. Hlavnou zložkou termonukleárnej výbušniny bude zrejme ${}^6\text{Li}^2\text{H}$.

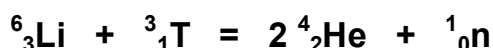
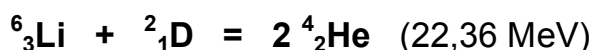
Pre urýchlenie reakcie a rýchle zvýšenie teploty môže byť štiepna (počínová) náplň obklopená malým množstvom tzv. termonukleárneho detonátora (napr. vo forme ${}^6\text{Li}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}^3\text{H}$). V detonátore prebiehajú hlavne reakcie medzi deutériom a trítium.



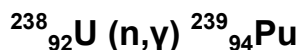
Pri syntéze jadier hélia z jadier deutéria a trícia sa uvoľňuje veľké množstvo rýchlych neutrónov (asi 30x viac ako pri štiepení rovnakého množstva uránu alebo plutónia) s energiou mnohonásobne väčšou. Súčasne s uvedenou reakciou v detonátore prebieha pôsobením štiepných a termonukleárných neutrónov reakcia s lítiom.



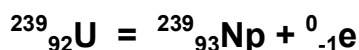
Teplota pri tom vzrastie na hodnoty rádovo 10^8 °C takže potom môžu prebiehať i ďalšie reakcie ako:



Uvoľnené neutróny s vysokou energetickou hodnotou sa využívajú k zvýšeniu účinkov výbuchu v trojfázovej vodíko-uránovej munícii s ${}^{238}_{92}\text{U}^8$, pretože sú schopné tento urán nielen štiepiť (pomalé neutróny ho neštiepia), ale v značnej miere, niekedy prevažujúcej, k jeho premene na plutónium. Premena časti ${}^{238}_{92}\text{U}$ na ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ prebieha v palivových článkoch jadrových reaktorov podľa schémy:



Vlastný proces prebieha v dvoch fázach, v prvej je pôsobenie pomalými neutrónmi na ${}^{238}\text{U}$ a vznik ${}^{239}\text{U}$, v druhom postupná premena ${}^{239}\text{U}$ na ${}^{239}\text{Np}$ a ${}^{239}\text{Pu}$ vyžiarovaním gama žiarenia (tok elektrónov) z jadra:



⁸⁾ prírodný urán, urán ktorý zostáva pri výrobe paliva pre jadrové elektrárne, alebo vyhorené palivo z jadrových elektrární.

Termonukleárne (termojadrové) zbrane z hľadiska prebiehajúcich fyzikálnych procesov ako aj charakteristík jednotlivých fáz pri výbuchu jadrovej nálože delíme na:

- jednofázové,
- dvojfázové,
- trojfázové.

U **jednofázovej** termonukleárnej jadrovej reakcie iniciačná energia sa vytvára následkom teplôt dosiahnutých iným spôsobom ako štiepnou reakciou (vhodným usporiadaním TNT je možno dosiahnuť teplotu až 10^6 °C, laserom a pod.). Splodiny výbušnej reakcie neobsahujú také množstvo rádioaktívnych látok.

U **dvojfázovej** termonukleárnej jadrovej reakcie sa teplota reakcie dosahuje štiepnou reakciou. Iniciátor je obklopený termonukleárnou výbušninou, ktorej množstvo nie je obmedzené kritickou veľkosťou. Hovoríme o zbrani typu F-F, kde sú jednotlivé fázy:

1. fáza - štiepna reakcia jadier (asi 10^5 až $3 \cdot 10^7$ °K) - **fission**
2. fáza - syntetická reakcia jadier (asi $5 \cdot 10^8$ °K) - **fusion**

Zvýšenie energie výbuchu je možno dosiahnuť tiež využitím štiepnej jadrovej reakcie u **trojfázovej** jadrovej náplne. Obal obklopujúci vlastnú termonukleárnu náplň, vytvorený z ^{238}U , sa štiepi neutrónmi o vysokej energii (nad 1 MeV), vznikajúcimi pri termonukleárnej reakcii. Teoretické predpoklady uvádzajú, že v takejto zbrani je možné získať až 80 % energie štiepením ^{238}U .

Z hľadiska rádioaktívneho zamorenia sa niekedy nazýva dvojfázová náplň „čistá“ a trojfázová „nečistá“. To preto, že rádioaktívny odpad - štiepne produkty - je u dvojfázovej náplne pomerne malý, neúmerný energii výbuchu (oproti náplni štiepnej). U trojfázovej náplne bude množstvo štiepných produktov zhruba ekvivalentné energii výbuchu (mohutnosti) a rádioaktívne zamorenie pomerne značné.

V súčasnej dobe sa považuje za termonukleárnu zbraň považuje zbraň trojfázového typu F-F-F (fission-fusion-fission), kde pri explózii je polovica uvolnenej energie získaná zo štiepných reakcií. Uvolnená aktivita je asi 1000 krát vyššia ako u klasickej štiepnej jadrovej zbrane. Rýchle neutróny vedú nielen k štiepeniu ^{238}U , ale v značnej miere, niekedy prevažujúcej, k jeho premene na plutónium, čím sa preto považuje za veľmi „nečistú“.

Ale žiadna náplň nie je celkom „čistá“. I keď produkty termojadrovej syntézy - jadrá hélia a pod. sú nerádioaktívne, trítium nezreagované alebo vznikajúce z deutéria podlieha beta rozpadu. Neutróny vznikajúce v termonukleárnej reakcii sú príčinou tzv. indukovanej rádioaktivity a to ako v pôde a vode, tak i vo vzduchu menia vzdušný dusík na rádioaktívny uhlík



ktorý sa po oxidácii na CO_2 dostáva do obehu potravinového reťazca (rastlina-zviera-človek), kde postupne pôsobí na jednotlivé zložky ako beta žiarič (β^-).

3.4.4 Neutrónové zbrane

Sú to modifikované malé dvojfázové termonukleárne náplne s tritolovým ekvivalentom maximálne do 5 až 10 kt, hlavne sa predpokladajú tritolové ekvivalenty 1 až 2 kt a menšie. Náplň neutrónovej zbrane je konštruovaná tak, aby energia štiepnej náplne (1. fáza) bola čo najmenšia. Je požiadavka, aby to nebolo viac ako 10 % celkovej energie výbuchu.

Hlavným ničivým faktorom neutrónovej zbrane je prenikavá radiácia. Ak zanedbáme žiarenie gama zo štiepnej náplne, produkuje neutrónová náplň pri výbuchu len neutróny o energia cca 14 MeV. Tieto neutróny ale po svojej dráhe reagujú s okolitým prostredím, pričom vzniká žiarenie gama. Tesne u centra výbuchu bude prenikavá radiácia tvorená neutrónmi, ale čím ďalej od výbuchu bude narastať žiarenie gama, až 1200 - 1300 m od centra výbuchu bude žiarenie gama prevládať. Ostatné ničivé faktory neutrónovej zbrane sú relatívne malé.

Tabuľka 2.9

**Dávky neutrónov a sekundárneho gama žiarenia
v rôznej vzdialenosti od centra výbuchu**

Vzdialenosť (m)	D _n (Gy)	D _y (Gy)	D = D _n + D _y (Gy)	D _n /D (%)
140	2,9.10 ⁴	5,5.10 ³	3,5.10 ⁴	84
275	5,0.10 ⁴	1,3.10 ³	6,3.10 ³	79
550	4,5.10 ²	1,6.10 ²	6,1.10 ²	73
825	63	32	94	66
1100	10	6,9	17	59
1375	1,8	1,8	3,6	50
1830	0,12	0,23	0,35	34
2290	9,5.10 ⁻³	3,4.10 ⁻²	4,3.10 ⁻²	22
3200	7,0.10 ⁻⁵	8,9.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁴	7

3.4.5 Gama zbrane

Nálož s riadenou (umelou) aktiváciou je založená na princípe syntézy ľahkých jadier. Konštrukčne je usporiadaná tak, že časť (napr. obal) je vyrobená z materiálu takých nuklidov, v ktorých emisia rýchlych neutrónov emitovaných pri termonukleárnom výbuchu indukuje aktivitu takého polčasu rozpadu, aký je potrebný pre dosiahnutie požadovanej intenzity ionizujúceho žiarenia. Ožiarené nuklidy (teraz už rádionuklidy) sú pri explózii rozhodene do okolia a spôsobujú zamorenie takého stupňa, ktorý niekoľkokrát prevyšuje stupeň zamorenia spôsobený štiepnou jadrovou náložou rovnakej mohutnosti.

Pretože jedným z najvhodnejších prvkov je kobalt, ktorého nuklid ⁶⁰Co (T=5,27 r) má požadované vlastnosti, je táto nálož niekedy nazývaná kobaltovou. Ďalším vhodným prvkom sa ukazuje zinok, ktorý vytvára nuklid ⁶⁵Zn s polčasom rozpadu 250 dní, ktorý je beta žiaričom a dáva tvrdé žiarenie gama o vysokej energii.

3.5 VPLYV RÁDIOAKTÍVNYCH LÁTOK

Po celú dobu svojej existencie je ľudstvo vystavené malým dávkam ionizujúceho žiarenia z prírodných rádioaktívnych nuklidov a kozmického žiarenia, v novodobej histórii nastupuje postupne vplyv umelých zdrojov, ktoré sa stali súčasťou mnohých ľudských činností. Na rozdiel od prírodného ožiarovania, ktorému je vystavené, i keď nerovnomerne, celé ľudstvo, pôsobí žiarenie z umelých zdrojov väčšinou len na menšie skupiny ľudí.

Do ľudského organizmu sa rádioaktívne nuklidy dostávajú za normálnych okolností dýchaním a príjmom potravy a nápojov. Dýchaním sa do organizmu dostávajú plynné rádioaktívne látky (izotopy vzácnych plynov, vodná para - $^3\text{H}^1\text{HO}$, oxid uhličitý - $^{14}\text{CO}_2$, prípadne niektoré chemické formy rádioaktívnych izotopov jódu) a rádioaktívne aerosóly (malé prachové častice so zachytenými rádioaktívnymi nuklidmi, častice väčšie ako $10\ \mu\text{m}$ sa zachytia v horných cestách dýchacích, častice o rozmeroch $1 - 5\ \mu\text{m}$ prenikajú až do pľúc.

Do potravy sa rádioaktívne nuklidy dostávajú z rastlín a živočíchov. Rádioaktivita rastlín pochádza väčšinou z pôdy, usadzovanie rádioaktívnych nuklidov na nadzemných častiach rastlín je významné len v prípade havárií jadrových zariadení, prípadne pri jadrových výbuchoch. Nuklidy ^{14}C a ^3H sú rastlinami prijímané z atmosféry, ostatné rádionuklidy z pôdy. Rastliny pritom nerozlišujú medzi rádioaktívnymi a neaktívnymi iónmi rovnakého prvku a často ani medzi iónmi chemicky podobnými. Preto sú napríklad ióny ^{40}K prijímané rovnako ako neaktívne draselné ióny, ióny ^{90}Sr a ^{226}Ra podobne ako Ca , ^{137}Cs podobne ako K . Príjem takýchto rádioaktívnych iónov závisí preto tiež na obsahu príslušného podobného neaktívneho iónu v pôde.

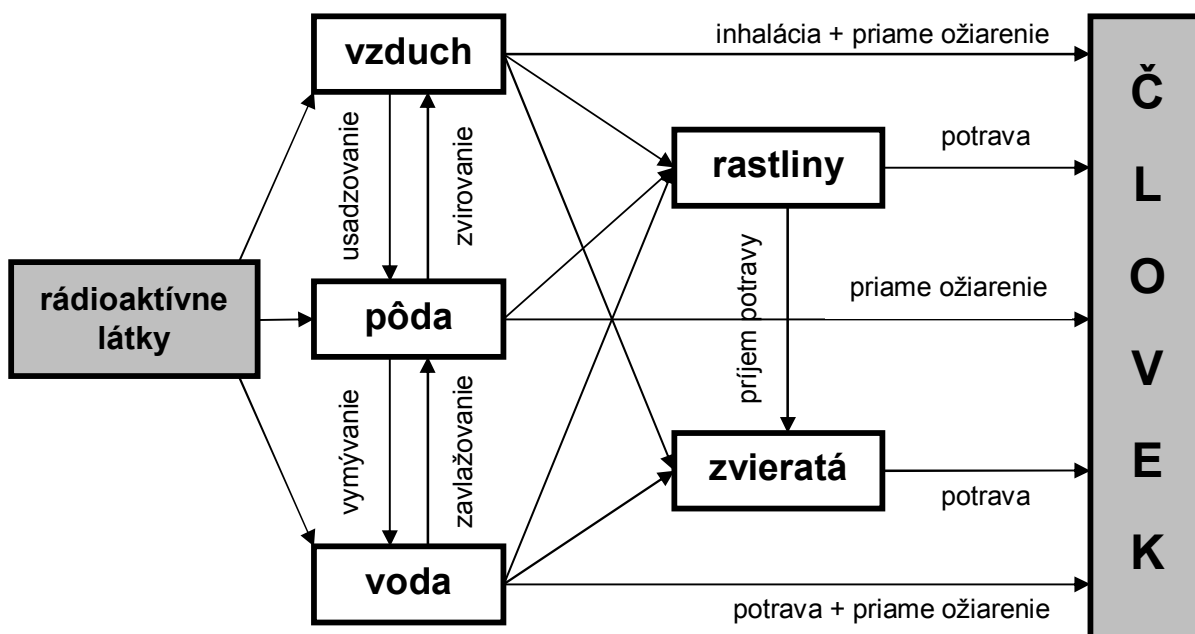


Schéma 2.7 Pôsobenie rádioaktívnych nuklidov v životnom prostredí na človeka.

Niektoré rastliny majú schopnosť rádioaktívne nuklidy zhromažďovať z prijímanej vody, podobne aj niektorí jedinci živočíšnej ríše akumulujú rádioaktívne nuklidy z vody alebo rastlín. Táto skutočnosť sa vyjadruje pomerom príslušných merných aktivít ako tzv. **bioakmulačný faktor**⁹.

Rádioaktívne nuklidy, či už prírodné alebo umelé, spôsobujú podľa svojej povahy, výskytu a pohybu v jednotlivých zložkách životného prostredia vonkajšie alebo vnútorné ožiarenie. V odbornej literatúre sú uvádzané priemerné celosvetové ročné ekvivalentné dávky, ktoré v človeku spôsobujú jednotlivé prírodné a umelé zdroje ionizujúceho žiarenia, čo predstavuje približne 2,4 mSv. Nasledujúca tabuľka uvádza, ako sa tieto zdroje podieľajú na celkovom ožiarení človeka za rok.

Tabuľka 2.10

Ožiarenie človeka zdrojmi ionizujúceho žiarenia

Zdroj žiarenia	Dávka (μ Sv)	Podiel (%)
kozmicke žiarenie	380	12,50
kozmogénne rádionuklidy	12	0,40
prírodné rádionuklidy - vonkajšie ožiarenie ^a	460	15,00
prírodné rádionuklidy - vnútorné ožiarenie ^a	230	7,50
radón a produkty jeho premeny	1300	43,10
* ťažobný priemysel ^b	24	0,75
* jadrová energetika ^c	8	0,20
* výroba rádionuklidov	0,8	0,02
rádioaktívne spotrebné produkty	0,4	0,01
lekárska aplikácia	660	20,60

Poznámka:

- * špecifická skupina ľudí pracujúca v danej oblasti,
- ^{a)} mimo radón a produkty jeho premeny,
- ^{b)} radón a produkty jeho premeny z ťažby a spaľovania fosílnych palív a z ťažby a spracovania fosfátových hnojív,
- ^{c)} nezahrňuje ožiarenie v prípadoch havárií jadrových zariadení.

Pri vnútornom ožiarení závisí poškodenie predovšetkým na absorbovanej dávke žiarenia, ktorú rádioaktívny nuklid v organizme vyvolá, a tá zase na jeho aktivite v danom orgáne, tkanive alebo celom tele. Prírodné rádionuklidy (⁴⁰K, ¹⁴C, ²²⁶Ra) sú v ľudskom organizme prítomné v stálej koncentrácii, pretože je tu vytvorená rovnováha medzi ich príjmom potravou a vylučovaním. V prípade jednorázového príjmu rádioaktívneho nuklidu, k čomu dochádza hlavne pri zlej manipulácii s rádioaktívnymi látkami, pri haváriách jadrových zariadení alebo jadrových výbuchoch je podstatné ako rýchlo aktivita rádionuklidu od okamžiku príjmu klesá, ale aj od jeho metabolického vylučovania z organizmu.

⁹⁾ napr. pre prechod ¹³⁷Cs z vody do rýb alebo rastlín sa uvádza hodnota 200 resp. 500 l/kg.

Z ekologického hľadiska môžeme rádionuklidy rozdeliť do troch skupín. Jednu skupinu tvoria prírodné rádionuklidy, druhú rádioizotopy metabolicky dôležitých prvkov a tretiu skupinu tvoria rádionuklidy vznikajúce pri štiepení uránu a niektorých ďalších prvkov. Zástupcovia tretej skupiny s výnimkou ^{131}I , nie sú síce metabolicky významní, ale sú nebezpeční, pretože vznikajú vo veľkom množstve ako pri jadrových výbuchoch, tak aj pri riadenom uvoľňovaní jadrovej energie. Tieto rádionuklidy ľahko vstupujú do biochemických cyklov a mnohé z nich, hlavne rádioaktívne stroncium a cézium sa koncentrujú v potravinovom reťazci. Prehľad ekologicky významných rádionuklidov prináša nasledujúca tabuľka:

Tabuľka 2.11

Tabuľka ekologicky významných rádionuklidov

Skupina	Rádionuklid	Ekologický význam
I	^{235}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{14}C	V prírode sa vyskytujúce rádionuklidy, ktoré prispievajú k radiačnému pozadiu
II	^{45}Ca , ^{14}C , ^{60}Co , ^{64}Cu , ^{131}I , ^{59}Fe , ^3H , ^{54}Mn , ^{32}P , ^{42}K , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{35}S , ^{65}Zn	Rádioizotopy prvkov, ktoré sú dôležitými zložkami organizmov
III	^{90}Sr + dcérske produkty ^{90}Y a ^{89}Sr , ^{137}Cs + dcérske produkty ^{137}Ba a ^{134}Cs , ^{144}Ce + dcérske produkty ^{144}Pr a ^{141}Ce , ^{106}Ru + dcérske produkty ^{106}Rh a ^{103}Ru , ^{95}Zr + dcérske produkty ^{95}Nb , ^{140}Ba + dcérske produkty ^{140}La , ^{147}Nd + dcérske produkty ^{147}Pm , ^{91}Y , ^{239}Pu , ^{131}I ,	významné štiepne rádionuklidy z rádioaktívneho spadajú, prípadne ako odpad

Riziko z vnútorného ožiarovania nie je pre všetky rádioaktívne nuklidy rovnaké. Pri vnútornom ožiarovaní nedochádza spravidla k rovnomernému ožiarovaniu všetkých orgánov, pretože niektoré rádioaktívne nuklidy sa v organizme nerozptyľujú, ale selektívne sa hromadia v určitom orgáne alebo tkanive. Orgán, v ktorom rádioaktívny nuklid vyvolá najväčšie ožiarovanie sa nazýva **kritický orgán** pre daný nuklid (štitná žľaza pre jód).

Závisí na fyzikálnych vlastnostiach nuklidu (druh a energia žiarenia, polčas premeny), jeho chemickej forme (prítomnosť v organizme v rozpustnej alebo nerozpustnej forme) a na jeho biochemických a fyziologických vlastnostiach (rýchlosť vstrebávania, spôsob ukladania a rýchlosť vylučovania). Súbor fyzikálnych, chemických a biologických vlastností rádioaktívneho nuklidu určuje jeho radiotoxicitu.

Radiotoxicita jednotlivých rádionuklidov závisí najmä od polčasu premeny, druhu a energie žiarenia, metabolizmu prvku a biologickej rýchlosti vylučovania rádionuklidu z organizmu. Platí, že rádionuklid je tým nebezpečnejší, čím má dlhší polčas premeny, čím má žiarenie vyššiu ionizačnú schopnosť, čím selektívnejšie sa ukladá v určitej časti organizmu.

V hodnotení celkového rizika sa potom rádiotoxicita kombinuje s potenciálnym rizikom vonkajšieho ožiarenia z ďalších rádioaktívnych nuklidov. Z toho hľadiska sa rozdeľujú rádionuklidy do štyroch skupín rádiotoxicity – príloha č. 2.

Ožiarenie obyvateľstva z umelých zdrojov žiarenia je za normálnych okolností veľmi nízke. V mnohých štátoch existujú legislatívne normy, ktoré stanovujú princípy **radiačnej ochrany** s cieľom čo najviac obmedziť ožiarenie živej sily z umelých zdrojov. Tieto normy vychádzajú z doporučenia medzinárodnej komisie pre ochranu pred žiarením a stanovujú **limity ožiarenia**, ktorých prekročenie je neprípustné. Týmito limitmi sú prevádzkovatelia umelých zdrojov ionizujúceho žiarenia zaviazaní viesť prevádzku zariadenia tak, aby tieto hodnoty neboli prekročené.

Všeobecne **základný limit pre obyvateľstvo** stanovuje, že súčet efektívnych dávok z vnútorného a vonkajšieho ožiarenia z umelých zdrojov žiarenia nesmie byť väčší ako 1 mSv za kalendárny rok. Do tejto hodnoty sa nezapočítajú dávky z prípadného lekárskeho ožiarenia. Pre osoby, ktoré s ionizujúcim žiarením prichádzajú do styku v rámci svojich pracovných povinností, je tzv. **základný limit pre pracovníkov**, ktorý stanovuje, že súčet efektívnych dávok nesmie byť väčší ako 50 mSv za kalendárny rok a súčasne nie väčší ako 100 mSv za päť po sebe idúcich kalendárnych rokov. Pre týchto pracovníkov sú okrem toho stanovené tzv. **odvodené limity**, ktoré sa týkajú ožiarenia v rôznych hĺbkach pod povrchom pokožky a príjmov rádioaktívnych nuklidov nápoji a inhaláciou.

Zvláštnosťou celej tejto problematiky sú rádioaktívne látky, ktoré sú vyrobené a laborované v zbraňových systémoch jednotlivých krajín (jadrové zbrane), prípadne skladované v jednotlivých úložiskách pre možné bojové použitie.

Podľa medzinárodnej dohody o nešírení jadrových zbraní, ktorú doposiaľ ratifikovalo viac ako sto štátov, sa štáty vlastniace jadrové zbrane zaviazali, že ich neposkytnú iným štátom, štáty, ktoré jadrové zbrane nevlastnia sa zaviazali, že o ich získanie sa nebudú usilovať a všetky štáty spoločne súhlasili s tým, že kontrolu plnenia zmluvy bude prevádzať MAAE na základe bilaterálnych zmlúv medzi MAAE a signatárskymi štátmi.

V posledných rokoch, najmä od roku 1993, keď USA a SNŠ (Rusko, Ukrajina a Kazachstan ako držiteľia jadrových prostriedkov prevzali tieto záväzky) podpísali zmluvu START-2 o znížení počtu strategických zbraní, sa dostáva do popredia otázka ďalšieho osudu vojenského štiepneho materiálu¹⁰. Podľa zmluvy sa demontuje zhruba 2 000 hlavíc ročne a odhaduje sa, že v roku 2003 tak vznikla zásoba prebytočných cca 2 000 ton vysoko obohateného uránu a asi 200 ton plutónia. Hlavné riziko spočíva v tom, že daný materiál by sa mohol dostať do nepovolaných rúk (štáty, organizácie alebo jednotlivci), ktoré by ich mohli zneužiť k zhotoveniu vlastných jadrových zbraní, prípadne ako náplň tzv. „špinavých“ jadrových výbušných systémov.

Jednou z možností, ako vojenský štiepny materiál zlikvidovať, je jeho použitie ako palivo pre jadrové reaktory. Palivo by sa získalo zmiešaním plutónia alebo vysoko obohateného uránu s prírodným alebo ochudobneným uránom pre prevádzku v reaktoroch, ktoré používajú zmiešané palivo vyrobené prepracovaním vyhoreného paliva.

¹⁰) v roku 1991 mali USA 19 000 a bývalý ZSSR 32 000 jadrových hlavíc.

4 OTRAVNÉ LÁTKY

4.1 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

Medzi najdôležitejšie fyzikálne vlastnosti otravných látok (OL), ktoré majú vojensko-technický význam patrí bod topenia, bod varu, výparnosť, hutnosť pár, výparnosť a rozpustnosť.

Bod topenia

teplota, pri ktorej látka prechádza zo skupenstva pevného do kvapalného.

Bod topenia ovplyvňuje vhodnosť použitia otravných látok a jej perzistenciu na teréne. Otravné látky sú za normálnych podmienok kvapaliny s bodom tuhnutia v rozmedzí od $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teplote tuhnutia klesá vzhľadom k nízkej výparnosti účinnosť otravnej látky v zamorenom teréne na minimum, alebo (destilovaný yperit) za nízkej teploty môže dôjsť k jej stuhnutiu a tým znemožneniu jej rozptýlenia vo forme kvapalného aerosólu v danej oblasti.

Bod varu

teplota, pri ktorej látka prechádza zo skupenstva kvapalného do plynného.

Bod varu ovplyvňuje vhodnosť použitia otravných látok z hľadiska možnosti vytvárania potrebných bojových koncentrácií v záujmovom priestore (priestore cieľa). Otravné látky sú za normálnych podmienok kvapaliny s bodom varu v rozmedzí od $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ a viac. Podľa hodnoty bodu varu je možno približne určiť prchavosť otravných látok. Prchavé otravné látky majú bod varu menší ako $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, trvalé otravné látky majú bod varu väčší ako $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výparnosť

hodnota vyjadrujúca množstvo pevnej alebo kvapalnej látky, ktorá za danej teploty prechádza do skupenstva plynného.

Výparnosť sa vyjadruje v mg pár otravnej látky v 1 m^3 zamoreného vzduchu. Táto hodnota závisí na rade faktorov ako je teplota a tlak prostredia apod. Pre približný odhad kolísania výparnosti v závislosti na teplote je odvodená závislosť, podľa ktorej sa výparnosť zdvojnásobí, ak dôjde ku zvýšeniu teploty prostredia o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hutnosť

hodnota vyjadrujúca pomer špecifickej hmotnosti látky v skupenstve plynnom a špecifickej hmotnosti vzduchu za rovnakých atmosférických podmienok.

Hutnosť pár otravnej látky umožňuje urobiť závery o stálosti na teréne, pri zamorení nižších vrstiev atmosféry. Látky s nízkou hutnosťou pár, prípadne menšou ako 1, ľahko stúpajú do horných vrstiev atmosféry, nie je možno vytvoriť vhodnú koncentráciu otravnej látky v záujmovom priestore.

Z ďalších fyzikálnych vlastností nás zaujíma **rozpustnosť** - vlastnosť OL dôležitá ako pri určovaní jednotlivých druhov OL, tak i pri odmorovaní, **bod vzplanutia** - údaj dôležitý z hľadiska použitia OL vo výbušnej munícii a **tepelný rozklad** - údaj pre efektívnosť použitia OL v prostriedkoch chemického napadnutia.

4.2 CHEMICKÉ VLASTNOSTI

Otravné látky ako všetky ostatné chemické látky alebo zlúčeniny sú charakteristické určitými chemickými vlastnosťami. Z hľadiska použiteľnosti v poľných podmienkach sú na otravné látky kladené určité požiadavky ako: stálosť voči oxidačným činidlám, najmä voči vzdušnému kyslíku, reakčná stabilita voči vode a vodným parám, tepelná stabilita a nulová reaktivita na obalové látky. Z tohoto dôvodu k najdôležitejším chemickým vlastnostiam otravných látok patrí oxidácia, hydrolýza, reaktivita a stabilita v prostredí.

Oxidácia

reakcia, pri ktorej látka reaguje s oxidačným činidlom za vzniku nových produktov.

O oxidácii otravných látok môžeme hovoriť z hľadiska ich reakcie so vzdušným kyslíkom, kde väčšina otravných látok je stála. Silnejšou oxidáciou s oxidačnými činidlami môžu vznikáť netoxické produkty, ale rada otravných látok pri reakciách so silnými oxidačnými činidlami reaguje za vzniku jedovatých produktov.

Pri odmorovacích reakciách, keď sa používajú látky s aktívnym chlórrom (chlórové vápno, chlórnan vápenatý, chlóraminý) dochádza vedľa oxidácie tiež ku chlorácii. Priebeh reakcie ako aj vzniklé produkty sa líšia podľa použitej látky a v závislosti na reakčnom prostredí. V suchom stave niekedy dochádza k chloračno-oxidačnej deštrukcii molekuly otravnej látky.

(miernou oxidáciou yperitu vzniká netoxický bis(2-chlóretyl)sulfoxid, ale silnou oxidáciou vzniká toxický bis(2-chlóretyl)sulfon).

Hydrolýza

reakcia látky s vodou za vzniku nových produktov.

Chovanie otravných látok vo vodnom prostredí (prostredí s vodnou vlhkosťou) je jednou z najdôležitejších chemických vlastností. Stálosť v poľných podmienkach ovplyvňuje ich použitie za vlhkého alebo daždivého počasia, prípadne možnosť ich použitia k zamoreniu vodných tokov a zdrojov pitnej a úžitkovej vody. Prakticky všetky látky reagujú s vodou ale s rôznou rýchlosťou.

Otravné látky sú väčšinou málo odolné voči vode a ľahko podliehajú hydrolýze. Vodou sa rozkladajú za vzniku nových (menej toxických) produktov a tým strácajú svoju účinnosť. Vzniklým produktom hydrolýzy je treba napriek tomu venovať pozornosť, pretože niektoré produkty zostávajú čiastočne toxické a tým nedochádza k podstatnému zníženiu účinnosti otravných látok.

Rýchlosť hydrolýzy je závislá predovšetkým na teplote, acidite (pH) a homogenite prostredia. Obecne platí, že hydrolýza otravných látok prebieha ďaleko rýchlejšie v homogénnom prostredí, pri vyššej teplote a za prítomnosti alkálií (zásad).

(fosgén sa rozkladá na chlorovodík a oxid uhličitý, z yperitu vzniká málo toxický thiodiglykol, zo sarinu sa uvoľňuje fluorovodík ale z lewisitu (2-chlórvinyldichlórarzín) vzniká toxický 2-chlórvinylarzinoxid).

Reaktivita a stabilita v prostredí

tepelná stabilita a reakcia otravnej látky s obalovým materiálom a látkami v prostredí.

Spôsob použitia otravných látok v zariadeniach, v ktorých vzniká pri rozptyľovaní teplo požaduje ich určitú tepelnú stabilitu. Otravné látky musia vydržať krátkodobé pôsobenie vyššej teploty (výstrel a výbuch). Väčšina otravných látok nemá v tejto oblasti závažné nedostatky, rozkladajú sa až pri vyšších teplotách (i keď u niektorých nastáva rozklad nízko pod bodom varu).

Väčšina otravných látok sú organické zlúčeniny, ktoré vo svojej molekule obsahujú halogén (F, Cl). Dá sa predpokladať, že mimo viazaného halogénu bude v danej otravnej látke tiež voľný halogén, alebo príslušný halogenovodík. Táto skutočnosť je hlavným kritériom pri hodnotení korózivnosti otravných látok voči kovovým obalovým materiálom. Vhodnejšie sú preto plastové materiály, ktoré nekorodujú, ale ich nevýhodou je postupné nabobtnanie prípadne ich plastifikácia a tým čiastočné prepúšťanie otravnej látky daným materiálom. V súčasnosti sa ako najvhodnejší materiál spĺňajúci tieto kritické požiadavky ukazuje teflón (polytetrafluóretylén).

Acidita prostredia

vplyv pH prostredia na stabilitu otravnej látky

Všetky chemické látky (otravné látky nevynímajúc) je možno na základe obsahu vodíkových alebo hydroxidových iónov rozdeliť do skupiny **kyslých** (acidických), **neutrálnych** alebo **zásaditých** (bázických) látok. Taktiež prostredie, v ktorom budú pôsobiť tieto otravné látky má svoju charakteristickú aciditu, ktorej hodnota má zásadný vplyv na ich chemickú stabilitu a tým určuje spôsob použitia, dobu toxického pôsobenia v priestore, obtiažnosť zistenia a odmorenia, možnosť dlhodobého skladovania a pod.

Na hodnotové vyjadrenie kyslosti alebo zásaditosti jednotlivých látok (otravných látok alebo prostredia) je potreba poznať koncentráciu (aktivitu) iónov H_3O^+ resp. OH^- . Pretože hodnoty koncentrácií oboch iónov sú veľmi malé čísla, je výhodnejšie používať veličinu **pH** nazývanú **vodíkový exponent**, ktorý vyjadruje záporný logaritmus koncentrácie vodíkových iónov v roztoku a definuje sa vzťahom:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

V čistej vode sú vždy súčasne prítomné ióny H_3O^+ a OH^- a preto platí¹⁰⁾:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7}$$

teda $\text{pH} = 7$. Táto hodnota súčasne charakterizuje neutrálne prostredie. V kyslom prostredí je pH menšie ako 7, v zásaditom prostredí je väčšie ako 7.

Kyslosť alebo zásaditosť látok je možné určovať len relatívne t.j. porovnávaním s určitou látkou, ktorú si zvolíme za jednotný základ. Touto porovnávacou látkou býva najčastejšie voda, ako najbežnejšie rozpúšťadlo. Voda môže vystupovať ako kyselina alebo zásada.

¹⁰⁾ disociácia (rozklad) vody je nepatrná, jedna rozložená molekula pripadá na 553 miliónov molekúl nerozložených.

4.3 FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI

Účinky otravných látok na organizmus sa prejavia buď bezprostredne po zasiahnutí alebo až po určitej latentnej dobe, keď otrava organizmu je charakterizovaná skrytým rozvojom klinických príznakov. Rozsah poškodenia je do značnej miery závislý na spôsobe zasiahnutia a preniknutia otravnej látky do organizmu, na koncentrácii otravnej látky a rýchlosti jej pôsobenia, na schopnosti organizmu samovoľnou detoxikáciou znížiť prípadne eliminovať toxické účinky otravnej látky a na celkovom fyzickom a psychickom stave organizmu.

Poškodenie organizmu otravnými látkami môže byť vyvolané zasiahnutím:

- dýchacích orgánov nechráneného organizmu parami alebo aerosólom,
- neporušeného prípadne poškodeného povrchu pokožky,
- očnej spojivky parami, aerosólom alebo kvapkami,
- zažívacích orgánov pri požití zamorených potravín alebo vody,
- iných orgánov lymfatického alebo krvného obehu pri styku so zamorenou technikou a materiálom, poranením črepinami chemickej munície apod.

Miesto vstupu prípadne cesty prenikania otravných látok do organizmu je významným faktorom, ktorý ovplyvňuje rozptýlenie a metabolizmus v organizme. Má vplyv na rýchlosť ich vstrebávania a zasiahnutia dôležitých funkčných orgánov, na spôsob a rýchlosť detoxikácie otravných látok v organizme apod. Rýchlosť pôsobenia na organizmus, resp. príznaky zasiahnutia organizmu sa podľa klinického rozvoja otravy prejavia buď ihneď pri vzájomnom styku organizmu s otravnými látkami, alebo až do dlhšej dobe.

Účinok otravnej látky je výsledkom interakcie medzi látkou a biologickým systémom. Pri tejto interakcii otravná látka pôsobí na organizmus (vyvoláva účinok), ale aj organizmus pôsobí na otravnú látku (biotransformácia). Preto sledovaný účinok nemusí byť vždy vyvolaný pôvodnou látkou, ktorá je aplikovaná prostredím na organizmus, ale aj jej metabolitom (prekurzorom, prekarcinogénom a pod.). Účinok môže byť dôsledkom prostého fyzikálnochemického pôsobenia, alebo špecifického zásahu do biochemických dejov. Keď ide o fyzikálne pôsobenie, je to účinok väčšinou nešpecifický (narkóza, poleptanie, deštrukcia membrán), špecifický účinok vyvoláva látka s istou konfiguráciou, ktorá zodpovedá špecifickému receptoru (pôsobenie nervovoparalytických alebo psychochemických otravných látok).

Toxicita otravných látok

Pre zhodnotenie účinku jednotlivých druhov otravných látok na organizmus je používaná charakteristika - **toxicita** (t.j. stupeň a rozsah schopností poškodenia organizmu), ktorá je závislá na rade faktorov, ako sú cesty vstupu do organizmu, rýchlosť pôsobenia, stav organizmu, stav prostredia apod.

Pre zrovnávanie toxickej účinnosti otravných látok (všeobecne jedov) sa pracuje metódami biologickej štatistiky a zisťuje sa stredná dávka, odpovedajúca určitému účinku u 50% zasiahnutých biologických jedincov. Pri inhalačných otravách sa buď uvádza hodnota toxickej koncentrácie a doba jej pôsobenia (doba expozície) alebo tzv. toxicitný súčin t.j. súčin koncentrácie a času.

Charakteristické údaje o toxicite otravnej látky sú vyjadrované **strednou smrteľnou dávkou** LD¹¹ alebo **strednou dávkou k dočasnému vyradeniu živej sily** ED pri použití otravných látok vo forme pár alebo aerosólu.

LD₅₀ - bojová koncentrácia otravnej látky, ktorou je možno behom určitého časového obdobia dosiahnuť smrteľných účinkov u 50% zasiahnutej živej sily.

ED₅₀ - bojová koncentrácia otravnej látky, ktorou je možno behom určitého časového obdobia dočasne vyradiť 50% nechránenej živej sily.

Vyjadruje sa v mg otravnej látky v 1 m³ vzduchu, ktorého účinkom je zasiahnutý organizmus vystavený po dobu 1 minúty. Ak je doba vystavenia organizmu účinkom otravných látok dlhšia ako 1 minúta, klesá úmerne s dĺžkou expozície aj ich hodnota. Pri použití OL v kvapalnom stave sa ich toxicita vyjadruje strednou dávkou v mg/kg hmotnosti.

Otravná látka alebo jej metabolit môže vyvolať toxický účinok v biologickom systéme len vtedy, keď v ňom dosiahne príslušných miest v príslušnej koncentrácii a po určitú dobu. Účinok látky vo forme plynu alebo pár bude teda závisieť od koncentrácie látky v ovzduší ako aj od doby, po ktorú je látka vdychovaná, teda **účinok je možné vyjadriť ako funkciu koncentrácie a času:**

$$U = f(c \cdot t^n)$$

$$D = c \cdot t$$

kde **U** - účinok toxickej látky,
c - koncentrácia toxickej látky v ovzduší,
t - doba pôsobenia
D - dávka
n - exponent väzby toxickej látky na receptor a reverzibility účinku.

Pre látky, ktoré sú viazané slabo a ľahko sa uvoľňujú vdychovaním (dráždivé, narkotiká) platí približne **n = 0**. U látok, ktoré sa viažu na receptory nevratne (fosgén) je rozhodujúca celková dávka. Potom **n = 1** a **U = f(D)**. Ak je väzba na receptor nevratná a účinok čiastočne nevratný, potom doba pôsobenia toxickej látky má väčšiu váhu ako vdychovaná koncentrácia látky v ovzduší.

Niektoré otravné látky podliehajú v organizme zmenám, ktoré vedú ku vzniku nových, pre organizmus neškodných látok. Rýchlosť týchto zmien - detoxikácia - vyjadrovaná množstvom otravnej látky, ktorú organizmus v časovej jednotke prevedie na neškodné produkty, je dôležitá hlavne z hľadiska opakovaného napadnutia. Otravné látky, ktoré sú ľahko detoxikovateľné v ľudskom organizme, musia byť preto pre dosiahnutie požadovaných účinkov používané vo vysokých koncentráciách.

Väčšina otravných látok sa vyznačuje kumulatívnymi účinkami na organizmus. Účinky vyvolané otravnou látkou s kumulatívnymi účinkami sa i po niekoľkonásobnom napadnutí spočítavajú. Zodpovedajú jednorázovému vystaveniu účinkom s úhrnnou koncentráciou otravnej látky. Vysokými kumulatívnymi účinkami sa vyznačuje napr. yperit, sarin.

¹¹⁾ LD – lethal dosis, ED – effective dosis.

Celková toxicita je rozhodujúcou vlastnosťou otravnej látky pri hodnotení jej účinkov na ľudský organizmus. Charakter toxického účinku otravnej látky vyplýva predovšetkým z jej chemickej štruktúry a schopnosti viazať sa na bielkoviny organizmu a schopnosti zasahovať do fyzikálno-chemickej rovnováhy vnútorného prostredia organizmu. Je ovplyvnená a závislá na:

- **charaktere otravnej látky** - špecifické vlastnosti z hľadiska účinku na ľudský organizmus,
- **charaktere zasiahnutého organizmu** - vlastnosti organizmu - deti a starší ľudia sú citlivejší, ako stredná generácia, muži sú odolnejší ako ženy, unavený a nemocný organizmus je citlivejší,
- **spôsobe použitia otravnej látky** - vo forme plynu, aerosólu, kvapaliny alebo tuhej látky a cesta vstupu - inhalácia, zažívací trakt, sliznica, oči alebo pokožka,
- **vplyvu prostredia** - teplota vzduchu, vlhkosť organizmu, nadmorská výška apod.

Vychádzajúc zo základných dokumentov armád rady štátov sa otravné látky podľa svojho určenia delia na:

- smrteľné otravné látky

schopné, ak sú použité v odpovedajúcich bojových koncentráciách, vyvolávať v krátkej dobe ťažké poškodenie živej sily, prípadne i smrť,

- otravné látky k dočasnému vyradeniu

ktoré svojimi účinkami spôsobujú v dôsledku fyzického zneschopenia, vyvolania duševných porúch, alebo oboch účinkov, dočasné vyradenie živej sily z činnosti a tým znemožnenia plnenia stanovených úloh jednotlivcom alebo skupinám.

Na základe fyziologického pôsobenia otravných látok na ľudský organizmus sa delia otravné látky do týchto základných skupín:

- **dušivé** otravné látky
- **dráždivé** otravné látky
 - slzné
 - horné cesty dýchacie
- **pľuzgierotvorné** otravné látky
- **všeobecne jedovaté** otravné látky
- **nervovoparalytické** otravné látky
- **psychoaktívne** otravné látky

Toto rozdelenie otravných látok je však veľmi schematické a nevystihuje dôsledne hlavné pôsobenie väčšiny otravných látok, údaje sa vzťahujú väčšinou na hlavné prejavy účinkov otravných látok. Okrem toho, každé zasiahnutie organizmu otravnou látkou predstavuje zasiahnutie organizmu ako celku, čo sa vo väčšine prípadov prejavuje v rade sekundárnych prejavov, ktoré nie je možno jednoduchým delením vyjadriť.

Hlavný účinok pľuzgierotvorných látok nie je v tvorbe pľuzgierov, ale v ničení buniek nervového tkaniva a vo vyvolávaní ťažkého onemocnenia organizmu.

4.4 BOJOVÉ VLASTNOSTI

V okamžiku bojového (diverzného, výcvikového) použitia môžu byť otravné látky vo forme plynu, pár, hmly, dymu, aerosólu, kvapaliny alebo tuhej zložky. Vzduch zamorený otravnými látkami sa pri priaznivých poveternostných podmienkach môže rozširovať až do vzdialenosti niekoľkých desiatok kilometrov od miesta ich použitia. Niektoré otravné látky môžu vo forme kvapiek alebo tuhých častíc dlhodobo zamorovať terén a objekty desiatky hodín alebo dní.

Bojová koncentrácia

množstvo otravných látok v jednotke objemu vzduchu, ktoré je schopné za určitú dobu spôsobiť trvalé alebo dočasné vyradenie nechránenej živej sily.

Koncentrácia otravných látok sa spravidla vyjadruje v miligramoch otravnej látky v litri vzduchu alebo gramoch otravnej látky v kubickom metri vzduchu (mg/l alebo g/m^3). Rovnaká koncentrácia otravnej látky pri rôznej expozičnej dobe má na nechránenú živú silu rôzne účinky.

Hustota zamorenia a stálosť

množstvo otravnej látky rozptýlenej na teréne vo forme drobných častíc vztiahnuté na jednotku plochy a doba, počas ktorej otravná látka na teréne má potrebnú bojovú koncentráciu pre styk s pokožkou alebo odevom, alebo vytvára potrebnú koncentráciu látky v ovzduší

Hustota zamorenia sa môže pohybovať v rozmedzí od jednotiek do desiatok gramov na štvorcový meter (g/m^2). Hustota zamorenia a stálosť jednotlivých druhov otravných látok na teréne je funkciou fyzikálnych a chemických vlastností otravnej látky, stupni jej toxicity, spôsobu jej rozptýlenia v danom priestore, poveternostných podmienkach, členitosti a pokrytosti terénu a charakteru pôdy.

Z ostatných dôležitých všeobecných údajov o vlastnostiach otravných látok musíme spomenúť **hĺbku šírenia** sa zamoreného ovzdušia t.j. vzdialenosť od predného okraja zamoreného priestoru po ktorý prenikajú pary alebo aerosól otravnej látky v nebezpečných koncentráciách.

Predchádzajúce rozdelenie otravných látok je tzv. toxikologická klasifikácia. Uvedené delenie nie je úplné a dáva iba hrubú charakteristiku otravnej látky s jej najvýznamnejšími vonkajšími príznakmi.

Vo vojenskej praxi je dôležitá **klasifikácia otravných látok** z hľadiska bojového použitia, v tomto prípade hodnotíme otravné látky podľa takých kritérií ako je účinnosť, rýchlosť účinku, stálosť na teréne apod.

Podľa **charakteru účinnosti** delíme otravné látky na **oslabujúce** a **ničivé**, podľa **rýchlosti účinku na ľudský organizmus** delíme na **OL s okamžitým účinkom** a **OL s oneskoreným účinkom**, podľa **stálosti na teréne** delíme otravné látky na **prchavé** (ich stálosť na teréne je menšia ako 30 minút), **poloprchavé** (ich stálosť na teréne je niekoľko hodín) a **trvalé** (ich stálosť na teréne je niekoľko dní až týždňov).

Stálosť nie je iba vlastnosťou samotnej otravnej látky, ale je tiež funkciou teploty pôdy, vzduchu, charakteru poveternostných podmienok, spôsobu použitia atď.

4.5 ZÁKLADNÉ SKUPINY OTRAVNÝCH LÁTOK

Na základe fyziologického pôsobenia na ľudský organizmus sa delia otravné látky do základných skupín, ktoré sú charakteristické pre prvotný a hlavný klinický príznak zasiahnutia, alebo celkovú účinnosť a rozsah pôsobenia.

4.5.1 Otravné látky dusivé

Dusivé otravné látky patrili medzi základné bojové otravné látky v období prvých hromadných použití týchto prostriedkov vo vojne. V súčasnej dobe nepatria medzi perspektívne typy otravných látok. Z toho vyplýva ich možné použitie len v obmedzenom rozsahu vo zvláštnych prípadoch. Hlavní predstavitelia dusivých otravných látok sú:

- fosgén
- difosgén
- chlórpicrin

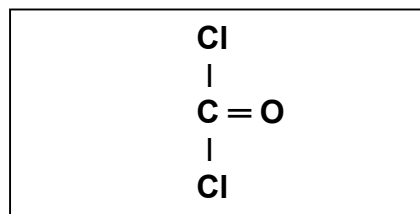
Do organizmu prenikajú prevážne dýchacím ústrojenstvom a spôsobujú ich vážne poškodenie. K výrazným zmenám dochádza najmä na prieduškách a pľúcach. Spôsobujú rozrušenie jemného tkaniva stien pľúcnych komôrok, následkom čoho steny prepúšťajú krvnú plazmu a pľúca sa naplňujú tekutinou, dochádza k „utopeniu komôrok“. Po zasiahnutí vysokými koncentraciami dochádza k ťažkej otrave prevádzanej toxickým edémom pľúc. Smrť nastáva pre nedostatok kyslíka udusením.

Fosgén

CG

dichlorid kyseliny uhličitej

COCl₂



Bezfarebná plynná látka s vôňou po čerstvom sene, tráve alebo zelenom obilí.

bod tuhnutia: -128 °C	bod varu: +7 °C
výparnosť: 6,4 g/m ³	hutnosť pár: 3,4
tepelný rozklad: +800 °C	bod vznetenia: nevznieti sa

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha fosgén pomalej hydrolýze, produktom je chlorovodík a oxid uhličitý.

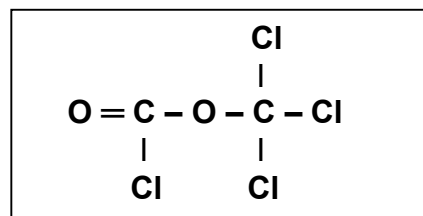
Do organizmu preniká dýchacími orgánmi, ostatné zložky ľudského tela sú voči jeho pôsobeniu imúnne. Po zasiahnutí organizmu dochádza k poškodeniu dýchacích orgánov a centrálného nervového systému. Príznaky otravy sa prejavujú podľa stupňa zasiahnutia po určitej dobe latencie podráždením dýchacích orgánov, kašľom, pocitom ku zvracaniu až zvracaním, silnými bolesťami hlavy. Rozvoj klinických príznakov otravy pokračuje zvýšenými obtiažami pri dýchaní a behom 12 až 24 hodín dochádza k edému pľúc. Pri vysokých koncentraciách je rozvoj otravy veľmi rýchly, smrť nastáva v dôsledku narušenia srdčej činnosti. Maximálny počet úmrtí sa prejaví behom 24 hodín po zasiahnutí. Nedetoxikuje, má kumulatívne účinky.

LD ₅₀ 3,2 g/m ³ .min	ED ₅₀ 1,6 g/m ³ .min
--	--

Fosgén je v normálnych klimatických podmienkach nestály, trvalosť v teréne v lete je 5 - 10 minút, v zime 10 - 20 minút.

Difosgén**DP**

trichlormetylester kyseliny chlóruhlčitej



Bezfarebná kvapalná látka s vôňou po čerstvom sene, tráve alebo zelenom obilí.

bod tuhnutia:	-57 °C	bod varu:	+127 °C
výparnosť:	54,3 g/m ³	hutnosť pár:	6,9
tepelný rozklad ¹² :	+301-351 °C	bod vznetenia:	nevznieti sa

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha difosgén pomalej hydrolyze, produktom je chlorovodík a oxid uhličtý. Za vyššej teploty prebieha hydrolyza rýchlo.

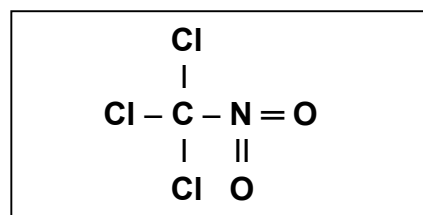
Do organizmu preniká dýchacími orgánmi, ostatné zložky ľudského tela sú voči jeho pôsobeniu imúnne. Po preniknutí do organizmu dochádza najprv k postupnej konverzii difosgénu na fosgén. Po zasiahnutí organizmu dochádza k poškodeniu dýchacích orgánov a centrálného nervového systému. Príznaky otravy sa prejavujú podľa stupňa zasiahnutia po určitej dobe latencie (3 a viac hodín) podráždením dýchacích orgánov, kašľom, pocitom ku zvracaniu až zvracaním, silnými bolesťami hlavy. Rozvoj klinických príznakov otravy pokračuje zvýšenými obtiažami pri dýchaní a behom 12 až 24 hodín dochádza k edému pľúc. Pri vysokých koncentráciách je rozvoj otravy veľmi rýchly. Nedetoxikuje, má kumulatívne účinky, vyznačuje sa lakrimačným efektom.

LD ₅₀	3,2 g/m ³ .min	ED ₅₀	1,6 g/m ³ .min
------------------	---------------------------	------------------	---------------------------

Difosgén je v normálnych klimatických podmienkach polotrvalá otravná látka, jeho Perzistencia v porovnaní s fosgénom je asi 3 x vyššia. Stálosť v teréne v lete je 15 - 30 minút, v zime 30 - 60 minút.

Chlórpicrin

trichlormetylester kyseliny chlóruhlčitej



<i>bod tuhnutia:</i>	-57 °C	<i>bod varu:</i>	+127 °C
<i>výparnosť:</i>	54,3 g/m ³	<i>hutnosť pár:</i>	6,9
<i>tepelný rozklad</i>	+301-351 °C	<i>bod vznetenia:</i>	nevznieti sa

Chlórpicrin je menej jedovatý, ale dráždivejší ako fosgén a difosgén. Vstupnou cestou do organizmu sú dýchacie cesty, zažívaci trakt, oči a pokožka. Zasiahnutý má páliový pocit v očiach, dráždenie a pálenie v nose a krku, silné slzenie. V pľúcach sa začína tvorba edému, pri veľkých koncentráciách dochádza ku strate vedomia a smrti. Kvapalný chlórpicrin môže vyvolať na pokožke sčervenanie, ktoré sa môžu rozvinúť do pľuzgierov.

¹²) tepelne sa rozštiepi na 2 molekuly fosgénu, ktorý má teplotu rozkladu cca 800 °C

4.5.2 Dráždivé otravné látky

Skupina otravných látok, ktoré vzhľadom k nízkej účinnosti a využiteľnosti patria k menej významným, počíta sa s nimi len v obmedzenom rozsahu a v špecifických situáciách. Tieto látky nie sú v malých koncentráciách človeku nebezpečné, ale svojimi účinkami nútia k používaniu ochranných prostriedkov a tým sťažujú činnosť a vyčerpávajú živú silu.

Tvoria dve základné skupiny a to otravné látky dráždiace horné cesty dýchacie, kde hlavnými predstaviteľmi sú:

- difenylchlórarzín,
- difenylkvanarzín
- adamsit

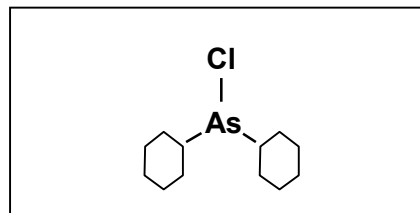
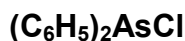
a otravné látky slzné kde patria látky:

- chlóracetofenon,
- brómbenzylkvanid
- CS.

Difenylchlórarzín

DA

difenylchlórarzín



Bezfarebná kryštalická látka s neurčitou vôňou s dráždivým účinkom v krku, vo vode slabo rozpustná. Látka má silný dráždivý účinok, je málo jedovatá.

bod tuhnutia:	+44 °C	bod varu:	+307 °C
výparnosť:	0,1 mg/m ³	hutnosť pár:	nevyparuje sa
tepelný rozklad:	+300 °C	bod vznietenia:	+350 °C

Vo vode sa slabo rozpúšťa, podlieha pomalej hydrolyze, produktom je chlorovodík a difenylarzínoxid (vysokotoxická látka), rozptýlený ako jemný aerosól hydrolyzuje veľmi rýchlo.

Difenylchlórarzín preniká do organizmu dýchacími orgánmi, zažívacím traktom, pokožkou a očnou spojovkou. Účinok na organizmus je bezprostredný, rozvoj klinických príznakov sa prejaví po 1 až 3 minútach podráždením očí a sliznice dýchacích ciest. Nastáva silné dráždenie v nose, hltanu, stiesnené pocity v hrudi, slinenie až zvracania, veľké bolesti hlavy. Poškodenie je dočasné, trvá obvykle 30 minút až niekoľko hodín (v závislosti na koncentrácii). Po tejto dobe príznaky miznú.

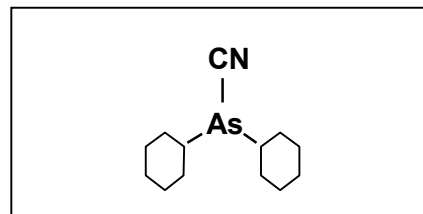
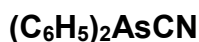
Poškodenie pokožky sa prejaví svrbením, pálením a miernym opuchnutím, účinky sú dočasné. Pri zasiahnutí zažívacieho traktu sa dostavia silné bolesti brucha, zvracanie, celková ochablosť a bolesti hlavy.

inhalačne	LD ₅₀	15 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,001 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	-----------------------------

Difenylchlórarzín je polotrvalá otravná látka, ktorej perzistencia v poľných podmienkach je 5 až 10 minút. Detoxikuje, z dávky pre dočasné vyradenie živej sily behom 1 až 2 hodín.

Difenylykvanarzín**DC**

difenylykvanarzín



Bezfarebná kryštalická látka s horkou cesnakovou vôňou s dráždivým účinkom v krku, vo vode slabo rozpustná. Látka má silný dráždivý účinok, je toxickejšia ako difenylchlórarzín.

bod tuhnutia:	+30 °C	bod varu:	+290 °C
výparnosť:	0,1 mg/m ³	hutnosť pár:	-
tepelný rozklad:	pri +300 °C	bod vznietenia:	nízky

Vo vode sa slabo rozpúšťa, podlieha pomalej hydrolyze, produktom je kyanovodík a difenylarzínoxid (toxické látky).

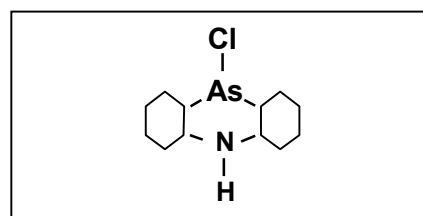
Difenylykvanarzín preniká do organizmu dýchacími orgánmi, zažívacím traktom, pokožkou a očnou spojovkou. Účinok na organizmus je bezprostredný, rozvoj prvých klinických príznakov sa prejaví po 30 sekundách, fyziologický účinok je obdobný ako u difenylchlórarzínu.

inhalačne	LD ₅₀	10 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,03 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	----------------------------

Difenylykvanarzín je otravná látka, ktorej perzistencia v poľných podmienkach je niekoľko minút. Detoxikuje, z dávky pre dočasné vyradenie živej sily behom 1 hodiny.

Adamsit**DM**

fenarsazínchlorid



Kanárikovožltá tuhá látka bez vône alebo zápachu s dráždivým účinkom v krku.

bod tuhnutia:	+195 °C	bod varu:	+410 °C
výparnosť:	0,02 mg/m ³	hutnosť pár:	nevyparuje sa
tepelný rozklad:	nad +410 °C	bod vznietenia:	nevznieti sa

Vo vode sa slabo rozpúšťa, podlieha pomalej hydrolyze, produktom je chlorovodík a dihydrofenarsazínoxid (toxická látka).

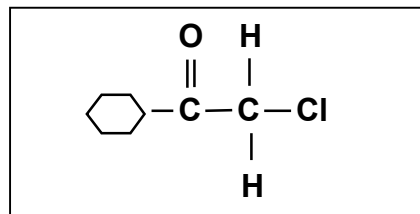
Difenylykvanarzín preniká do organizmu dýchacími orgánmi, zažívacím traktom, pokožkou a očnou spojovkou. Účinok na organizmus je bezprostredný, rozvoj prvých klinických príznakov sa prejaví behom 30 minút, fyziologický účinok je obdobný ako u difenylchlórarzínu.

inhalačne	LD ₅₀	15 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,022 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	-----------------------------

Adamsit je otravná látka, ktorej perzistencia v poľných podmienkach je 10 až 30 minút. Detoxikuje, z dávky pre dočasné vyradenie živej sily behom 30 minút.

Chlóracetofenon**CN**

chlóracetofenon



Bezfarebná kryštalická látka s vôňou po jablňových kvetoch so silným dráždivým účinkom. Technický výrobok je nažltlý až hnedý so slabou aromatickou vôňou, vo vode málo rozpustný, dobre rozpustný a organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	+54 °C	bod varu:	+245 °C
výparnosť:	0,1 g/m ³	hutnosť pár:	5,30
tepelný rozklad:	nad +250 °C	bod vznietenia:	nevznieti sa

Vo vode podlieha veľmi pomalej hydrolýze, produktom je chlorovodík a hydroxymetylfenylketón. Teplo a prítomnosť alkálií priebeh hydrolýzy urýchľujú.

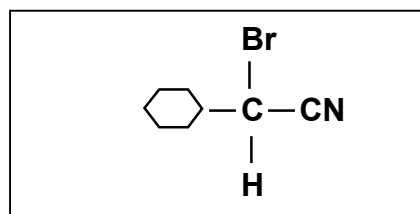
Chlóracetofenon preniká do organizmu dýchacími orgánmi a očnou spojovkou, účinok na organizmus je bezprostredný. Rozvoj prvých klinických príznakov sa prejaví okamžite silným dráždením očí, svetloplachosťou, slzením a zápalom očí. Vo veľkých koncentráciách dočasne spôsobuje podráždenie dýchacích orgánov, silné sčervenanie pokožky, po niekoľkých hodinách mizne.

inhalačne	LD ₅₀	11 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,08 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	----------------------------

Dráždivá otravná látka, perzistencia je niekoľko dní až týždňov, vo forme aerosólu je málo stály. Detoxikuje, behom niekoľkých hodín fyziologický účinok mizne.

Brómbenzylkyanid**BBC**

chlóracetofenon



Biela až slaboružová kryštalická látka s nepríjemnou vôňou po skazenom ovocí, vo vode málo rozpustná, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	+25 °C	bod varu:	+242 °C
výparnosť:	0,13 g/m ³	hutnosť pár:	6,70
tepelný rozklad:	pri +60 °C	bod vznietenia:	nevznieti sa

Vo vode podlieha veľmi pomalej hydrolýze, produktom je rada kondenzačných látok. Teplo a prítomnosť slabých alkálií priebeh hydrolýzy neurýchľujú.

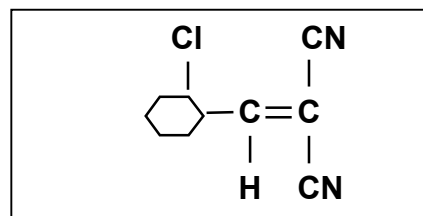
Brómbenzylkyanid preniká do organizmu dýchacími orgánmi a očnou spojovkou, účinok na organizmus je bezprostredný a obdobný ako u chlóracetofenonu.

inhalačne	LD ₅₀	4 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,03 g/m ³ .min
-----------	------------------	-------------------------	------------------	----------------------------

Dráždivá otravná látka, perzistencia je niekoľko dní až týždňov, vo forme aerosólu je málo stály. Detoxikuje, behom niekoľkých hodín fyziologický účinok mizne.

CS

o-chlórbenzalmalonitril

CS

Biela kryštalická látka s vôňou po korení so silným dráždivým účinkom, vo vode a alkohole nerozpustná, dobre rozpustná v dichlórmetáne.

bod tuhnutia:	+93 °C	bod varu:	+310 °C
výparnosť:	- g/m ³	hutnosť pár:	0,30
tepelný rozklad:	- °C	bod vznietenia:	- °C

Vo vode podlieha veľmi pomalej hydrolýze, produktom je chlorovodík a hydroxymetylfenylketón. Teplo a prítomnosť alkálií priebeh hydrolýzy urýchľujú.

Otravná látka CS sa vyznačuje bezprostrednými príznakmi zasiahnutia organizmu a to i vo veľmi nízkych koncentráciách. Preniká do organizmu dýchacími orgánmi a očnou spojovkou, účinok na organizmus je bezprostredný. Rozvoj prvých klinických príznakov sa prejaví behom 20 až 60 sekúnd, silným dráždením očí, slzením a dýchacími potiažami, závratami a pocitom plávania hlavy. Doba trvania ničivých účinkov sa pohybuje po dobu 5 až 10 minút po opustení zamoreného priestoru.

inhalačne	LD ₅₀	11 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,08 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	----------------------------

Intenzívne dráždivá ale takmer netoxická látka, perzistencia je 3 až 14 dní až týždňov. Detoxikuje, behom 5 až 10 minút fyziologický účinok mizne.

Chlóracetofenon + chloroform CNC

Zmes pre vojenské použitie, skladajúca sa:

70% - chloroform
30% - chlóracetofenon

Biela kvapalná látka s vôňou po chloroforme so silným dráždivým účinkom, vo vode a alkohole nerozpustná, dobre rozpustná v dichlórmetáne.

bod tuhnutia:	+1 °C	bod varu:	+60 až 240 °C
výparnosť:	- g/m ³	hutnosť pár:	4,00
tepelný rozklad:	stála do varu	bod vznietenia:	nevznieti sa

Vo vode podlieha veľmi pomalej hydrolýze, produktom je chlorovodík a hydroxymetylfenylketón. Teplo a prítomnosť alkálií priebeh hydrolýzy urýchľujú.

Chlóracetofenon preniká do organizmu dýchacími orgánmi a očnou spojovkou, účinok na organizmus je bezprostredný obdobný ako u chlóracetofenonu.

inhalačne	LD ₅₀	11 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,08 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	----------------------------

Dráždivá otravná látka, perzistencia je niekoľko dní, vo forme aerosólu je málo stála. Detoxikuje, behom niekoľkých hodín fyziologický účinok mizne.

4.5.3 Otravné látky všeobecne jedovaté

Otravné látky všeobecne jedovaté nepatria v súčasnej dobe už medzi perspektívne otravné látky. Napriek tomu sa ešte s ich použitím (kyanovodík a chlorkyán) v rámci armád niektorých štátov počíta do úplného spotrebovania zásob chemickej munície. Z toho vyplýva ich použitie v obmedzenej miere a pri špecifických situáciách. Hlavní predstavitelia všeobecne jedovatých otravných látok sú:

- kyanovodík
- chlorkyán
- arzenovodík

Všeobecne jedovaté otravné látky prenikajú do organizmu prenikajú hlavne dýchacími orgánmi. Nekumulujú, malé koncentrácie pár týchto látok si organizmus sám zneškodní. Po vniknutí do organizmu bránia v dôsledku ovplyvňovania činnosti enzýmu cytochrómu-oxidázy biologickému okysličovaniu tkaniva v organizme a poškadzujú najmä srdečnú cievnu sústavu.

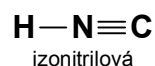
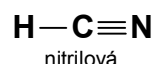
Kyanovodík

AC

nitril kyseliny mravenčej; kyanovodík

HCN

zmes tautomérnych foriem



Bezfarebná, ľahko pohyblivá kvapalná látka s horkomandľovým zápachom, dobre rozpustná vo vode a organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	-14 °C	bod varu:	+26,5 °C
výparnosť:	1000 g/m ³	hutnosť pár:	0,93
tepelný rozklad:	+65,6 °C	bod vznetenia:	nízky

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha kyanovodík pomalej hydrolýze, produktom je amoniak, kyselina mravenčia a amorfná hnedá tuhá látka, ktorá má explozívny charakter.

Do organizmu vstupuje dýchacími orgánmi, pokožkou sa vstrebáva len obmedzene. Jeho účinok na organizmus je okamžitý, po obdržaní smrteľnej dávky nastáva obvykle behom 15 minút smrť. Rozvoj klinických príznakov sa prejavuje pocitom horkosti v ústach, dráždením v hrdle a bolesťami hrudných orgánov a hlavy. Pokračuje zvýšenou dýchavičnosťou, bezvedomím a paralýzou všetkých svalových skupín. Rozvoj otravy je závislý na stupni zasiahnutia. Detoxikuje, rýchlosť detoxikácie je veľmi rýchla - 0,017 mg/kg/min.

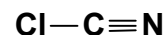
inhalačne	LD ₅₀	2 g/m ³ .min	ED ₅₀	- g/m ³ .min
-----------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------

K látkam obdobného charakteru patrí **dikyán** (NC-CN) - plyn horkomandľového až ostro čpavého zápachu, s účinkami ako kyanovodík, ale asi 4 krát slabšie.

Anorganické **kyanidové zlúčeniny** (draselný alebo sodný) patria medzi asfyxanty. Majú typické kyanidové účinky a priebeh pôsobenia prebieha obdobne ako otrava kyanovodíkom. Pri požití dospelého človeka usmrť dávka 0,2 až 0,3 g.

Chlórkyán**CK**

chlórkyán

CICN

Bezfarebná, ľahko pohyblivá prchavá kvapalná látka s dráždivými účinkami, ktoré prekryvajú vôňu. Slabo sa rozpúšťa vo vode, dobre v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	-7 °C	bod varu:	+13 °C
výparnosť:	6000 g/m ³	hutnosť pár:	2,1
tepelný rozklad:	+100 °C	bod vznietenia:	nevznecuje sa

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha chlórkyán hydrolyze, produktom je chlorovodík a kyselina kyanatá, rýchlosť hydrolyzy je veľmi nízka. Státím podlieha ľahko polymerizácii za vzniku cyklickej zlúčeniny kyanurchloridu (CNCl)₃. Nečistoty urýchľujú polymerizáciu.

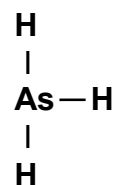
Do organizmu vstupuje dýchacími orgánmi, pokožkou sa vstrebáva len obmedzene. Jeho účinok na organizmus je okamžitý, po obdržaní smrteľnej dávky nastáva obvykle behom 15 minút smrť. Účinok je obdobný ako pri otrave kyanovodíkom, doposiaľ je problémom, či poškodenie organizmu je vyvolané samotným chlórkyánom alebo kyanovodíkom, ktorý vzniká pri konverzii v organizme.

inhalačne	LD ₅₀	11 g/m ³ .min	ED ₅₀	7 g/m ³ .min
-----------	------------------	--------------------------	------------------	-------------------------

Detoxikuje, rýchlosť detoxikácie je veľmi rýchla - 0,02 až 0,1 mg/kg/min.

Arzenovodík**SA**

arzenovodík

AsH₃

Bezfarebná plynná látka s nepríjemným cesnakovým zápachom.

bod tuhnutia:	-113 °C	bod varu:	-63 °C
výparnosť:	31000 g/m ³	hutnosť pár:	2,69
tepelný rozklad:	+230 °C	bod vznietenia:	ľahko sa vznieti

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha hydrolyze, produktom je kyselina arzeničná a hydridy, rýchlosť hydrolyzy je veľmi značná, s vodou reaguje za vzniku tuhých látok, ktoré sa pri 30 °C rozkladajú. Kovy katalyzujú jeho rozklad.

Do organizmu vstupuje dýchacími orgánmi, Jeho účinok na organizmus je mierne oneskorený, po obdržaní smrteľnej dávky nastáva obvykle behom 2 až 8 dní smrť. Za určitú dobu latencie nastáva celková slabosť organizmu, bolesti hlavy a nútenie ku zvracaniu. Dostavuje sa akútna hemolýza, poruchy činnosti ľadvín a pečene, ktoré sa prejavujú žltáčkou a bezvedomím. Smrť nastáva na zlyhanie činnosti ľadvín, pečene a sleziny. Detoxikuje, rýchlosť detoxikácie je veľmi pomalá.

inhalačne	LD ₅₀	5 g/m ³ .min	ED ₅₀	2,50 g/m ³ .min
-----------	------------------	-------------------------	------------------	----------------------------

4.5.4 Pľuzgierotvorné otravné látky

Pľuzgierotvorné otravné látky predstavujú základný prostriedok, ktorých hlavným účinkom na organizmus je poškodenie pokožky. Sú schopné dlhodobejšie zamorovať terén a objekty a v jednotlivých formách (kvapky, aerosól, pary) zasahovať pokožku, sliznice, dýchacie a zažívacie orgány.

Typickými hlavnými predstaviteľmi pľuzgierotvorných otravných látok sú:

- destilovaný yperit,
- dusíkové yperity,
- lewisit.

Najväčšia pozornosť je venovaná použitiu destilovanému yperitu, ktorý je laborovaný do štandardných druhov chemickej munície. Niektoré ďalšie typy ako dusíkové yperity, lewisit a fosgénoxim môžu byť používané k špecifickým účelom v obmedzenom rozsahu.

Do organizmu prenikajú všetkým bránami vstupu, vonkajšími i vnútornými. V mieste vstupu vyvolávajú hrubé morfológické zmeny tkaniva, prejavujúce sa sčervenáním, tvorbou pľuzgierov a všeobecnou deštrukciou tkaniva. Ich účinok sa neobmedzuje len na miestne poškodenie brány vstupu, ale prejavuje sa celkovou otravou organizmu. Pary poškodzujú okrem nechránenej pokožky dýchacie orgány, najmä ich hornú časť, kde býva stupeň poškodenia najväznejší. Poškodený organizmus je veľmi citlivý k sekundárnym infekciám. Pľuzgierotvorné otravné látky nedetoxikujú, navyac yperity majú kumulatívny účinok.

Najcitlivejšie sú oči, ktoré poškodzujú yperitové pary už v koncentráciách, ktoré nie sú schopné vyvolať vážne poškodenie pokožky a dýchacích orgánov. Dochádza k opuchnutiu viečok, zápalu očných spojoviek a zvýšenej svetloplachosti.

Zasiahnutie dýchacích orgánov parami vo vyšších koncentráciách sa prejavuje podráždením v nose a hrdle, dostávajú sa horúčkovité stavy, sťažené dýchanie, silné kašľanie a celková ochablosť organizmu.

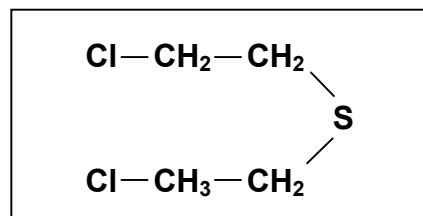
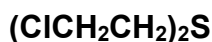
Poškodenie zažívacieho traktu sa prejavuje po požití vody alebo potravín zamorených týmito látkami. Príznaky otravy sa prejavujú po krátkej dobe prudkými bolesťami v bruchu, zvracaním, nevoľnosťou, celkovou ochablosťou a svalovými kŕčmi.

Najčastejšie dochádza k poškodeniu nechráneného povrchu organizmu účinkom pár a aerosólu. Zasiahnutie pokožky nie je spočiatku doprevádzané bolestivými príznakmi, prejavuje sa sčervenáním miesta zasiahnutia, pocitom svrbenia a vytváraním drobných pľuzgierikov. Tieto príznaky sú postupne doprevádzané celkovou ochablosťou organizmu, nechutenstvom, rýchlym úbytkom na váhe. Častým prejavom sú svalové kŕče vrcholiace paralýzou končatín.

Absorpcia vlhkou pokožkou prebieha ďaleko rýchlejšie ako za suchých podmienok. Za vlhkého a mokrého počasia alebo u spoteného organizmu je možno poškodenie a straty na živej sile dosiahnuť i pri podstatne nižších koncentráciách. Rýchlosť prenikania do organizmu rastie i s teplotou organizmu a prostredia.

Yperit destilovaný**HD**

bis-(2-chlóretyl) sulfid



Bezfarebná až nahnedlá olejovitá kvapalina so slabým zápachom pripomínajúcom horčicu alebo cesnak, veľmi slabo rozpustná vo vode, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

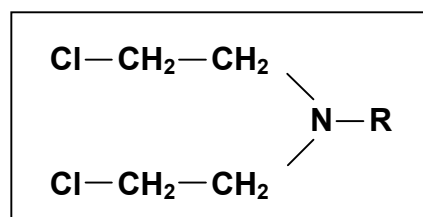
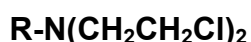
bod tuhnutia:	+14,4 °C	bod varu:	+228 °C
výparnosť:	0,61 g/m ³	hutnosť pár:	5,4
tepelný rozklad:	nad 149 °C	bod vznietenia:	+105 °C

Proti samovoľnej hydrolýze je veľmi odolný, produkty hydrolýzy sú málo toxické. Alkalické prostredie a teplota podstatne urýchľuje hydrolýzu, produktmi sú chlorovodík a tiodiglykol, silnými okysličovadlami prebieha úplný rozklad.

Do organizmu preniká všetkými cestami (pokožkou, dýchacími a zažívacími orgánmi, očnou spojovkou). Účinok na organizmus je charakteristický určitou dobou latencie obvykle v trvaní 4 až 6 hodín (v závislosti na koncentrácii - vyššia koncentrácia = kratšia doba latencie), než sa prejaví prvé klinické príznaky.

inhalačne	LD ₅₀	1,5 g/m ³ .min	pokožkou	LD ₅₀	10 g/m ³ .min
očami	ED ₅₀	0,2 g/m ³ .min	pokožkou	ED ₅₀	2 g/m ³ .min

Destilovaný yperit je typickým predstaviteľom trvalých otravných látok. Perzistencia na teréne je závislá na hustote zamorenia, charakteru povrchu terénu, vlhkosti a teplote prostredia a pohybuje sa rádovo v desiatkach hodín.

Yperit dusíkový**HN-1, 2, 3**kde R: (- CH₂ - CH₃); (- CH₃); (- CH₂ - CH₂ - Cl)

HN-1 - Bezfarebná až nahnedlá olejovitá kvapalina so slabým zápachom zlúčenín aromatického charakteru, veľmi slabo rozpustná vo vode, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	- 34 °C	bod varu:	+85 °C
výparnosť:	1,59 g/m ³	hutnosť pár:	5,9
tepelný rozklad:	pod bodom varu	bod vznietenia:	vysoký

Proti samovoľnej hydrolýze je veľmi odolný, priebeh závisí na koncentrácii vo vodnom prostredí, teplote, acidite a homogenite prostredia. V priebehu hydrolýzy vzniká rada medziproduktov, z ktorých väčšina je toxická. Alkalické prostredie a teplota podstatne urýchľuje hydrolýzu, výslednými produktmi sú chlorovodík a etyldihydrodietylamin.

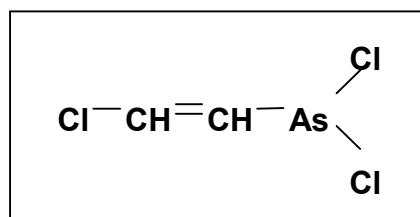
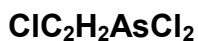
Do organizmu preniká všetkými cestami (pokožkou, dýchacími a zažívacími orgánmi, očnou spojovkou). Účinok na organizmus je charakteristický určitou dobou latencie obvykle v trvaní 1 až 12 hodín, než sa prejaví prvé klinické príznaky.

inhalačne	LD ₅₀	1,5 g/m ³ .min	pokožkou	LD ₅₀	20 g/m ³ .min
očami	ED ₅₀	0,2 g/m ³ .min	pokožkou	ED ₅₀	9 g/m ³ .min

Dusíkový yperit je typickým predstaviteľom trvalých otravných látok. Perzistencia na teréne je menšia ako u destilovaného yperitu, závisí na hustote zamorenia, charakteru povrchu terénu, vlhkosti a teplote prostredia a pohybuje sa rádovo v desiatkach hodín.

Lewisit**L**

2-chlórvinylarzíndichlorid



Bezfarebná ťažká olejovitá kvapalina so slabou kvetinovou vôňou po pelargóniách, rozpustná vo vode, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	- 18 °C	bod varu:	+190 °C
výparnosť:	2,30 g/m ³	hutnosť pár:	7,2
tepelný rozklad:	nad 100 °C	bod vznietenia:	nevznieti sa

Vo vodnom prostredí podlieha hydrolýze, alkalické prostredie a teplota podstatne urýchľuje hydrolýzu, produktmi sú chlorovodík a chlórvinylarzínoxid (má pľuzgierotvorný účinok).

Do organizmu preniká všetkými cestami (pokožkou, dýchacími a zažívacími orgánmi, očnou spojovkou). Účinok na organizmus je mierne oneskorený, doba latencie je kratšia ako u yperitu obvykle v trvaní 10 až 30 minút, než sa prejaví prvé klinické príznaky.

inhalačne	LD ₅₀	1,5 g/m ³ .min	pokožkou	LD ₅₀	90 g/m ³ .min
očami	ED ₅₀	0,3 g/m ³ .min	pokožkou	ED ₅₀	1,5g/m ³ .min

Lewisit predstaviteľom trvalých otravných látok. Perzistencia na teréne je závislá na hustote zamorenia, charakteru povrchu terénu, vlhkosti a teplote prostredia a pohybuje sa v rozsahu 24 hodín až 3 dni. Za vlhkého počasia jeho stálosť v poľných podmienkach rýchle klesá.

LEWISIT - YPERITOVÁ ZMES**HL**

Zmes pľuzgierotvorných otravných látok sa vyznačuje pri vyššie uvedených toxikologických vlastnostiach jednotlivých zložiek nízkym bodom tuhnutia. Táto vlastnosť umožňuje používať zmes za studeného počasia a k zamorovaniu priestoru postrekom z veľkých výšok. Najvhodnejšia zmes je v zložení 63% L a 37% HD, nevýhodou je jej obmedzená stálosť pri skladovaní.

Zmes má na organizmus mnohostranný účinok. Rozvoj klinických príznakov je obdobný ako pri otravách yperitom a lewisitom.

4.5.5 Nervovoparalytické otravné látky

Nervovoparalytické otravné látky nazývané tiež organofosforové otravné látky (organofosfáty) boli objavené v Nemecku pri prácach na vývoji insekticíd. V danom období boli pripravené tri základné látky a to tabun, sarin a soman, ktoré dostali názov TRILONY. Neskoršie boli označené ako látky typu G. K týmto otravným látkam neskoršie sa priradili novoobjavené látky typu „V“¹³ (VE, VM, VS, VX, IVA).

Do organizmu prenikajú celým povrchom tela. Pary a jemné aerosólové čiastočky kvapalín sú veľmi rýchlo absorbované dýchacími orgánmi, očnou spojivkou, zažívacími orgánmi a pokožkou. Ich účinok je okamžitý, po obdržaní smrteľnej dávky smrť nastáva behom 15 minút.

Mechanizmus účinku nervovoparalytických otravných látok spočíva v tom, že poškodzujú centrálny nervový systém porušením rovnováhy medzi sympatickým (adrenergickým) a parasympatickým (cholinergickým) systémom. V organizme je rovnováha oboch nervových systémov udržiavaná reakciou enzýmu cholinesterázy a acetylcholínom. Uvedené látky blokujú cholinesterázu (CHE) a acetylcholinesterázu (ACHE), ktorá v ľudskom tele reguluje hladinu acetylcholínu (látka prenášajúca vzruchové podnety z centrálnej nervovej sústavy). Jej blokáciou dochádza k nadmernému hromadeniu acetylcholínu, ktorý sa prejavuje ako jedovatá látka v nervovom systéme organizmu na ukončeníach parasympatických nervov k sekrétnym žľazam dýchacieho traktu, srdcovému svalu apod.

Behom niekoľkých minút po zasiahnutí látkou typu G nastanú ako prvé prejavy poškodenie hladkého svalu oka zúžením zorničiek (mióza), zápalom spojiviek, prudkými bolesťami v oku, poruchou zraku a bolesťami hlavy. Poškodenie dýchacieho orgánu vedie k nadmernému hľineniu a vyvolaniu ťažkých bolestí v hrudníku. Nasleduje ťažké dýchanie, potenie, slinenie, kŕčovité pohyby svalov a narušenie rytmu srdcovej činnosti. Smrť nastáva zástavou srdečnej činnosti.

Podstata ničivého účinku látok typu V je rovnaká ako u látok typu G, jej pôsobenie je razantnejšie, hlbšie a pôsobí v menších koncentráciách. Príčinou toho je rýchlejšie prenikanie do organizmu cez pokožku alebo sliznicu a skutočnosť, že pri metabolických pochodoch v organizme nedochádza k jej detoxikácii, ale naopak vznikajú ešte toxickéjšie produkty.

Klinickým príznakom zasiahnutia pokožky sú drobné záchvevy v mieste zasiahnutia, u zasiahnutých osôb sa môžu prejaviť chorobné zmeny v ich duševnej činnosti ako v pocite strachu alebo v bezhlavej činnosti. Smrteľné príznaky sa môžu objaviť od niekoľko minút do 48 hodín, priebeh ďalšej otravy je obdobný ako u látok typu G.

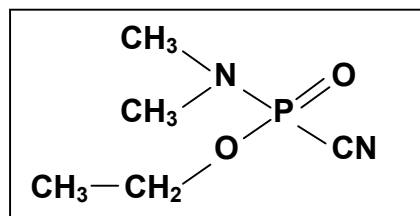
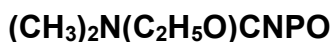
Nervovoparalytické otravné látky sú určené k ničeniu živej sily buď primárnym pôsobením vo forme aerosólu alebo pár, keď zasahujú živú silu inhalačne alebo cez nechránený povrch tela, alebo vo forme kvapiek pre kontaktné zamorenie terénu a objektov, kde predpokladáme aj dlhodobejšie zamorenie ovzdušia uvoľňujúcimi sa parami. Pri zamorení povrchu terénu je treba počítať aj so zamorením rastlín a vody.

Novou skutočnosťou daných látok je tzv. dvojzložkový typ munície – **binary**, ktorý spočíva na možnosti vzniku látky z netoxických poloproduktov – príloha č. 3.

¹³) US Army Chemical Center, Edgewood, Maryland

Tabun**GA**

etyléster kyseliny dimetylamínokyanofosforečnej



Bezfarebná alebo mierne nažltlá kvapalina (podľa stupňa čistoty) so slabo násadlým ovocným zápachom alebo horkomandľovou vôňou (uvolňujúci sa kyanovodík), vo vode slabo rozpustná (max. 12% roztok), dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	-49 °C	bod varu:	+246 °C
výparnosť:	0,61 g/m ³	hutnosť pár:	5,6
tepelný rozklad:	+130 °C	bod vznietenia:	+78 °C

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha pomalej hydrolyze, produktom je kyanovodík a iné splodiny. V silne kyslom alebo alkalickom prostredí prebieha hydrolyza rýchlo, autokatalýza prebieha pri pH < 4 v dôsledku prítomnosti HCN.

Do organizmu preniká celým povrchom tela. Normálnym odevom prenikajú pary tabunu behom 30 minút. Pary i jemné aerosólové častice kvapalného tabunu sú veľmi rýchlo absorbované dýchacími orgánmi, očnou sliznicou, pokožkou a zažívacím systémom. Jeho účinok na organizmus je okamžitý.

Behom niekoľkých minút po zasiahnutí sa účinky otravy prejavujú zúžením zorničiek, poruchou videnia, bolesťami hlavy. Poškodenie dýchacích orgánov vedie k nadmernému vylučovaniu slín a pokračuje rozvojom systémových príznakov muskarínového a nikotínového typu a poškodením centrálného nervového systému. Obmedzené okysličovanie pľúc vyvoláva cyanózu a stav bezvedomia. Celková slabosť organizmu je vystriedaná paralýzou svalov jazyka a dýchacích orgánov, čo vedie k celkovej obrne svalstva.

Smrť nastáva ochromením činnosti dýchacích orgánov a srdca. Intenzita a doba, za ktorú sa objavujú príznaky zasiahnutia, závisia na celkovej obdržanej dávke, na bráne vstupu a na rýchlosti akou vnikol tabun do organizmu. Smrteľná otrava pri zasiahnutí organizmu cez kožu môže nastať behom 1 až 2 minút, ale aj do 2 hodín.

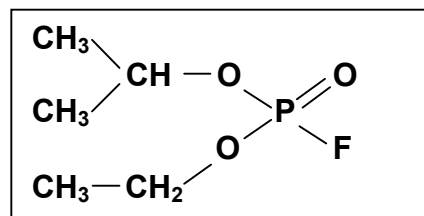
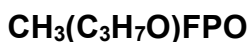
Pri inhalačných otravách dochádza k úmrtiu behom 1 až 10 minút, veľmi rýchlo prebieha otrava so smrteľnými následkami pri zasiahnutí očí kvapalnou formou. Detoxikuje pomaly ale preukázateľne.

inhalačne	LD ₅₀	0,4 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,3 g/m ³ .min
pokožkou	LD ₅₀	20 g/m ³ .min	LD ₅₀	20 mg/kg

Stálosť tabunu na teréne je závislá na hustote zamorenia terénu, charakteru porastu a podľa teploty prostredia sa pohybuje od niekoľko hodín až do niekoľkých dní. Doba efektívneho pôsobenia tabunu v teréne rozptýleného v kvapalnej forme sa pohybuje v rozmedzí 1 až 2 dní.

Sarin**GB**

izopropylester kyseliny metylfluorofosforitej



Bezfarebná kvapalina podobná vode, bez zápachu, vo vode dobre rozpustná, mieša sa v každom pomere, dobrá rozpustnosť v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia:	-56 °C	bod varu:	+147 °C
výparnosť:	0,12 g/m ³	hutnosť pár:	4,86
tepelný rozklad:	odolný	bod vznietenia:	vysoký

Vo vodnom prostredí za normálnej teploty podlieha pomalej hydrolyze, produktom je - v kyslom prostredí fluorovodík, - v zásaditom prostredí izopropylalkohol a polymérne zlúčeniny. V silne alkalickom prostredí prebieha hydrolyza rýchlo, priebeh hydrolyzy urýchľujú chlórnanové ióny.

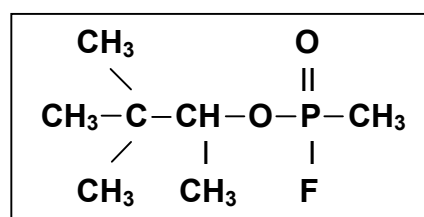
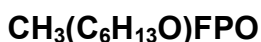
Účinok na organizmus je obdobný ako u tabunu, rýchlosť rozvoja klinických príznakov je vyšší. Poškodenie organizmu v zrovnaní s účinkami tabunu je ďaleko rýchlejšie, účinok na organizmus je okamžitý. Po obdržaní smrteľnej dávky nastáva obyčajne behom 15 minút smrť. Koncentrácia 0,002 g/ m³ pri jednominútovej expozícii vyvoláva miózu očí, koncentrácia 0,09 - 0,1 g/ m³ pri expozícii 1 minúty je smrteľná. Smrteľná dávka zažívacím ústrojenstvom je 0,14 mg/kg hmotnosti človeka. Nedetoxikuje, má kumulatívne účinky.

inhalačne	LD ₅₀	0,01 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,07 g/m ³ .min
pokožkou	LD ₅₀	12 g/m ³ .min	LD ₅₀	8 mg/kg

Podľa fyzikálnych vlastností patrí medzi k poloprchavým otravným látkam. Pri teplotách okolo 20 °C sa predpokladá jeho účinok v kvapalnom stave asi 2-3 hodiny.

Soman**GD**

pinakolyester kyseliny metylfluorofosforitej



Bezfarebná kvapalina so slabým gáfrovým zápachom, slabo rozpustná vo vode (max. 15% roztok), dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia ¹⁴ :	-70 °C	bod varu:	+167 °C
výparnosť:	2,06 g/m ³	hutnosť pár:	6,33
tepelný rozklad:	odolný	bod vznietenia:	vysoký

Vo vodnom prostredí podlieha hydrolyze veľmi pomaly, produktom je fluorovodík a pinakolyester. Priebeh hydrolyzy ovplyvňuje pH prostredie, v alkalickom prostredí prebieha hydrolyza veľmi rýchlo.

¹⁴) tuhne v nekryštalickú sklovitú hmotu

Účinok na organizmus je obdobný ako u tabunu a sarinu, rýchlosť rozvoja klinických príznakov je vyšší. Poškodenie organizmu v zrovnaní s účinkami tabunu alebo sarinu je ďaleko vyššie a nastáva už pri nižších koncentráciách. Koncentrácia 0,0002 g/ m³ pri jednominútovej expozícii vyvoláva miózu očí, koncentrácia 0,07 g/ m³ pri 30 sekundovej expozícii alebo 0,09 g/ m³ pri expozícii 1 minúty je smrteľná. Smrteľná dávka pokožkou je 1-1,5 mg/kg hmotnosti človeka.

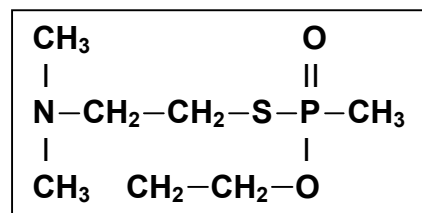
inhalačne	LD ₅₀	0,05 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,035 g/m ³ .min
pokožkou	LD ₅₀	- g/m ³ .min	LD ₅₀	1,5 mg/kg

Doba v ktorej sa prejavujú ničivé účinky somanu v teréne je ovplyvňovaná teplotou prostredia, spôsobom rozšírenia a rázom terénu. Za normálnych podmienok sa počíta s perzistenciou v trvaní 1 až 2 dní.

VX

VX

O-etyl-S-2-dimetylaminoetyléster
kyseliny metyltiofosforitej



Bezfarebná až nažltlá kvapalina so slabým zápachom po spálenej gume, veľmi slabo rozpustná vo vode, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách.

bod tuhnutia ¹⁵⁾ :	-51 °C	bod varu:	+300 °C
výparnosť:	0,01 g/m ³	hutnosť pár:	nad 1
tepelný rozklad:	+300 °C	bod vznietenia:	-

Proti samovoľnej hydrolýze je veľmi odolná, produkty hydrolýzy sú málo toxické. Alkalické prostredie urýchľuje hydrolýzu len veľmi málo, pre hydrolytické (rozkladné) reakcie má najväčší význam pH prostredia, najvhodnejšie je pH = 8.

Ničivé účinky sú obdobné ako u látok typu G, ale jej pôsobenie je razantnejšie, pôsobí hlbšie a v menších koncentráciách. Klinickým príznakom zasiahnutia sú drobné záchvevy povrchového svalstva, čiastočné chorobné zmeny v duševnej činnosti (strach, bezhlavosť), priebeh ďalšej otravy je rovnaký ako u látok typu G. Smrteľné príznaky sa môžu objaviť od niekoľko minút do 48 hodín. Nebezpečná koncentrácia inhalačne je 10⁻⁴ až 10⁻⁵ g/ m³, prahová koncentrácia je 0,005 g/ m³, smrteľná koncentrácia je 0,036 g/ m³. Smrteľná dávka pre človeka požitím je len 15 mg. Pretože látka VX má kumulatívny účinok, môže byť nebezpečná i pri malých koncentráciách (rádovo µg/ m³) pri dlhšej expozičnej dobe.

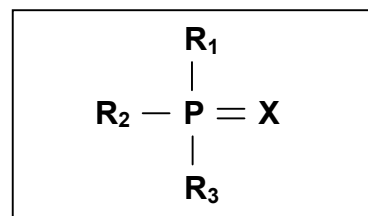
inhalačne	LD ₅₀	0,01 g/m ³ .min	ED ₅₀	0,005 g/m ³ .min
pokožkou	LD ₅₀	0,08 mg/kg		

Nízka výparnosť ju radí medzi trvalé otravné látky, použitie vo forme aerosólu alebo hrubej disperzie (200-300 µm), jej stálosť na teréne v letnom období je asi 2-3 týždne, v zime až niekoľko mesiacov. Chemické vlastnosti a vysoká stabilita vylučujú možnosť odmorovania bežnými alkalickými činidlami (alkalické odmorovacie zložky pre sarin, soman).

¹⁵⁾ technický produkt má bod tuhnutia okolo -10 °C

Pre boj proti rastlinným škodcom sa vyrobili látky typu tiofosfátov, ktoré sú veľmi málo toxické pre teplokrvné, avšak medzi nimi existujú veľmi účinné insekticídy, ktoré v čistom stave nepatrne inhibujú cholinesterázu. Neskoršie sa zistili vysokotoxické zlúčeniny, vznikajúce v organizme z uvedených insekticídov oxidačnými a izomerizačnými procesmi. To podnietilo výskum a vývoj nových vysokotoxických organofosfátov.

Základom sú organické zlúčeniny fosforových inhibítorov cholinesterázy, ich vysoká toxicita, rýchly účinok a nezistiteľnosť podľa zápachu v nízkych koncentráciách. Vychádzajúc zo základnej štruktúry organofosforových zlúčenín boli pripravené rady látok, ktoré boli podrobené vojensko-chemickému a toxickému hodnoteniu.



Tabuľka 4.1

Štruktúra najdôležitejších látok typu „V“

Číslo	Kód	Označenie	X	R ₁	R ₂	R ₃
I	-	systox	S	C ₂ H ₅ O-	C ₂ H ₅ O-	-OC ₂ H ₄ SC ₂ H ₅
II	VG	amiton	O	C ₂ H ₅ O-	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂
III	-	37 SN	O	CH ₃ -	i-C ₃ H ₇ O-	-SC ₂ H ₄ N(CH ₃) ₂
IV	-	25 SN, medemo	O	CH ₃ -	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(CH ₃) ₂
V	VM	edemo	O	CH ₃ -	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂
VI	VE	918 SN	O	C ₂ H ₅ -	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂
VII	VS	-	O	C ₂ H ₅ -	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(i-C ₃ H ₇) ₂
VII	VX	-	O	CH ₃ -	C ₂ H ₅ O-	-SC ₂ H ₄ N(i-C ₃ H ₇) ₂

Somatogénne nervovoparalytické otravné látky

Už dlhšiu dobu pútajú pozornosť vysoko toxické látky vylučované rôznymi druhmi živých organizmov - paralytické jedy drobných jedincov prírody. Jednou z najtoxickéjších látok je jed získaný z dravých morských slimákov rodu Conus. Vyvoláva poruchu súmernosti pohybov, precitlivenosť a zvýšenú dráždivosť, postupne zosilujúce kŕče a pred smrťou obrnu celého organizmu. Podľa príznakov pôsobí jed pravdepodobne na nervový prenos a nie je možno vylúčiť účinok na centrálnu nervovú sústavu.

Paralytický účinok má tiež jed z morských mekýšov a určitého druhu rýb „puffer fish“, ktorý vyvoláva najskôr chvenie až necitlivosť pier a jazyka, zmenu citlivosti prstov, ochabnutie a obrnu svalstva šije a končatín, ochabnutie dýchacích svalov čo vedie k smrti udusením. Tento jed je vytváraný morským bičikovcom Conyalax catanella. Veľmi príbuzný jed bol získaný z morského planktónu. Bolo zistené, že ide o biologickú substanciu, obsahujúcu dusík, rozpustnú vo vode, nerozpustnú v tukoch, ktorý najúčinnejšie pôsobí práve na človeka.

4.5.6 Psychoaktívne otravné látky

Prudký rozvoj v používaní látok psychotropného charakteru ako trankvilizátorov, sedatív a rady podobných látok v bežnej praxi ovplyvnil i záujem špecialistov o využitie ich určitých špecifických vlastností k vojenským účelom. Preto je jedným z nových smerov výskumu aj oblasť otravných látok dočasne vyradujúcich živú silu. Vychádza sa z predpokladu, že použitie týchto látok znemožní protivníkovi akúkoľvek činnosť, bez spôsobenia smrteľných účinkov a ničenia materiálových hodnôt.

Otravné látky psychoaktívne (psychochemické), podľa charakteru pôsobenia rozdeľujeme do dvoch podskupín. Prvú podskupinu tvoria **látky psychomimetické**, ktoré vyvolávajú prechodné poruchy duševnej činnosti, druhú skupinu tvoria **látky psychotropné**, ktoré vyvolávajú dočasné zneschopnenie jednotlivca v dôsledku paralýzy, oslepnutia alebo ohluchnutia. Z podrobného štúdia fyziologických účinkov psychoaktívnych látok vyplýva, že väčšina týchto látok sa nevyznačuje výhradne psychomimetickými alebo psychotropnými účinkami, ale ich účinky sa vzájomne prelínajú a obvykle jeden z nich je prevažujúci.

Látky psychotomimetické - v tejto skupine sa skúmala celá rada zlúčenín, z ktorých je najzaujímavejšia skupina námelových alkaloidov. Námelové alkaloidy sú zmesou rôznych chemických látok, z ktorých boli izolované deriváty základnej substancie kyseliny lysergovej, všeobecne vyvolávajúce príznaky duševnej choroby, z ktorých najdôležitejší je halucinačný účinok. Jedná sa hlavne o poruchu optického a akustického vnímania, pocity odosobnenia a depresie. Obraz týchto psychických stavov sa podobá obrazu duševnej choroby - schizofrénie.

Látky psychotropné - zatiaľ čo látky psychomimetické vyvolávajú u človeka príznaky duševnej choroby, látky psychotropné oslabujú fyzickú činnosť, tlmia jeho pohyblivosť, robia ho apatickým k vonkajším podnetom, vyvolávajú ospalosť, ochrnutie, zasiahnutý zaspáva alebo upadá do hlbokého bezvedomia.

Zneschopňujúce látky môžeme obecnne definovať ako chemické zlúčeniny, ktoré v malých dávkach znemožňujú po určitú dobu plniť normálne úlohy. Nakoniec sa zasiahnutý plne zotaví, bez potreby lekárskej pomoci. Patria sem vedľa niektorých prírodných zlúčenín predovšetkým veľmi účinné preparáty pripravené umelo. Prírodného pôvodu je veľká skupina alkaloidov získaných z rôznych druhov rastlín, významné sú i jedovaté látky produkované niektorými živočíchmi. V posledných rokoch bola syntetizovaná celá rada farmaceuticky účinných látok, z ktorých časť sa v súčasnosti používa ako liek.

Na rozdiel od smrteľných otravných látok pôsobia tieto látky len po určitú dobu, po ktorej sa organizmus vráti do normálneho stavu. Hoci pravdepodobnosť smrteľného zasiahnutia je malá, môžu mať aj smrteľné účinky pri niekoľkonásobnom prekročení účinnej koncentrácie látky. Smrť môže nastať ako u nervových jedov porušením srdečnej činnosti, zastavením dýchania, kŕčmi svalov časti organizmu a pod.

Podľa súčasných poznatkov sa výskum orientuje predovšetkým na prehĺbenie znalostí o vlastnostiach, možnostiach výroby a spôsoboch použitia látok, ktoré svojim chemickým zložením môžeme zaradiť do skupín derivátov kyseliny lysergovej, derivátov tryptamínov, derivátov fenylalkylamidov a derivátov piperidylglykolátov.

a) deriváty kyseliny lysergovej

Z tejto skupiny je venovaná pozornosť najmä monoetyl a dietylamidom kyseliny lysergovej, z ktorých najvýznamnejší je dietylamid kyseliny lysergovej LSD.

LSD-25

dietylamid kyseliny d-lysergovej

Biela kryštalická látka ihličkovitého charakteru, bez zápachu, ťažko rozpustná vo vode, dobre v organických rozpúšťadlách. Topí sa pri 83 °C, kedy nastáva aj jej rozklad. Vplyvom vzdušného kyslíka a svetla sa čiastočne rozkladá a farbí do hnedá, pri dlhodobom skladovaní sa musí uchovávať pod inertnou atmosférou (CO₂).

Ničivé účinky sa prejavujú v centrálnom pôsobení na psychické, somatické a senzitivne funkcie organizmu. V psychickej oblasti sa prejavujú zmenami nálad od euforických stavov k silne depresívnym, intenzívnymi príznakmi schizofrenického charakteru, poruchami vnímania a pocitmi odosobnenia. V somatickej oblasti sa prejavujú ataxiou prejavujúcou sa najmä zníženou koordináciou svalovej činnosti a paralytickými príznakmi vedúcimi k ochrnutiu dôležitých svalových orgánov. Senzitivne príznaky intoxikácie sa prejavujú mydriatickými javmi (rozširovanie zorničiek), zvýšením telesnej teploty, zrýchlením alebo spomalením srdčej činnosti, zvýšením alebo znížením krvného tlaku a dýchacími ťažkosťami.

Do organizmu preniká dýchacími a zažívacími orgánmi, iné cesty prenikania sú bezvýznamné. Napriek tomu, že smrteľná dávka tejto látky je pomerne vysoká, dochádza už vplyvom nepatrných koncentrácií (niekoľko µg) k narušeniu normálnej psychickej činnosti zasiahnutých osôb. V normálnych podmienkach sa považuje za dostatočná koncentrácia asi 360 - 600 mg.min/m³, pri zamorení vody koncentrácia 100 mg/m³. V organizme sa ukladá vo väčšine orgánov (pečeň, svalstvo, mozog), v ktorých sa po určitej dobe chemicky mení, prípadne sa viaže na bielkoviny.

Fyziologické účinky sa prejavujú s miernym oneskorením, obvykle po 40 až 60 minútach, maximálna intenzita po 2 až 3 hodinách. Celková doba príznakov zasiahnutia, behom ktorej sa prejavuje poškodenie organizmu, je 8 až 12 hodín, s tým že po 5 až 6 hodinách dochádza k postupnému doznievaniu príznakov.

b) deriváty tryptamínu

K tejto nie menej významnej skupine psychoaktívnych látok psychomimetického charakteru patrí N,N-dimetyltryptamín, bufotenín, psilocín a psylocybín, z ktorých najmä posledný sa z ohľadom na možné vojenské využitie javí ako najvýznamnejší.

Psylocybín

4-fosforyloxy-N,N'-dimetyltryptamín

Biela kryštalická látka, bez zápachu, dobre rozpustná vo vode a vriacom alkohole, nerozpúšťa sa v chloroforme, s bodom topenia 185-195 °C.

Ničivé účinky sa prejavujú obdobne ako účinky LSD, akurát intenzita príznakov napadnutia je v podstate menšia. K prvým príznakom zasiahnutia patrí strata rovnováhy, celková telesná slabosť a nevoľnosť, paralytické oslabenie činnosti svalových orgánov, stŕpnutosť pier a jazyka znemožňujúca súvislý hlasový prejav.

V ďalšom priebehu intoxikácie sa dostavujú zrakové poruchy a halucinácie, strata priestorovej orientácie. Sprievodným javom bývajú depresívne stavy s duševným napätím a pocitmi strachu, bolesti v žalúdočnej oblasti a zvláštne pocity pri ovládaní končatín (ľahkosť alebo značná obtiažnosť), i vonkajšie zmeny poškodenia organizmu prejavujúce sa sčervenáním citlivých miest pokožky, nadmerným potením, slzením, znížením sluchovej vnímavosti, spomalením myslenia, neistotou, stratou ostražitosti, ospalosťou a pocitmi odosobnenia.

I keď je 100 až 150 krát menej účinný ako LSD, vyvoláva pri zasiahnutí osôb dávkou 4 až 8 mg vážne psychické poruchy, ktoré vedú k funkčnému vyradeniu. Účinok je mierne oneskorený, prvé príznaky sa prejavujú po 20 až 45 minútach v závislosti na dávke a spôsobe vstupu do organizmu. Maximálna intenzita príznakov zasiahnutia sa prejavuje medzi 1 až 2 hodinou po zasiahnutí, celková doba trvania psychického poškodenia je asi 3 hodiny. Skrátene doby latencie je možno dosiahnuť jeho kombináciou s N,N'-dimetyltryptamínom, látkou, ktorá má podobné účinky, ale jej pôsobenie sa prejavuje behom 3 až 4 minút.

c) deriváty fenylalkylamínov

Z tejto skupiny látok bola overovaná účinnosť rady derivátov alkoxyamfetamínu a muskalínu, z nich najväčšiu pozornosť bola zatiaľ venovaná meskalínu. Pozornosť odborníkov priťahuje na týchto látkach pomerne vysoká biologická účinnosť a dlhá doba, po ktorú sa účinky poškodenia organizmu prejavujú.

Účinné dávky, ktoré sú schopné u človeka vyvolať poznateľné psychické poruchy sa pohybujú od 0,2 do niekoľkých mg na 1 kg hmotnosti. Doba trvania príznakov zasiahnutia sa pohybuje v rozmedzí 10 až 12 hodín, u slabších jednotlivcov trvajú príznaky až niekoľko dní.

Meskalín

3,4,5-trimetyloxyfenyletylamín

Bezfarebná hustá olejovitá látka, bez zápachu, vo vode nerozpustná, dobre rozpustná v organických rozpúšťadlách, s bodom varu 180 °C. V čistom stave alebo účinkom vzdušného CO₂ prechádza do kryštalického stavu.

Príznaky zasiahnutia sa prejavujú mydriatickými zmenami, zvýšením srdečného rytmu a krvného tlaku, snahou o zrýchlenie pohybových návykov a kadencie hovoreného slova. Z oblasti zmyslového vnímania dochádza k intenzívnym prežitkom schizofrenického rázu, ku striedaniu depresívnych a euforických stavov, k narušeniu priestorovej a pohybovej orientácie a objavujú sa pocity odosobnenia. K sprievodným javom intoxikácie patria prejavy úzkosti, nevoľnosti, silné potenie, sucho v ústach.

Do organizmu preniká dýchacími a zažívacími orgánmi, iné cesty prenikania sú bezvýznamné. V dávkach 200 až 600 mg na jednotlivca spôsobuje dočasné poškodenie organizmu, ktorého účinok je pomerne oneskorený, Po 30 až 60 minútach sa objavujú počiatočné príznaky zasiahnutia, ktoré je možno do značnej miery porovnávať s účinkami LSD-25. Doba trvania príznakov poškodenia sa prejavuje po dobu viac ako 10 hodín a u jednotlivcov citlivých voči zmyslovému vnímaniu dochádza k narušeniu psychických vnemov až po dobu niekoľkých dní.

Výrazným faktorom z hľadiska jeho prípadného použitia sa ukazuje skutočnosť, že táto vlastnosť prevažuje nad nedostatkom, ktorý spočíva v pomerne úzkej účinnosti tejto látky. Zaujímavosťou je však skutočnosť, že rada látok podobného chemického zloženia sa vyznačuje podstatne vyššou účinnosťou ako meskalín, v odbornej literatúre však týmto látkam nebola doteraz venovaná významnejšia pozornosť.

Tabuľka 4.2

Porovnanie niektorých alkoxyfenylalkylamínov s meskalínom

Látka	Účinná dávka (mg/kg)
Meskalín	3 – 4
4,5,6-trimetoxyamfetamín	1,9
3-metoxy-4,5-metylendiamfetamín	1,4
6-metán 4,5-metyléndioxyamfetamín	0,21
2-metoxy-4,5-metyléndioxyamfetamín	0,18

d) deriváty piperidylglykolátov

Veľmi zaujímavá skupina psychochemických látok, ktorým sa najmä v poslednej dobe venuje mimoriadna pozornosť. Pri zasiahnutí živej sily vyvolávajú vážne poruchy organizmu nielen v oblasti psychickej ale i v somatickej.

K základným predstaviteľom tejto rady patrí dimetylglykolát, N-etyl-3-piperidyl-fenyl-cyklopentylglykolát, N-etyl-2-pyrolidil-metyl-fenyl-cyklopentylglykolát, 1-(1-fenyl-cyklohexyl)-piperidín a N-metyl-3-piperidylbenzilát. V porovnaní s LSD a meskalínom sú účinky schizofréneho charakteru u týchto látok ešte výraznejšie. Z uvedených derivátov je v súčasnosti venovaná mimoriadna pozornosť ditranu a N-metyl-3-piperidylbenzilátu.

Ditran

zmes hydrochloridov (30% N-etyl-3-piperidyl-fenyl-cyklopentylglykolátu a 70% N-etyl-pyralidimetyl-fenyl-cyklopentylglykolátu).

Fyziologické účinky sú s miernym oneskorením, príznaky zasiahnutia sa prejavujú poruchami myslenia, stráca sa schopnosť logického chodu myšlienok, dostávajú sa poruchy hovoreného slova. Zmätené výroky alebo rýchla kadencia slov bývajú doprevádzané euforickými prejavmi nadmerného veselia, striedajúce sa s pochmúrnymi depresívnymi stavmi. Príjemné pocity sa striedajú s pocitmi strachu, ktoré na druhej strane vyvolávajú agresívne bojové nálady k zabráneniu vymyslených ohrození.

Tieto príznaky úzko súvisia s objavovaním sa optických a akustických halucinácií, ktoré zmnohonásobujú akustické a optické vnemy skutočnosti, ktorými sú zasiahnuté osoby obklopené. Pri zasiahnutí osôb vyššími dávkami ditranu sa okrem uvedených príznakov poškodenia organizmu dostavuje nadmerná ospalosť, pri zachovaní schopnosti reagovať na vonkajšie podnety a pocity.

Do organizmu preniká dýchacími a zažívacími orgánmi, iné cesty prenikania sú bezvýznamné. Pri zasiatí v dávkach 5 až 15 mg na osobu po určitej dobe latencie (30 až 50 minút) vyvolávajú poruchy organizmu psychického a somatického charakteru. Účinná dávka je pri perorálnom podaní v rozmedzí 5 až 20 mg na osobu, t.j. asi 70 až 290 mg na 1 kg hmotnosti. Doba, po ktorú sa príznaky zasiatia prejavujú je pomerne dlhá, pohybuje sa v rozmedzí 5 až 20 hodín. Po tejto dobe dochádza k pozvoľnému zoslabovaniu účinkov a návrat organizmu do normálneho stavu.

e) psychoaktívna látka BZ

3-chinuklidinbenzilát

Ničivé účinky sú charakterizované na prechodnú dobu poruchou fyzických funkcií alebo psychického zneschopenia, prípadne oboch. Účinok je krátkodobý a doznieva bez nutnosti liečebného zásahu. Podstatou účinku látky BZ (prípadne jej analógov) je blokáda účinku acetylcholínu, ktorý je fyziologicky uvoľňovaný v miestach nervových spojov alebo na nervových ukončeníach. Blokádou jeho funkcie potom dochádza k poruchám nervovej činnosti v centrálnej nervovej sústave ale aj na periférii.

Do organizmu preniká len dýchacími orgánmi, ako najúčinnější forma sa ukazuje aerosól. V koncentrácii 110 mg.min/m³ spôsobuje dočasné vyradenie 50 % zasiatanej živej sily. Podanie 0,5-1 µg/kg cez zažívací trakt vyvolá za ½ až ¾ hodiny typický obraz intoxikácie, v rade pokusov bolo dokázané že 20 až 50 µg vdychovanej dávky spôsobuje charakteristické znaky otravy. Príznaky zasiatia sa rozvíjajú obvykle za 1 až 1,5 hodiny po vniknutí do organizmu a možno ich charakterizovať ako pocit nadmernej telesnej únavy, ospalosti, zmätenosti, poruchami reči a rovnováhy, celkovou časovou a priestorovou dezorientáciou, narušením myslenia, zrýchlením pulzu, telesnej teploty, sčervenáním pokožky, pocitom sucha v ústach a sliznici horných ciest dýchacích, rozšírením zorničiek. Môžu sa prejaviť zrkové, čuchové, sluchové i hmatové halucinácie, skratovité až zmätené chovanie, pocity zúfalstva až panického strachu.

4.5.7 Pomocné látky

Vedľa výskumu, vývoja a zavádzania nových typov otravných látok má v rámci vývoja nových otravných látok svoj zmysel i výskum pomocných látok. Zmyslom prímеси takýchto látok je zvyšovanie účinnosti so zameraním na zlepšenie niektorých menej výhodných fyzikálnych alebo fyzikálno-chemických vlastností. Nejde len o prímеси k zníženiu bodu tuhnutia alebo prchavosti zmesi, čo je snaha riešiť tento problém priamo výberom otravnej látky, aby neboli znižované toxické účinky balastnými prísadami.

Táto tendencia sa prejavuje napr. v snahe o zvýšenie perkutánnej účinnosti rady otravných látok. V tomto smere môže za príklad slúžiť dimetylsulfoxid (DMSO), ktorý niekoľkonásobne urýchľuje prienik pokožkou a tak i perkutánnu toxicitu u niektorých látok s inak vysokou účinnosťou.

Táto látka bola skúšaná v kombinácii s nervovoparalytickými otravnými látkami a psychotomimetikami, nie sú však dôkazné údaje o jej trvalom zavedení do praktického používania.

4.6 Subjektívne dôkazy otravných látok

V súvislosti so zdokonaľovaním jednotlivých zbraňových systémov a rozširovaním spôsobov použitia chemických zbraní rastie význam komplexnej ochrany proti účinkom otravných látok. Jedným z prvých predpokladov je zistenie prítomnosti otravných látok v záujmovom priestore. Napriek rozvoju jednotlivých technických prostriedkov zisťovania a vyhodnocovania jednotlivých druhov otravných látok a ich začleneniu v jednotlivých zložkách ochrany, zostáva stále v popredí problematika subjektívneho zistenia prítomnosti otravných látok. V niektorých prípadoch môžu pozorované príznaky použitia otravných látok byť prvým varovným signálom.

Existuje rada príznakov použitia otravných látok, zistiteľných na základe zmyslových vnemov. K týmto príznakom patrí:

- vytváranie oblaku hmly (dymu) v mieste použitia otravnej látky,
- neobvyklé kvapky, práškovité zmesi,
- zmeny na vegetácii,
- zmeny na hmyze a drobnom zvieratstve,
- charakteristický zápach (vôňa),
- dráždivý účinok na oči, pokožku, sliznicu, dýchacie cesty - prvé príznaky zasiahnutia.

Tento súbor príznakov je obecný a jednotlivé body majú rôzny význam a dôležitosť z hľadiska jednotlivých druhov otravných látok, spôsobu použitia, všeobecnej situácie v danom prostredí, dennej a ročnej dobe, poveternostných podmienkach a geografii priestoru.

Oblak hmly (dymu)

Tento príznak je charakteristický zvlášť pre látky používané v aerodisperznej sústave s pevnými alebo kvapalnými časticami. Oblak sa vytvára ako z bodových jednorázových zdrojov výbušného systému, tak i z líniových zdrojov dlhodobiejšieho vypúšťania. Vznikajúci oblak má väčšinou bledošedú až šedú farbu. Obdobný oblak sa môže tvoriť i sekundárne z oblaku pár niektorých hydrolyzovateľných látok klasického typu (fosgén), alebo je charakteristickým javom u klasických látok používaných vo vysokých koncentráciách. Naproti tomu oblak vznikajúci pri výbuchu je menej výrazný u novších typov otravných látok, kde je oblak zmesou pár a kvapalných častíc a kde podiel kvapalných častíc rastie s klesajúcou výparnosťou. Uvedený zrakový vnem môže byť silne komplikovaný výskytom prachu alebo dymov pri požiari okolo prítomných objektov (najmä v nočných podmienkach).

Výskyt kvapiek

V súčasnej dobe je hlavný spôsob použitia otravných látok na živú silu formou vytvárania primárnych oblakov zamoreného ovzdušia. Výsledkom je dopad relatívne malého množstva látky na povrch a terén a navyše výskyt malých tuhých čiastočiek alebo kvapiek. Okrem toho nové otravné látky sú pre dosiahnutie väčšej stability podstatne čistejšie a vytvárajú kvapaliny (tuhé látky) bez charakteristickej farby. Trvalé otravné látky tvoria väčšinou menej pohyblivé kvapaliny, ktorých kvapky sa zachytávajú na rôznych druhoch povrchov a ľahko je ich možnosť prehliadnutia alebo zamenenia napr. s kvapkami rosy. Kvapky alebo práškovitá forma tuhých látok sa skôr zistia na hladkých rovných povrchoch ako na teréne.

Zmeny na vegetácii

Škrvny na vegetácii, zmeny zafarbenia listov sa prejavujú všeobecne až po určitej dobe expozície a sú charakteristické skôr pre klasické otravné látky, ktoré za prítomnosti vzdušnej vlhkosti hydrolyzujú a vytvárajú kyslé látky, spôsobujúce zmeny zafarbenia do žltá až hnedá. Zmeny na vegetácii sú predovšetkým typické u úmyselného použitia herbicídov, pri ktorých dochádza k odumretiu celých zelených nadzemných častí rastliny. Na druhej strane pri použití nových druhov otravných látok sa v krátkej dobe neprejavujú na vegetácii žiadne charakteristické zmeny.

Zmeny na hmyze a drobnom zvieratstve

Väčšina otravných látok má toxické účinky na mnohé živočíšne druhy. Klinický obraz zasiahnutia, sa však podľa jednotlivých živočíšnych druhov značne odlišuje a existuje i druhová citlivosť v toxicite (človek je ďaleko citlivejší voči dráždivým látkam ako drobná zver). Psychoaktívne látky vyvolávajú síce niektoré zmeny v pohybovej aktivite i v sociálnom chovaní zvierat, ale v teréne nie je možno dané prejavy identifikovať. Veľmi sa však prejavuje účinok nervovoparalytických látok, ktoré pôsobia ako systémové jedy u všetkých druhov hmyzu a drobnej zvere. Neklamným dôkazom použitia týchto látok je uhynutý hmyz, drobné hlodavce a zvieratá, pričom je typická predsmrtná poloha na chrbte s kŕčovitou polohou končatín tzv. tremor. Je možno pozorovať záchvevy svalstva až prudké kŕče, pri ktorých zviera hynie.

Charakteristický zápach (vôňa)

U starších typov otravných látok bol tento príznak pokladaný za základný varovný symptóm, čo zodpovedalo skutočnosti, že látky mali nielen svoj charakteristický zápach, ale vo väčšine prípadov zápach bol zistiteľný v koncentráciách, ktoré sú pre krátke expozičné doby neúčinné alebo nepatrne účinné. Zavedenie nových otravných látok (nervovoparalytických, psychochemických) znamenalo základný prelom v tejto oblasti. Vysoká toxicita a neexistencia charakteristického zápalu (vône) v neškodných koncentráciách, prípadne nepatrný zápach, ktorý sa prejavuje už v koncentráciách, pri ktorých môžeme zaznamenať ľahké príznaky otravy.

Dráždivý účinok

U dráždivých otravných látok leží minimálna dráždivá koncentrácia blízko koncentrácie zistiteľnej čuchom. I mnoho iných klasických látok má charakteristickú hranicu dráždivého účinku, ktorá však leží všeobecne vyššie, ako je koncentrácia zistiteľná čuchom, avšak pod hranicou účinku, takže niektoré klasické otravné látky (yperit, fosgén, chlórkyán), ktoré nie sú zistiteľné čuchom, môžu na seba upozorniť svojimi dráždivými účinkami, ktoré sú však nešpecifické a pri koncentráciách, keď sa prejavuje dráždivý účinok, už môže dochádzať k ľahkej intoxikácii.

Príznaky zasiahnutia

Tento spôsob dokazovania sa stal objektívnou realitou až po zavedení nervovoparalytických otravných látok, keď sa počíta ako dôkaz prítomnosti týchto OL v ovzduší, tak i pre posúdenie stanovenia možnosti sňatia ochranných prostriedkov. Použitie dôkazu podľa subjektívnych príznakov (pod dozorom zdravotníka sa pozorujú možné príznaky zasiahnutia - mióza zorničiek) môže byť nezávisle na vôli živej sily za určitých podmienok jediným spoľahlivým dôkazom, i keď dôjde k čiastočnému zníženiu funkčnosti jednotlivca alebo kolektívu.

5 BIOLOGICKÉ PROSTRIEDKY

Biologické prostriedky, ako jedna zložka zbraní hromadného ničenia, majú v súčasnosti špecifické postavenie. Ich rozsah a účinnosť, spôsoby použitia, ale najmä cielené účinky na živú silu, zvieratá a rastlinstvo ich dávajú znova do popredia pozornosti predovšetkým z hľadiska ich možného diverzného použitia.

Problematika výroby, uskladňovania, použitia a účinkov bakteriologických zbraní ako aj ochrana proti nim vychádza v rozhodujúcej miere z mikrobiológie ako základného vedného oboru, ktorý skúma mikroorganizmy, ich štruktúru a fyziológiu, vlastnosti a životné prejavy, ako aj ich význam pre život rastlín, zvierat a ľudí. Delí sa na **bakteriológiu** - náuku o baktériách, rickettsiách a chlamýdiách, **virológiu** - náuku o vírusoch, **mykológiu** - náuku o hubách, kvasinkách a plesniach, **protozoológiu** - náuku o prvokoch, **helmintológiu** - náuku o červoch a **entomológiu** - náuku o článkonožcoch. S mikrobiológiou úzko súvisí aj **imunológia** - veda o imunite, t.j. ochrane makroorganizmov, **sérológia** - veda o sérových protilátkach a možnosti ich dôkazu a **epidemiológia** - veda o boji proti nákazám, ich vzniku a šíreniu.

5.1 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA

Pojem **biologické (bakteriologické) prostriedky** zahŕňa látky, ktoré sú známe alebo je dôvodná podozrelosť že obsahujú patogénne látky t.j. životaschopné mikroorganizmy - vrátane baktérií, vírusov, rickettsií, parazitov, húb, tiež ako rekombinované, hybridné alebo mutované mikroorganizmy - a látky, o ktorých je známe, alebo je potrebné predpokladať, že vyvolávajú choroby ľudí alebo zvierat. Do tejto skupiny patria tiež geneticky zmenené mikroorganizmy, biologické produkty, diagnostikované vzorky a infikované živé zvieratá, ak spĺňajú tieto podmienky.

*„**Biologické produkty**“ sú hotové biologické preparáty, ktoré sa používajú v humánnej alebo veterinárnej medicíne a vyrábajú sa v súlade s predpismi národných zdravotníckych úradov, a keď je to potrebné, dávajú sa do obehu s osobitným povolením týchto úradov, alebo biologické preparáty pre vývojové alebo výskumné úlohy, alebo hotové preparáty pre experimentálne ošetrovanie ľudí alebo zvierat, ktoré boli vyrobené v súlade s predpismi národných zdravotníckych úradov.*

*„**Diagnostikované vzorky**“ od ľudí alebo zvierat sú okrem iného vylučované látky, sekréty, krv a krvné deriváty, tkanivo a tkanivové tekutiny pre pokusné alebo výskumné účely s výnimkou infikovaných živých zvierat.*

K základným faktorom biologických prostriedkov patrí schopnosť vyvolávať u napadnutých osôb, hospodárskych zvierat a poľnohospodárskych a lesných kultúr v požadovanom rozsahu hromadné infekčné i neinfekčné ochorenia, ktoré sú príčinou dočasného, prípadne trvalého vyradenia daných objektov z aktívnej činnosti. Významným faktorom je i možnosť ich hromadnej výroby, stálosti v poľných podmienkach i pri dlhodobom skladovaní, a vytvárania v minimálnych koncentráciách podmienky pre vyvolávanie hromadných infekčných ochorení osôb a zvierat a v špeciálnych prípadoch i poľnohospodárskych a lesných kultúr.

Hromadná výroba jednotlivých druhov biologických látok a prípravkov a dostupnosť vhodných technických prostriedkov ich rozširovania je v súčasnosti prepracovaná a nerobí veľký problém. Vhodné technologické úpravy umožňujú ich dlhodobé skladovanie a ľahkú prípravu na použitie v poľných podmienkach.

5.2 ZARADENIE BIOLOGICKÝCH LÁTOK

Biologické látky (z hľadiska úmyselného použitia - vojna, diverzia - definované ako jedna zložka biologických prostriedkov) sú charakterizované ako vysokoúčinné látky najmä pri priestorovo neohraničených cieľoch, schopné prenikať i do uzavretých priestorov, rozdielne v rozvoji a v dĺžke trvania príznakov poškodenia živej sily a zložitosti v predpovedaní a zisťovaní následkov napadnutia. K rozhodujúcim faktorom týchto látok patrí schopnosť vyvolávať u zasiahnutých osôb, úžitkových zvierat a hospodárskych kultúr hromadné infekčné alebo i neinfekčné onemocnenia, ktoré sú potom príčinou vyradenia z aktívnej činnosti, prípadne ich ďalšieho použitia. Takéto látky (mikroorganizmy) označujeme ako patogénne (choroboplodné) a ich schopnosť vyvolávať ochorenia označujeme ako patogenita. Miera patogenity, t.j. invazivita alebo toxigenita mikroorganizmov sa označuje ako virulencia.

Biologické látky sú choroboplodné zárodky (patogénne mikroorganizmy), ktoré vyvolávajú infekčné onemocnenia až smrť živej sily a hospodárskych zvierat. Patrí sem tiež rada chemických látok a zmesí, ktoré sa vyznačujú schopnosťou poškodzovať prípadne ničiť poľné a lesné kultúry. Ďalej sa tu radia rôzne druhy infikovaného hmyzu a hlodavcov, ktoré je možno používať vo forme živých prenášačov k rozširovaniu infekčných onemocnení. V závislosti na veľkosti, tvare a biologických vlastnostiach sa patogénne mikroorganizmy delia na:

- baktérie,
- rickettsie,
- vírusy,
- huby - pliesne,
- prvoky.

K vojenským účelom sa však využívajú len prvé 3 skupiny, s tým že použitie húb a pliesní je značne problematické a veľmi špecifické a prvoky majú malý význam.

Všetky mikroorganizmy tvoria samostatnú skupinu organizmov - tzv. protisty, ktoré delíme na **nižšie protisty** (baktérie, rickettsie, chlamýdie) a **vyššie protisty** (prvky, huby). Z hľadiska účinku patogénnych mikroorganizmov a charakteru objektu zasiahnutia môžeme jednotlivé látky a prípravky rozdeliť do troch základných skupín:

a) biologické prostriedky zasiahnutia ľudí

- pôvodcovia bakteriálnych nemocí (mor, cholera, tularémia),
- pôvodcovia vírusových onemocnení (pravé kiahne, žltá zimnica).
- pôvodcovia rickettsiáz (škvrnitý týfus),
- pôvodcovia hubových (plesňových) onemocnení,
- toxíny (botulotoxín).

b) biologické prostriedky zasiahnutia zvierat

- pôvodcovia bakteriálnych nemocí (antrax),
- pôvodcovia rickettsiálnych onemocnení (psitakóza),
- pôvodcovia vírusových onemocnení (slintavka, dobytčí mor).

c) biologické prostriedky k ničeniu poľných alebo lesných kultúr

- sneť zemiaková, obilná, kukuričná,
- škodlivý hmyz (mandelinka zemiaková),
- chemické zlúčeniny (herbicídy, defolianty).

5.2.1 Baktérie¹⁶

Skupina jednobunkových mikroorganizmov, s voľne uloženou DNA stočenou do kruhovitého útvaru, ktoré neobsahujú pevné bunkové jadro. Kvôli tejto špecifickej vlastnosti sa baktérie zaraďujú k prokaryotom, naopak v rastlinnej, živočíšnej a ľudskej bunke je DNA uložená v bunkovom jadre, preto sa radia k eukaryotom. Každá baktéria pozostáva iba z jedinej bunky veľkosti 0,2 µm až 2,0 µm, ktorej chýba určitá nukleárna membrána a má bunkovú stenu výnimočného zloženia. V tvare spór môžu tvoriť veľmi rezistentné trvalé formy, ktoré celé desaťročia vzdorujú aj tým najnepriaznivejším podmienkam prostredia.

Eukaryoty - najpočetnejšia skupina živých organizmov (huby, rastliny a živočíchy), eukaryotický organizmus je organizmus s vyššou formou bunkovej organizácie, s diferencovaným jadrom, ktoré je od bunkovej cytoplazmy oddelené obalom.

Vonkajší vzhľad baktérií vychádza z istých jednoduchých základných foriem, najjednoduchší tvar - okrúhly, je typický pre **koky**, zložitejší tvar majú **tyčinky**. Rozlišujeme tak: koky, diplokoky, streptokoky, stafylokoky, bacily, vibriá a spirochety.

Koky - jedná sa o guľovité baktérie, ktoré sa vyskytujú jednotlivo alebo v skupinách. Pod skupinovú zoskupenia patria koky v dvojiciach - **diplokoky** - tvarom sa podobajú žemli, koky v zhlukoch - **stafylokoky** - koky v tvare strapca hrozna, koky v podobe retiazok - **streptokoky** - retiazkovité koky a koky v štvoriciach alebo po ôsmich jednotlivcoch - **sarcíny** - balíčky.

Tyčinky - baktérie, ktoré tvoria viactvaré (pleomorfné) vlákna, alebo sa vyskytujú v tvare lalokov, ako napr. korytné baktérie. Ďalej sa baktérie môžu vyskytovať vo forme ohnutých tyčiniek, pričom môžu byť jednoducho zakrivené ako napr. **vibriá**, špirálovité, alebo aj skrutkovité ako napr. **spirochéty**.

Antrax - sneť slezinová

Pôvodca nákazy je *Bacillus anthracis*¹⁷ z čeľade Bacillaceae, rod *Bacillus* spôsobujúci akútny septicko-toxický stav s vysokou úmrtnosťou. Najčastejšia forma je kožná (pustula maligna), zriedka pľúcna a črevná forma. Infekčnosť je zapríčinená najmä tým, že *Bacillus* vytvára puzdro, ktoré bráni fagocytóze (imunitný systém nedokáže zneškodniť tieto baktérie). Nebezpečenstvo sa zvyšuje schopnosťou tejto baktérie vytvárať spóry, ktoré sú schopné prežívať aj za veľmi nepriaznivých podmienok. Identifikácia baktérie a liečba ochorenia je ľahká. Nebezpečenstvo spočíva v rýchlom priebehu ochorenia a v potrebe včas diagnostikovať ochorenie (inkubačná doba niekoľko hodín až 3 dni). Baktéria produkuje toxín, ktorý zvyšuje cievnú priepustnosť za tvorby opuchu. To spôsobuje aj krvácanosť a zlyhanie vnútorných orgánov.

Spóry sú "neživá" forma, ktorá za priaznivých okolností (napr. v ľudskom tele po vdýchnutí) opätovne "ožíva" a rozmnožuje sa. Spóry sú malé častice (ako prach), ktoré dokážu prežiť v pôde v latentnej podobe celé roky, schopné vznášať sa vo vzduchu, čo je veľmi nebezpečné najmä pre možnosť vdýchnutia.

¹⁶⁾ **baktéria** - prokaryotický jednobunkový organizmus zaraďovaný medzi rastliny, **bakteriofág** - vírus napádajúci baktérie, reprodukuje sa v bakteriálnej bunke.

¹⁷⁾ názov je odvodený od gréckeho slova antrakis, čo znamená uhlie, pretože kožná forma ochorenia sa väčšinou prejavuje čiernymi rankami na koži.

Z človeka na človeka sa antrax neprenáša. Prenos nákazy je najčastejšie priamym kontaktom s chorým zvieratom alebo produktmi (koža, srst') alebo požitím mäsa a produktov z nakazeného zvierat'a. Možnosť prenosu je aj hmyzom (bodavé muchy - napr. zlatoočko). Spóry antraxu môžu infikovať človeka cez porezanú alebo odretú pokožku, prostredníctvom konzumácie nakazeného mäsa alebo pri ich vdýchnutí (pri vdýchnutí vzniká spravidla pľúcna forma, pri požití mäsa črevná). Tri druhy antraxu sa nazývajú podľa toho, akým spôsobom sa dostali do organizmu: kožný, žalúdočno-črevný alebo pľúcny (inhalačný).

Od r. 1965 je zaznamenaný prudký pokles výskytu ochorenia u ľudí. Posledný prípad na Slovensku bol v roku 1977 (pastier oviec).

Pľúcny antrax - najmenej bežný druh.

Spóry sa dostanú cez pľúcne mechúriky do lymfatického systému. Môže však trvať až dva mesiace, kým sa spóry zaktivizujú. Len čo sa tak stane, začnú produkovať toxíny, ktoré rýchlo vyvolávajú silné krvácanie.

Spočiatku kašeľ a kýchanie, podobne ako pri chrípke. Do 36 hodín sa objaví bolesť na pľúcach, vážne dýchacie problémy a nastane šok. Tento druh antraxu sa zvyčajne končí smrťou asi do dvoch dní od zaktivovania jeho spórov. Každé oneskorenie pri zavedení antibiotík znižuje u človeka šancu na prežitie. Úmrtnosť pri tomto druhu antraxu je asi 89%.

Žalúdočno-črevný antrax - tento typ ochorenia je dosť neobvyklý.

Dochádza k nemu po požití mäsa nakazeného antraxom. Akútny zápal čriev, počiatočná nevoľnosť, strata chuti do jedla, zvýšená teplota sprevádzaná bolesťami brucha, zvracaním krvi a akútnymi hnačkami. Bez liečenia tento typ onemocnenia v 24% až 60% prípadov končí smrťou.

Kožný antrax - v 95 % prípadov výskytu.

K väčšine nakazení dochádza cez poranenú pokožku. Keď sa spóry antraxu zaktivizujú, vyprodukujú toxíny, ktoré poškodzujú kožné tkanivá. Choroba sa môže rozšíriť po celom tele, ale smrť nastáva len zriedka. Kožné infekcie sa najprv prejavujú svrbivou opuchlinou, ktorá sa v priebehu 2 - 6 dní zmení na vred a potom na čiernu ranu. Pri liečení je úmrtnosť na túto formu antraxu menej ako 1%.

Chorých ľudí liečime konzervatívne (antibiotiká - penicilín, prípadne je možné použiť iné antibiotikum penicilínovej rady napr. cefalosporíny), v USA sa liečia antibiotikami typu ciprofloxacín, v Británii známom ako ciproxin, dĺžka liečby je 5 - 7 až 28 dní.

Mor

Endemické nákazlivé ochorenie vyvolané mikroorganizmom *Pasteurella pestis*. Prejavuje sa zdurením miazgových uzlín a ich nekrózou alebo pľúcnou lokalizáciou s prudkým septickým priebehom, pri ktorom človek zomiera v kóme.

Zdrojom nákazy sú hlavne hlodavce, menej pes, opica, ťava; človek iba pri pľúcnej forme. Hlavným sprostredkovateľom a prenoscom sú najmä blchy. Dĺžka nemoci je 1 až 2 mesiace, neliečená choroba má úmrtnosť 30 až 100 %. Získaná imunita organizmu je iba prechodná.

Cholera¹⁸

Akútna črevná infekcia, zapríčinená baktériou *Vibrio cholerae*, rožtekovitého tvaru, s rozmermi asi 0,5 až 0,8 μm v priemere a 1,4 až 2,6 μm do dĺžky patriaca do skupiny Vibrionaceae. Obýva vodné prostredia s veľkou variabilitou slanosti, preto sa často vyskytuje ako súčasť planktónu a bentosu (organizmov oceánskeho dna) pobrežných zón morí. V závislosti od podmienok (kvality a kvantity organického materiálu, kyslosti, teploty prostredia) je schopná prežívať aj v sladkých vodách.

Prirodzeným zdrojom cholery je človek. Baktéria cholery, ktorá si udržuje svoj cyklus prenosu (človek - životné prostredie - človek), nebola objavená v žiadnom inom živočíchovi, hoci viaceré laboratórnych zvierat je na ňu vnímavých. Prežíva mimo organizmu asi 7 dní, najmä vo vlhkom a teplom prostredí, vo vodách prežíva od niekoľkých hodín až po niekoľko týždňov, v závislosti od kontaminácie vody organickým materiálom a jej kyslosti, optimum pH sa pohybuje medzi 6 až 9.

Cholera často prebieha v asymptomatickej forme (bez príznakov), ale v prípade, že sa prejaví, je charakterizovaná hojnou vodnatou hnačkou, zvracaním, rýchlou dehydratáciou, metabolickou acidózou a hypovolemickým šokom (znížením celkového množstva krvi). V ťažkých, neliečených prípadoch môže dôjsť až k zlyhaniu obličiek alebo krvného obehu, choroba v týchto prípadoch končí u polovice pacientov smrťou, a to do 24 hodín po svojom objavení.

Patogénny proces je výsledkom zložitého mechanizmu, na začiatku ktorého stoja virulentné faktory a na konci klinický obraz cholery. Faktorom virulencie u vibrií je zmes toxínov, ktorú tvoria **cytotoxíny**, ktoré sa viažu na membrány buniek tvoriacich epitel tenkého čreva a tým umožňujú následný prienik **enterotoxínov** (zvýšené vylučovanie vody z bunky) a teda k masívnemu úniku vody z tela človeka.

5.2.2 Rickettsie

Jednobunkové mikroorganizmy patriace do skupiny gramnegatívnych baktérií (spolu s chlamýdiami, ktoré sa v buňkách množia zvláštnym vývojovým cyklom). Vlastné rickettsie sú kokobacily veľkosti 0,5 x 1,0 μm , rozmnožujúce sa len v živých bunkách priečnym delením (vyžadujú od nich prísun základných látok, ale energetický metabolizmus majú vlastný). I keď sa k pestovaniu týchto mikróbov používa vírologických postupov, nie sú prechodom medzi baktériami a vírusmi. Odolnosť voči vonkajšiemu prostrediu a dezinfekčným látkam je veľmi malá, pri nižších teplotách (pod +5 °C rýchle hynú). Len v prirodzenom prostredí (výkaly vší) znesú vyschnutie.

Patogenéza všetkých druhov rickettsií je podobná - prenikajú do tela porušenou pokožkou, vo vstupnej bráne sa rozmnožujú a šíria sa po organizme krvnou cestou s tým, že ich lokalizácia je oblasť drobných ciev a kapilár, v ktorých majú sklon na dlhodobé pôsobenie. Z postihnutia cievnych stien vyplývajú príznaky zasiahnutia - vyrážky, horúčka, bezvedomie až smrť.

V epidemiológii rickettsií sa uplatňuje nepriamy prenos drobnými parazitmi (vši, blchy, roztoče, kliešte). S výnimkou škvrnitého týfusu je v prirodzenom obehu rickettsií človek len náhodným medzičlánkom.

¹⁸⁾ pôvod slova nie je presne známy, ale s najväčšou pravdepodobnosťou je odvodený z hebrejského výrazu *choli-ra*, čo znamená zlá nemoc.

Škrvný týfus

Pôvodcom nákazy je rickettsia prowazekii¹⁹, ktorého hlavným nositeľom a prenášačom sú ľudské vši (najmä šatné vši). Rickettsie sa rozmnožujú v črevnom epiteli vší, ktoré pri nasávaní krvi infikujú daného jednotlivca. Škrabaním svrbiacich miest sa zanesú rickettsie zo zaschlého trusu od vší drobnými poškodeniami pokožky do organizmu .

Škrvný týfus (epidemická škrvnivka) je vážne celkové horúčkovité ochorenie s vyrážkami, kde úmrtnosť je vysoká zvlášť u starších osôb. Po ochorení nasleduje dlhodobá imunita, ale mikrób môže v tele prežívať. U niektorých jedincov sa potom po mnohých rokoch môže dostať recidíva, ktorá prebieha miernejšie, ale zavšivavený nemocný sa môže stať nebezpečným zdrojom nákazy.

Q-horúčka²⁰

Pôvodcom ochorenia je Coxiella burnetti, ktorá sa líši od rickettsie tým, že sa v bunke nemnoží priamo v cytoplazme, ale v ohraničených vakuolách. Je vysoko odolná k okolitému prostrediu a špecifická náznakom reprodukčného procesu - tvorbou teliesok podobných endospóram, výborne znášajú vyschnutie.

V prírode sa udržuje pomocou kliešťat medzi drobnými hlodavcami. Okrem toho pôsobí väčšinou infekciu dobytká, ktorý ju vylučuje stolicou, močom alebo mliekom. Vdýchnutím aerosólu alebo kontaminovaného prachu, výnimočne pitím nepasterizovaného mlieka alebo kožnou cestou sa veľmi ľahko nakazí človek.

Infekcia sa najčastejšie prejavuje ako atypická pneumónia (zápal pľúc). Ďalšími možnými prejavmi sú dlhodobé fibrilné (křčovitý) stavy, meningitída až endokarditída. Má sklon k chronickému priebehu, po infekcii pretrváva neskorá precitlivosť.

4.2.3 Vírusy

Najmenší a najjednoduchší biologický jedinec veľmi malých rozmerov (20-300 nm), ktorý je zložený z nukleovej kyseliny (RNA alebo DNA), obsahujúcej genetickú informáciu a z ochranného bielkovinového obalu, schopný infikovať iba bunky a v nich sa reprodukovať.

Najmenšie vírusy majú priemer asi 20 nm, stredné vírusy 100-150 nm a najväčšie 200-300 nm, čím sa blížia k baktériám. Nemajú enzýmy, a preto sa môžu rozmnožovať iba v živých bunkách organizmov, ktoré im poskytujú svoje enzýmy, energiu, aminokyseliny a iné. Táto skutočnosť ich predurčuje k tomu, aby pôsobili ako intracelulárny parazit ľudí, zvierat, rastlín a niektorých baktérií. Mimo hostiteľskej bunky vírusy len prežívajú a v závislosti od vonkajších podmienok (teplota, PH...) strácajú schopnosť infikovať, lebo sú postupne inaktivované.

Vírusy vyvolávajú infekcie u všetkých známych organizmov (ľudia, zvieratá, hmyz, rastliny, huby, baktérie,...). Kompletná infekčná vírusová častica sa nazýva virión, jej nukleová kyselina je obalená proteínovou schránkou - kapsidom, ktorý tvoria jednotlivé bielkovinové podjednotky - kapsoméry.

¹⁹⁾ mikrób dostal názov podľa objaviteľov, ktorí sa stali jeho obeťou.

²⁰⁾ z anglického názvu query - divný.

Vírusy infikujúce človeka delíme na :

- a) **deoxyribovírusy** (DNA vírusy)
parvovírusy, papovavírusy, adenovírusy, herpesvírusy, poxvírusy,
- b) **ribovírusy** (RNA vírusy)
pikornavírusy, togavírusy, bunyavírusy, reovírusy, rabdovírusy, arenavírusy, koronavírusy, paramyxovírusy a ďalšie.

Pri lokálnych vírusových infekciách sú brána vstupu i cieľový orgán totožné. Pri celkových, systémových, generalizovaných vírusových infekciách sa vírus zachytí a primárne rozmnoží vo vstupnej bráne (zvyčajne na sliznici dýchacích ciest - u človeka najdôležitejšia brána vstupu) a odtiaľ sa dostáva do lymfatických a krvných ciest. Nimi sa šíri a infikuje vnímavé bunky, rozmnožuje sa v nich a lymfou alebo krvou sa roznáša až po cieľový orgán (v prípade kliešťovej encefalitídy to môže byť CNS). Inkubačná doba systémových vírusových infekcií je pomerne dlhá (týždne až mesiace) a imunita je spoľahlivá.

Väčšina vírusov stráca infekčnú aktivitu pri teplote 50 - 60 °C po 30 minútach, var ich ničí hneď. Naopak, čím nižšia teplota, tým dlhšie trvá infekčná aktivita vírusov. Pri teplote +4 °C sa patogenita (infekčnosť) vírusov udrží niekoľko dní, u teploty -30 °C niekoľko týždňov a u teploty -70 °C sú to mesiace až roky. Pri použití vhodných stabilizátorov (bielkoviny a cukry) možno suspenzie vírusov zmraziť, potom vysušiť a zataviť vo vákuu alebo inertnom plyne. Takto pripravené preparáty - (lyofilizované) si uchovávajú infekčnú aktivitu pri teplote 14 °C veľa rokov. Ionizačné a UV žiarenie inaktivuje vírusy poškodením ich kyseliny nukleovej.

Vírus slintavky a kulhavky

Pôvodcom je pikornavírus (veľmi malý - priemer viriónu 20 - 30 nm). Je to neobalený RNA-vírus, ktorý syntetizuje a dozrieva v cytoplazme bunky, v zaschnutom stave je pomerne rezistentný k vplyvom vonkajšieho prostredia. Vyvoláva patogénne zmeny predovšetkým na hovädzom dobytku, ktoré sa prejavujú ako vysoko nákazlivé horúčkovité onemocnenia s tvorbou pľuzgierov na sliznici úst a jazyka a na pokožke okolo kopýt. Vylučuje sa najrôznejšími sekrétmi a výnimočne je prenosný i na človeka, u ktorého vyvoláva onemocnenie s podobnými klinickými príznakmi.

Flavivírus

Špecifická skupina vírusov antigénne veľmi príbuzná. Pôvodcom je vírus febris flava, pôvodca žltej zimnice, od ktorého dostala názov celá skupina vírusov (flavivírusy) spôsobujúca okrem iného horúčku dengue, kliešťovú encefalitídu, ktoré patria medzi tzv. arbovírusy - vírusy prenášané drobným hmyzom. Prenos nie je mechanický ale biologický, pričom sa vírus v tele hmyzu rozmnožuje.

Arbovírusy sa v prírode vyskytujú v určitých lokalitách, v tzv. prírodných ohniskách nákazy, kde kolujú medzi teplokrvnými obratlovcami ako netransparentné infekčné onemocnenie, ktorým sa pri nasávaní krvi infikujú komáre, kliešte a pod. Človek nebýva prirodzeným článkom kolobehu, ale ak sa zdržuje v danom ohnisku nákazy, môže sa infikovaným hmyzom nakaziť. Väčšina účinkov prebieha neviditeľne, s nešpecifickými príznakmi. Typické klinické príznaky sa prejavujú ako ťažké onemocnenie s postihnutím pečene (žltá zimnica), chrípkovitým ochorením s vyrážkou (horúčka dengue) alebo príznakmi postihnutia CNS (encefalitída).

5.2.4 Toxíny

Špecifické postavenie medzi biologickými látkami z hľadiska svojho pôvodu a účinku majú **toxíny**, ktoré môžu byť mikrobiologického, rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Jedy niektorých rastlín alebo i živočíchov a ich toxické vlastnosti boli známe a využívané (prípadne zneužívané) k rôznym účelom už v najstarších úsekoch ľudských dejín. Toxíny jedovatých živočíchov a ich účinok na iné organizmy fascinovali ľudstvo odnepamäti a zrejme tomu tak bude i v najbližšej budúcnosti.

Prírodné toxíny sú chemické látky biologického pôvodu, produkované jednobunkovými i viacbunkovými organizmami v špeciálnych žľazách alebo tkanivách. Vytvárali sa v procese evolúcie v mikroorganizmoch, v hubách, rastlinách i živočíchoch, a v tomto časovo dlhom procese získali špecifické a niekedy jedinečné vlastnosti. Po chemickej stránke sú to zložité bielkovinové molekuly, pozostávajúce z viacerých druhov aminokyselín, ktoré sú samostatné netoxické, ich vzájomné prepojenie v molekule však vytvára silne toxickú látku. V podstate sú produktom niektorých druhov baktérií, rickettsií a vírusov a vyskytujú sa v dvoch modifikáciách.

Exotoxíny, ktoré patria k rozpustným toxínom difundujúcim zo živých baktérií, sú jedovatejšie, ale podstatne menej odolné voči vplyvom vonkajšieho prostredia. Ako látky antigénneho charakteru podnecujú v organizme tvorbu protilátok (**antitoxínov**), ktorými je možno účinok exoproduktov neutralizovať.

Endotoxíny sú produktom patogénnych mikroorganizmov ako baktériové exoprodukty, ktoré vznikajú len pri delení alebo hynutí baktérií. Ich hlavným charakterom pôsobenia je poškodzovanie drobných ciev črevnej steny a črevnej sliznice, kde sa dostávajú predovšetkým s potravou. Vonkajším prejavom je mohutný odsun vody z buniek do črevného obsahu a vzniklá hnačka. Sú podstatne menej účinné a len slabo antigénne, nedajú sa neutralizovať antitoxínom.

Dôležitou vlastnosťou toxínov je možnosť ich premeny v toxoidy. Toxoidy sú látky, ktoré neohrozujú zdravie človeka, ale zachovali si schopnosť tvorby protilátok proti bakteriálnym toxínom. Tieto protilátky, potom v tele napadnutého človeka toxíny zlikvidujú. Toxoidy sú preto s úspechom využívané v zdravotníctve k očkovaniu infikovaných osôb, u ktorých sa objavia klinické príznaky alimentárnej otravy

Bakteriálne toxíny

Patria medzi najsilnejšie pôsobiace toxíny v prírode. Botulotoxín a tetanotoxín sú najsilnejšie pôsobiace toxíny vôbec, preto sú označované ako „supertoxíny“. Toxíny sú uvoľňované do potravín behom rastu baktérií v kontaminovanej potravine. Do organizmu sa toxíny dostávajú požitím kontaminovanej potraviny, kde môžu vyvolať otravu z potravín tzv. alimentárnu intoxikáciu.

Toxíny, ktoré poškodzujú bunky čriev a u postihnutého jedinca vyvolávajú zvracanie, sú označované ako tzv. **enterotoxíny**, onemocnenie je enterotoxikóza. Tieto toxické termostabilné bielkoviny vydržia expozíciu pri teplote 100°C po niekoľko minút. Pri požití v kontaminovanej potrave sa behom niekoľkých hodín dostavia symptómy stafylokokovej alimentárnej intoxikácie (nevoľnosť, zvracanie a hnačka). Medzi najznámejších pôvodcov enterotoxikóz (črevné onemocnenie vyvolané bakteriálnymi toxínmi) patrí baktéria *Bacillus cereus* a *Clostridium perfringens*.

Produkcia toxínov je u týchto baktérií spojená s ich prechodom z „aktívnej“ formy (tzv. vegetatívnej) na formu „spiacu“ (tzv. spóry). Tento prechod vyvoláva hlavne príliš kyslé prostredie a zvýšená teplota. Klasické tepelné spracovanie potravín síce zníži počet „aktívnych“ bakteriálnych buniek, ale môže paradoxne prispieť k produkcii toxínov, ktoré sa predtým v potravine nevyskytovali. Rovnaký efekt má tiež okysľovanie potravín napr. pridávaním octu do majonézových šalátov.

Iné typy toxínov zasahujú predovšetkým nervové bunky tzv. **neurotoxíny**. K týmto toxínom patria už citovaný botulotoxín a tetanotoxín. Neurotoxíny sa vyznačujú paralyzujúcim účinkom na nervové bunky, čo vedie ku svalovým kŕčom. Medzi veľmi nebezpečné baktérie produkujúce neurotoxíny patrí *Clostridium botulinum*, ktorým produkovaný toxín je označovaný ako botulotoxín. Ku kontaminácii potravín *Clostridium botulinum* dochádza spórmi z pôdy, kde sa táto baktéria bežne vyskytuje.

Klinické príznaky otravy botulotoxínom sa obvykle objavujú 18 - 36 hodín po požití kontaminovanej potravy. Prejavuje sa nútením k zvracaniu, zvracaním, hnačkou a čiastočnou obrnou svalov. Medzi ďalšie komplikácie patrí dvojité alebo rozmazané videnie, poklesnutie očného viečka ako dôsledok ochrnutia, vznik kŕčovitej grimasy v tvári, náhla až prudká strata hlasu, rýchly nástup paralýzy dýchacích svalov. Smrteľná dávka pre človeka je 0,1 ng/kg živej váhy.

Baktérie Clostridium botulinum a samotné botulinické neurotoxíny sa veľmi často vyskytujú ako na čerstvých, tak i priemyslovo spracovávaných potravinách. Baktérie Clostridium botulinum ani produkované neurotoxíny nestrácajú svoju aktivitu v kyslom prostredí, spóry prežívajú niekoľkohodinový var.

Zoo toxíny

V poslednom období sa do popredia dostávajú toxíny vyskytujúce sa v organizmoch drobných živočíchov (plazy, obojživelníky, hmyz) u ktorých je problematika ako indikácia tak aj prvá pomoc a ochrana. Podľa charakteru pôsobenia a príznakov účinku na ľudský organizmus (organizmus vyšších živočíchov) ich členíme na:

- neurotoxíny,
- hemotoxíny,
- kardiotoxíny,

pričom väčšina z nich nemá len daný špecifický (prevažujúci) účinok, ale ich účinky sa zmiešavajú a prelínajú.

V morských mäkkýšoch sa vyskytujú paralytické toxíny, ktoré spôsobujú otravy u ľudí po ich konzumácii. Jedná sa o C toxín, gonyautoxín, saxitoxín a neosaxitoxín. Tieto toxíny sú veľmi stabilné od -35°C do +5°C a pri pH 3 - 4. Ich eliminácia z týchto zdrojov potravín je možná tepelnou úpravou pri teplote +60°C až +120°C a vyššom pH. C toxín je relatívne nízko toxický, ale za určitých podmienok sa môže premieňať na vysokotoxické karbamáty (gonyautoxín 2 a 3).

Kyselina domoiková je paralytickým toxínom, ktorý produkujú drobné riasy žijúce v mori. Toxín sa vyskytuje v jedlých kraboch, ančovičkách, mušliach a môže vážne ohroziť zdravie konzumenta.

Mykotoxíny

Toxické chemické látky, ktoré sú produkované určitými druhmi plesní parazitujúcimi na niektorých potravinárskych výrobkoch, predovšetkým na cereráliách. Predstavujú potenciálne nebezpečenstvo iba keď sú absorbované vo veľkých množstvách a keďže sú stabilné, možno ich nájsť aj v opracovaných potravinárskych výrobkoch.

Aflatoxíny boli prvé identifikované mykotoxíny a v súčasnosti sú najznámejšie. Produkujú ich niektoré druhy húb *Aspergillus* a vyskytujú sa na rôznych surovinách, ako sú cererálie, dehydrované ovocie, koreniny, figy a sušené ovocie. Medzi približne dvadsiatimi druhmi známych aflatoxínov len štyri boli objavené na potravinách (aflatoxíny B₁, B₂, G₁, a G₂). Modifikované aflatoxíny možno nájsť v mlieku a v mliečnych výrobkoch (aflatoxíny M₁ a M₂). Tieto modifikované aflatoxíny vznikajú v telách prežúvavcov, ktoré boli kŕmené kontaminovaným krmivom.

Aflatoxíny spôsobujú množstvo patologických stavov, medzi ktoré patrí rakovina pečene, chronická hepatitída, žltáčka a cirhóza. Hoci mykotoxíny sú toxické len pri konzumácii vo veľkom množstve, prijímanie malých dávok aflatoxínov počas dlhého obdobia môže ohroziť zdravie. Niektoré aflatoxíny zvyšujú aj nebezpečenstvo mutácií v ľudských alebo zvieracích bunkách. V poslednej dobe sa však v Európe objavili nové mykotoxíny, ktoré sú menej známe, ale v Európe sa často vyskytujú. Sú to ochratoxín A, fumonizíny, zearalenon a deoxynivalenol.

Ochratoxín A (OTA) sa vyskytuje v miernych oblastiach (západná Európa, Kanada a určité oblasti v Južnej Amerike), kde ho produkuje *Penicillium verrucosum*, plieseň, ktorá sa často rozširuje na cereráliách počas skladovania. Vyskytuje sa aj v tropických oblastiach, kde ho produkuje iný druh húb - *Aspergillus ochraceus*.

Fumonizíny - skupina približne pätnástich mykotoxínov, ktoré sa nezriedka vyskytujú na zrnovinách, často súčasne s iným druhom mykotoxínov. V súčasnosti sú známe fumonizíny B1, B2, B3, B4, A1 a A2, najznámejší je Fumonizín B1, ktorý môže spôsobiť zmeny funkcie a štruktúrnej integrity buniek obličiek, kde sa narúšajú procesy glomerulárnej filtrácie, reabsorpcie a sekrécie, zvyšuje sa vylučovanie proteínov s vysokou molekulovou hmotnosťou a dochádza k enzymúrii. Ďalším znakom poškodenia obličiek je zvýšená peroxidácia lipidov, čo vedie k mutagenite a genotoxicite. V prípade rovnakých množstiev, fumonizíny sú oveľa menej toxické ako aflatoxíny, ale často sú prítomné v podstatne väčších množstvách.

Zearalenon (ZEA) - (F-2 toxín) známy ako prírodný hormón estrogén, produkujú mikroorganizmy *Fusarium roseum* (najčastejšie parazitujúce na kukurici) počas chladných vlhkých období v čase vegetačnej periódy a zberu cererálií. Jeho vplyv na ľudí nie je známy, vyvoláva hormonálne problémy u niektorých druhov zvierat, predovšetkým u ošípaných. Patrí k mykotoxínom so silným estrogénnym účinkom, okrem toho pôsobí tiež hematotoxicky a genotoxicky.

Deoxynivalenol (DON) je jednou zo 150 zložiek skupiny trichotecénov. Takmer vždy sa vyskytuje na rastlinách pred zberom. Jeho výskyt závisí od klimatických podmienok, preto je v rôznych regiónoch a obdobiach iný. Prijímanie väčších dávok DON v prípade zvierat spôsobuje zvracanie, nechúť do jedla, stratu hmotnosti a hnačky, odumieranie (nekrózu) určitých tkanív ako napríklad steny zažívacieho traktu, kostnej drene alebo lymfatických tkanív.

5.2.5 Herbicídy a defolianty

V 19. storočí boli použité prvé chemické prostriedky (herbicídy) anorganického typu ako síran meďnatý, železnatý, neskoršie chlorečnan a arzenitan sodný - typickí predstavitelia dodnes používaných **totálnych herbicídov** (látky ničiace všetko rastlinstvo na danej ploche).

Racionalizácia vyžadovala nájdenie **selektívnych herbicídov** (látky ničiace burinu, nepoškodzujúce hospodárske rastliny) väčšinou organického pôvodu, ktorých rozvoj nastal v 40 rokoch minulého storočia. Dnes sa používa okolo 100 základných látok zaradených medzi zlúčeniny ovplyvňujúce rast rastlín. Obecné sa najčastejšie nazývajú **herbicídy**, **fytotoxické látky**, **rastové hormóny**, **inhibítory klíčivosti**, **defolianty** (látky spôsobujúce opadávanie listov), **desikanty** (látky spôsobujúce uschnutie zelených častí rastlín) a **chemosterilanty** (látky spôsobujúce neplodnosť pôdy) v závislosti na špecifickom charaktere účinku.

Látky určené k zasiahnutiu rastlinstva, zavedené v rade armád v 60 až 80 rokoch minulého storočia, môžeme rozdeľovať podľa viacerých hľadísk, z ktorých najpoužívanejšie je podľa účelu použitia:

- látky určené k odlisteniu rastlín (defoliácia),
- látky k ničeniu vyživovacej základne,
- látky určené k sterilizácii pôdy.

a) látky určené k defoliácii

2,4-dichlórfenoxyoctová kyselina **2,4-D**
 $\text{Cl}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{OCH}_2\text{COOH}$

Tento herbicíd vyvinutý už v dobe 2. svetovej vojny sa používa najčastejšie ako ester (najmä butylester) v zmesi ORANGE alebo ako soľ v zmesi WHITE. Je to herbicíd, s vysokým selektívnym účinkom proti rôznym širokolistovým rastlinám najmä kaučukové a mangové porasty²¹.

Toxicita LD₅₀ p.o. na kysu je 400-500 mg/kg.

2,4,5-trichlórfenoxyoctová kyselina **2,4,5-T**
 $\text{Cl}_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OCH}_2\text{COOH}$

Herbicíd pochádza z rovnakého vývojového programu ako 2,4-D, používaný v zmesi ORANGE, s vysokou účinnosťou i na vysoké dreviny.

Toxicita LD₅₀ p.o. na kysu je 300-800 mg/kg.

Pri výrobe niektorých derivátov chlórffenoxyoctovej kyseliny (2,4-D, 2,4,5-T) vzniká ako vedľajší produkt vysoko toxická látka (2,3,7,8 tetrachlór dibenzo-p-dioxín - TCDD) - dioxín, ktorá patrí vôbec k najjedovatejším látkam.

Toxicita LD₅₀ p.o. na morča je 0,002 mg/kg.

*Táto látka sa však nevyužíva ako pesticíd, zostáva ako **znečisťujúca látka !!!** Je to len vedľajší produkt pri výrobe pesticídov a kontaminant prostredia.*

²¹) prvý herbicíd, ktorý bol zneužitý pre vojnové účely (britská armáda v Malajzii začiatkom 50 rokov).

b) látky určené k ničeniu vyživovacej základne

Výber látok pre vojenské využitie je daný hospodárskymi kultúrami, ktoré majú byť ničené. Z hľadiska špecifických požiadaviek na oblasť indočínskeho priestoru bojovej činnosti v 50 až 70 rokoch je to ryža, preto aj výskum bol zameraný na túto kultúru.

dimetylarzenná kyselina²²

Kokadyl

Ako základ zmesi BLUE, ktorá sa používala pre rýchle, ale len krátkodobé odlistenie rastlín, ďalej k odstráneniu tráv, ale hlavne k ničeniu ryžových kultúr. Toxicita LD₅₀ p.o. na krysu je 3,2 g/kg.

c) látky k sterilizácii pôdy

3-(4-chlórfenyl)-1,1'-dimetylmočovina

Monuron, CMU

Totálny pôdny a v obmedzenej forme aj vodný herbicíd s dlhou dobou účinku. Toxicita LD₅₀ p.o. na krysu je 2,5 až 3,6 g/kg.

Triazínové herbicídy

Rozlišujeme 2 hlavné skupiny týchto látok - **azíny** (majú v molekule Cl) a **ethryny** (majú v molekule metyltio- skupinu). Patria sem látky ako:

- atrazín** - je vysoko kumulatívny a poškodzuje sacharidovú a detoxikačnú funkciu pečene,
- simazín** - aj po jednorazovom príjme sa vylučuje dlhšiu dobu z organizmu,
- promethryn** - kumuluje sa najmä v organizme hydiny, u človeka poškodzuje proteosyntetickú funkciu pečene, má embryotoxické účinky, poškodzuje hemopoézu a dochádza k hyperglykémii.

Organofosforečné insekticídy

Okrem inhibičného účinku na acetylcholinesterázu, ktorého príznaky (v jednotlivých syndrómoch) nastávajú rýchlo po prijatí organofosforečného insekticídu potravou, majú tieto látky aj tzv. **neskorý neurotoxický účinok**. Príznaky intoxikácie sa dostavujú až niekoľko dní po expozícii. Dochádza k motorickým a senzorickým poruchám. Tieto poruchy sú spôsobené inhibíciou a dealkyláciou tzv. neurotoxickej esterázy. Intoxikácia prebieha v 4 fázach:

1. **obdobie nešpecifických príznakov**
(nevoľnosť, bolesti brucha, hnačky, bolesti hlavy),
2. **obdobie latentné**
(prvé príznaky zanikajú, človek vyzerá v poriadku a intoxikácia prebieha skryto),
3. **obdobie cholinergného dráždenia**, ktoré sa však nemusí prejaviť
(kumulácia acetylcholínu a neustále dráždenia na nervových zakončeníach - kŕče),
4. **obdobie postupného ochrnutia**
trvá 1 až 2 mesiace, až dochádza k úplnej denervácii a následnej atrofii svalov .

²²⁾ klasický názov podľa Votočka, podľa systému IUPAC kyselina dimetylarzinitá.

5.3 PRIEBEH PÔSOBENIA

Infekčný proces je výsledkom vzájomného pôsobenia patogénov (mikroorganizmov) a makroorganizmu. Infikujúci mikroorganizmus má rozličný stupeň patogenity, čiže rôzne vysokú účinnosť. Proti patogénnym vlastnostiam infekčnej látky pôsobia obranné schopnosti napadnutého makroorganizmu - jeho odolnosť (imunita). Výsledný obraz i koniec infekčného procesu závisí od toho, či prevládne patogenita mikroorganizmu, alebo odolnosť makroorganizmu. Vlastný epidemický proces tvoria tieto tri články:

- a) prameň pôvodcu nákazy,
- b) prenos pôvodcu nákazy,
- c) vnímavý jedinec.

Prameňom pôvodcu nákazy je človek alebo zviera (v oboch prípadoch môže ísť tak o chorého jedinca, ako aj o nosiča), v ktorého tele sa vyskytuje infekčná látka, ktorý sa môže šíriť na iných vnímavých jedincov, alebo iný špecifický zdroj, ktorý je schopný produkovať príslušný patogénny mikroorganizmus alebo vhodnú chemickú látku. Chorí i vhodné nosiče môžu vylučovať infekčnú látku rozličným spôsobom s premenlivou intenzitou a rôznou časovou dobou, ktorá sa môže zmeniť na dlhodobé nosičstvo.

Prenos pôvodcu infekčného ochorenia je druhým článkom epidemického procesu a môže sa uskutočňovať veľmi rozmanito. Závisí predovšetkým od lokalizácie infekčného procesu v prameni pôvodcu nákazy, od odolnosti infekčnej látky proti vonkajším vplyvom ako aj od spôsobu vstupu infekčnej látky u vnímavého jedinca. Infekčná látka sa môže preniesť predovšetkým priamo (priamym stykom) - najmä nákazy, ktorých pôvodcovia sa vyznačujú minimálnou odolnosťou proti vonkajším vplyvom a mimo ľudského alebo zvieracieho tela rýchlo hynú.

Z epidemiologického hľadiska možno infekčné i neinfekčné nákazy rozdeliť na niekoľko skupín, ktoré sú charakteristické spôsobom prenosu, najzvyčajnejšou vstupnou bránou, ale aj druhom najúčinnějších protiepidemických (najmä preventívnych) opatrení. Pri väčšine sa môže prenos uskutočňovať viacerými spôsobmi, jeden však spravidla prevažuje:

- a) **alimentárne (črevné) nákazy**
infekčný agens preniká do tela ústami, zvyčajne s potravou alebo vodou, rozmnožuje sa a udržiava v tráviacich ústrojoch a spravidla sa vylučuje stolicou,
- b) **vzdušné (respiračné) nákazy**
infekčný agens preniká do dýchacích ciest, udržiava a rozmnožuje sa v nich a vylučuje sa z tela so sekrétmi dýchacích ciest,
- c) **transmisné (krvné, prenášané článkonožcami) nákazy**
pôvodcovia sa nachádzajú v krvi a na ich prenose sa zvyčajne zúčastňujú článkonožce, ide o tzv. aktívny (biologický) prenos,
- d) **kontaktné nákazy (kože a slizníc)**
postihujú povrchové štruktúry tela, kožu a vonkajšiu sliznicu, a zvyčajne sa prenášajú priamym alebo nepriamym dotykom.

Nepriamy prenos sa môže uskutočňovať len pri tých infekčných onemocneniach, ktorých pôvodca je relatívne odolnejší proti vonkajším vplyvom, a preto môže prežívať aj mimo ľudského alebo zvieracieho tela. Je charakteristický:

a) **prenos vzdušnou cestou**

je typický pre respiračné nákazy. Uskutočňuje sa kvapôčkovou infekciou, biologickým aerosólom alebo kontaminovaným prachom.

b) **prenos vodou**

sa šíria predovšetkým pôvodcovia črevných nákaz, ktorých pôvodcovia sú pre človeka účinní, a na vyvolanie ochorenia stačí len malé množstvo.

c) **potravinami**

sa infekčné látky prenášajú pomerne ľahko a často, pretože potraviny sú väčšinou veľmi vhodným prostredím pre baktérie, ktoré sa môžu v nich rozmnožovať a zároveň vylučovať i svoje exoprodukty (botulotoxín).

d) **prenos nákazy článkonožcami**

je v podstate dvojaký: pasívny a aktívny.

Pasívny (mechanický) **prenos** sa môže uskutočňovať všade tam, kde žije hmyz a iné článkonožce, ktoré prenášajú infekčnú látku na svojom povrchu, prípadne v tráviacom trakte.

Aktívny (biologický) **prenos** je častejší v tropickom a subtropickom pásme, čo súvisí s podmienkami pre život a rozmnožovanie prenášačov. Infekčná látka sa v tele prenášačov nielen rozmnožuje, ale prechádza aj určitým vývojom.

Vnímový jedinec je tretím článkom epidemického procesu. Od vnímavosti a jej stupňa citlivosti závisí, či u exponovaného jedinca vznikne infekčné onemocnenie a či toto ochorenie prebehne rýchlo alebo pozvoľne. Infekčné ochorenia sa preto môžu vyskytovať v populácii vo forme sporadických prípadov, alebo vo forme hromadných prípadov. Podľa časovej i miestnej súvislosti medzi jednotlivými prípadmi ochorenia rozoznávame štyri formy výskytu infekčných chorôb:

- a) epidemický,
- b) pandemický,
- c) endemický,
- d) sporadický.

Epidemický výskyt (epidémiá) charakterizuje časová a miestna súvislosť medzi jednotlivými prípadmi ochorenia tým istým spôsobom. Priebeh epidémie závisí od dĺžky a rozptylu inkubačnej doby, spôsobu šírenia nákazy, aktívneho vyhľadávania postihnutých a od uplatnenia protiepidemických opatrení a ich účinnosti.

Pandémia je veľmi rozsiahla epidémia, ktorá spravidla prekračuje hranice štátov a kontinentov a nie je na rozdiel od epidémie, priestorovo ohraničená. V súčasnosti sa s pandemickým výskytom stretávame najčastejšie pri chrípke. Vzniká rýchlym rozšírením pôvodcu, proti ktorému ešte nie je v populácii ani čiastočná imunita.

Ak sa niektoré ochorenie vyskytne na ohraničenom území ale bez časového obmedzenia, ide o **endémiu**. Stretávame sa s ňou tam, kde je veľa pôvodcov nákazy a zároveň vhodné podmienky na prenos nákazy (zlá hygienická úroveň), ale aj tam, kde je veľký počet rezervoárov a prenášačov pôvodcov nákazy (oblasti malárie) .

Oblasť epidemického výskytu určitého ochorenia (aj neinfekčného) označujeme ako **endemickú oblasť**. V nej nastáva postupné zamorovanie obyvateľstva a po veľkom počte zjavných alebo skrytých nákaz sa vytvára imunita rozličného stupňa, najmä u dospelých jedincov. Preto v endemických oblastiach postihuje choroba hlavne cudzie osoby, prichádzajúce do oblasti výskytu a obyvateľov mladšieho veku.

Nemenej dôležitým faktorom pri použití biologických látok je i problematika ochrany protivníka, najmä existencia vhodných profylaktických a liečebných prostriedkov voči predpokladanému druhu použitého biologického prostriedku, možnosť disponovania prostriedkami včasného zistenia použitia biologického prostriedku, prípadne, či je ich zistenie obtiažne alebo nemožné. Uvažuje sa o dĺžke inkubačnej doby rozvoja príznakov ochorenia, cestách prenosu nákazy a iných okolnostiach, ktoré môžu ovplyvniť efektívnosť pôsobenia biologických prostriedkov. Na základe kritérií charakteristík pôsobenia a stupňa nebezpečenstva sa tieto látky zaraďujú do nasledujúcich rizikových skupín :

a) riziková skupina IV

obsahuje mikroorganizmy, ktoré môžu vyvolať u ľudí alebo zvierat ťažké ochorenie, a z ktorých môže vychádzať vysoké nebezpečenstvo rozšírenia, normálna účinná prevencia alebo ošetrovanie nie je možné,
(*vysoké individuálne nebezpečenstvo, vysoké nebezpečenstvo pre verejnosť*)

b) riziková skupina III

obsahuje mikroorganizmy, ktoré môžu vyvolať u ľudí alebo u zvierat ťažké ochorenie, a z ktorých môže vychádzať vysoké nebezpečenstvo rozšírenia, normálna účinná prevencia alebo ošetrovanie je možné,
(*vysoké individuálne nebezpečenstvo, malé nebezpečenstvo pre verejnosť*)

c) riziková skupina II

obsahuje mikroorganizmy, ktoré môžu vyvolať u ľudí alebo zvierat ochorenie, a u ktorých je rozšírenie nepravdepodobné, normálna účinná prevencia alebo ošetrovanie je možné,
(*mierne individuálne nebezpečenstvo, obmedzené nebezpečenstvo pre verejnosť*)

d) riziková skupina I

obsahuje mikroorganizmy, u ktorých je nepravdepodobné, že spôsobujú u ľudí alebo zvierat ochorenie.
(*malé individuálne nebezpečenstvo, malé nebezpečenstvo pre verejnosť*)

Z hľadiska možného rozširovania patogénnych mikroorganizmov ako základných prostriedkov biologických látok dostávajú sa do popredia tieto spôsoby:

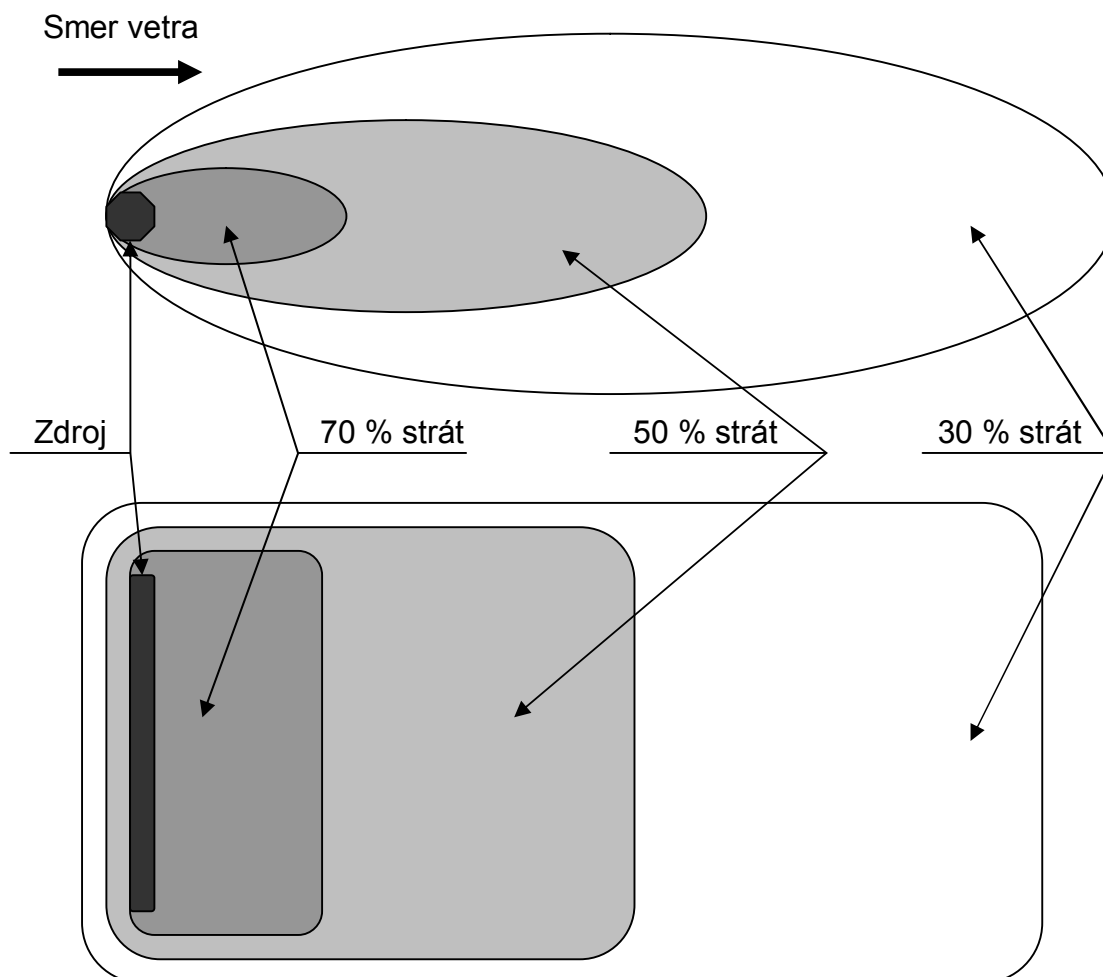
- a) tvorba biologického aerosólu v prízemnej vrstve atmosféry,
- b) infikovaní prenášači (hmyz, hlodavce),
- c) rozširovanie pôvodcov infekčných onemocnení.

Z uvedených spôsobov sa za najefektívnejší spôsob rozširovania biologických látok považuje biologický aerosól vo forme roztoku prípadne emulzie biologicky aktívnej zmesi, či už z hľadiska jeho tvorby, spôsobu zasahovania ostatných subjektov ale aj stability v danom prostredí.

5.4 Šírenie v priestore

Z uvedeného prehľadu základných údajov o hromadných onemocneniach vyvolaných choroboplodnými mikroorganizmami vyplýva, že väčšina z uvedených produktov hromadných onemocnení sa vyznačuje vysokou choroboplodnosťou, účinnosťou, schopnosťou rýchlo sa šíriť a vyvolávať hromadné onemocnenia. Ich účinnosť je okrem iných podmienok určovaná najmä ich stabilitou v atmosfére, schopnosťou prežiť v danom prostredí a schopnosťou v čo najväčšom počte zasahovať vnútorné orgány napadnutej živej sily a hospodárskych zvierat.

Biologické aerosóly sa môžu rozptyľovať z lietadiel alebo dopravných prostriedkov použitím aerosólových generátorov, bômb, nábojov a rakiet. Voda môže byť kontaminovaná mikroorganizmami a ich toxínmi, tak ako aj potraviny alebo krmivo. Infikované článkonožce alebo hlodavce zabezpečia prenos v ich používanom prostredí.



Obrázok 5.1 Schematický graf šírenia sa biologického aerosólu a predpokladaný rozsah strát v jednotlivých oblastiach

K vytvoreniu predstavy o efektívnosti a rozsahu pôsobenia vojenských systémov biologického zamorenia priestoru musíme brať v úvahu, že bodový zdroj pre šírenie sa oblaku bakteriologického aerosólu zaberá základnú plochu od 1 do 5 km² a plocha zamorenia až 100 km², pri priestorovom zamorení uvažujeme o ploche do 1000 km².

Rozširovanie choroboplodných mikroorganizmov a toxínov vo forme aerosólu splňuje základné požiadavky na efektívne zasiahnutie objektov v danom priestore. Aerosólové častice choroboplodných zárodkov veľmi ľahko prenikajú do celého priestoru, ktorým sa šíria, vnikajú aj do uzavretých nehermetizovaných objektov a sťažujú ich využívanie na ďalšiu činnosť.

Efektívnosť pôsobenia choroboplodných mikroorganizmov obsiahnutých v aerosólovom oblaku závisí v prevážnej miere na stabilite biologického aerosólu v danom prostredí a na množstve choroboplodných mikroorganizmov, ktoré môžu zasahovať živú silu. Rozhodujúci vplyv na stabilitu aerosólového oblaku majú meteorologické podmienky v záujmovom priestore a odolnosť samotného biologického aerosólu voči pôsobeniu daného prostredia.

Vytváranie biologického aerosólu má radu výhod, jednak je veľmi jednoduché, vysoko spoľahlivé a účinné, nevýhodou je však veľké hynutie živých mikroorganizmov, spôsobené účinkami okolitého prostredia (teplo, pohyb atmosféry, konfigurácia terénu, prítomnosť objektov a pod.). Rozsah zamorenia biologickým aerosólom je závislý tiež na zdroji uvoľňovania choroboplodných mikroorganizmov a najmä na tom, či ku tvorbe biologického oblaku dochádza z bodového zdroja alebo z priestorových rozptýlení.

Do úvahy prichádzajú v prvom rade pôvodcovia veľmi vážnych nákaz s vysokou virulenciou, dostatočne odolní proti vonkajším vplyvom, najmä teplote, vyschnutiu a slnečnému žiareniu. Z baktérií sú to predovšetkým pôvodcovia moru, tularémie, antraxu, horúčky Q alebo škvrnitého týfusu, vo vhodných podmienkach sa môžu uplatniť aj pôvodcovia týfusu, paratýfusu i cholery, z vírusov najmä pôvodcovia zápalov mozgu, besnoty, kiahní, žltej zimnice, z húb napríklad pôvodcovia histoplazmózy, kokcidiomykózy. Okrem pôvodcov bakteriálnych, vírusových a mykotických infekcií prichádza do úvahy aj šírenie bakteriálnych toxínov.

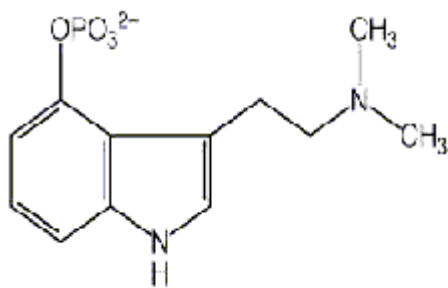
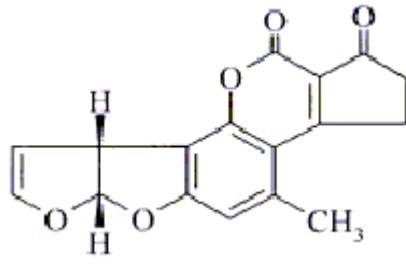
S prihliadnutím k daným podmienkam sa k vytváraniu aerosólových oblakov biologických prostriedkov prípadne ich zmesí v polných podmienkach predpokladá používanie týchto druhov alebo systémov biologickej munície:

- časované biologické bomby,
- aerosólové generátory,
- rozstrekovacie alebo rozprašovacie zariadenia.

Biologické bomby malých ráží vybavené časovými zapalovačmi a malou výbušnou náplňou sú považované za veľmi vhodné pre široké použitie v priestore. Vytvorenie biologického aerosólu je veľmi jednoduché, vysoko spoľahlivé a rýchle. Nevýhodou je veľké hynutie biologickej zmesi vplyvom tepla a tlakovej vlny.

Aerosólové generátory sú jednoduché zariadenia obsahujúce zásobnú nádrž na kvapalnú alebo tuhú zmes biologickej náplne, vlastný generátor a iniciačné zariadenie. K výhodám patrí možnosť zamorenia s prevapením (tiché) na veľkých plochách, veľká účinnosť využitia náplne a malé percento hynutia biologickej náplne.

Rozstrekovacie zariadenia na pilotovaných alebo bezpilotných prostriedkoch sú využiteľné k zamoreniu veľkých priestorov. Vytváraný aerosól je však nehomogénny, neobsahuje častice optimálnej veľkosti. Jeho bojová účinnosť je oproti aerosólu vytvoreného z generátorov podstatne menšia.



6 JADROVÉ ENERGETICKÉ ZARIADENIA

6.1 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA

Za ostatných 40 rokov sa jadrová energia stala dôležitým a spoľahlivým zdrojom energie. Podľa údajov MAAE bolo v polovici roku 1997 v jadrových elektrárnach v 32 krajinách v prevádzke 443 energetických reaktorov (blokov) s celkovým výkonom 351 457 MWe a ďalších 35 blokov je vo výstavbe, alebo plánuje sa ich realizácia. Pri zhodnotení podielu jadrovej energie na výrobe elektrickej energie v krajinách, kde je tento podiel väčší ako 10 % nám vychádza, že niektoré krajiny sú už na jadrovej energii veľmi závislé²³.

Štát	Podiel jadrovej energie v % (počet energetických blokov)
Litva	83,4 (2)
Francúzsko	77,4 (57)
Belgicko	57,2 (7)
Švédsko	52,4 (12)
Slovensko	44,5 (4) (v roku 2002 už 53,4 %)
Švajčiarsko	44,5 (5)
Ukrajina	43,8 (16)
Bulharsko	42,2 (6)
Maďarsko	40,8 (4)
Slovinsko	37,9 (1)
Arménsko	36,7 (1)
Kórea	35,8 (12)
Japonsko	33,4 (53)
Španielsko	32,0 (9)
Nemecko	30,3 (20)
Taiwan	29,1 (?)
Fínsko	28,1 (4)
Británia	26,0 (35)
USA	21,9 (110)
Česko	20,0 (4)
Kanada	16,0 (21)
Rusko	13,1 (29)
Argentína	11,4 (2)

Obrázok 6.1 Podiel jadrovej energie na výrobe elektrickej energie - rok 1997.

Od roku 1960 sa vo svete potreba elektrickej energie strojnásobila, pričom sa očakáva, že rast spotreby energie bude pokračovať; odhady rastu do roku 2020 sa pohybujú od 50 do 75 %. Z tohoto hľadiska existuje všeobecná zhoda v tom, že súčasná skladba energetických zdrojov, keď celosvetovo vyrobená energia pochádza predovšetkým z fosílnych palív, nie je natrvalo udržateľná.

²³) celosvetovo je dnes podiel jadrovej energie na výrobe elektrickej energie cca 23 %.

6.2 JADROVÉ ENERGETICKÉ ZARIADENIA

Jadrové energetické zariadenie je priemyslové zariadenie, ktoré v jadrovom palive umožňuje udržiavať a riadiť nepretržitú štiepnu jadrovú reakciu a plynule odvádzať vyvíjané teplo. Odvádzaná tepelná energia sa cestou turbogenerátora transformuje na elektrickú energiu (elektrárne), pritom sa časť alebo celé množstvo tepelnej energie môže odvádzať aj na priame využitie (teplárne). Podľa spôsobu riadenia štiepnej reakcie, moderovania reakčnej zóny a odvodu vznikajúceho tepla rozlišujeme celú radu rôznych typov jadrových energetických reaktorov.

Tabuľka 6.1

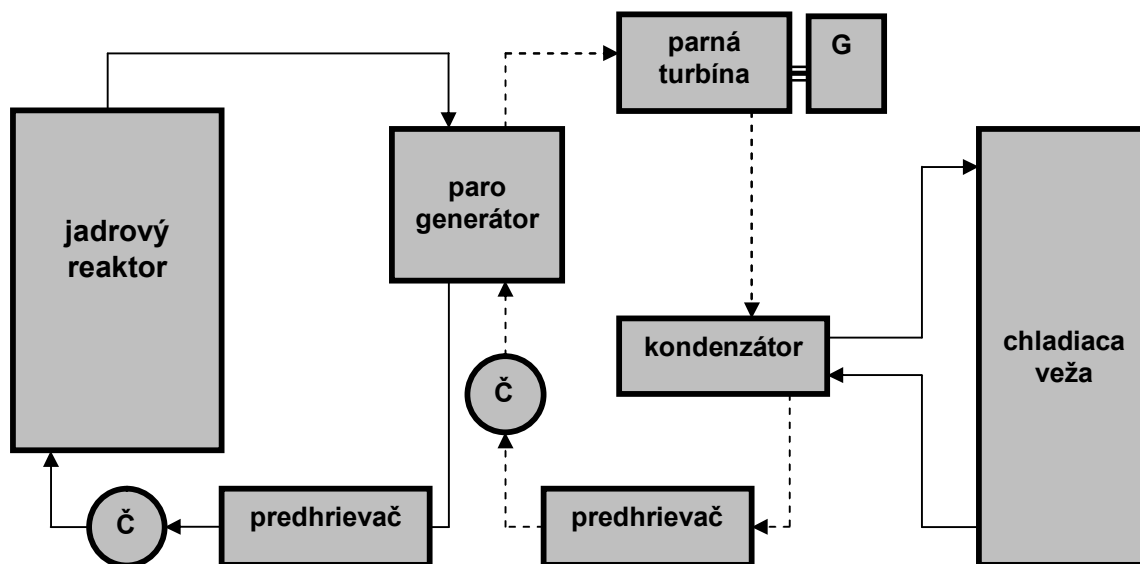
Typy jadrových energetických reaktorov

Reaktor		Moderátor	Chladivo
Označenie	Charakteristika		
AGR	pokročilý plynom chladený, grafitom moderovaný reaktor	grafit	He
GCR	plynom chladený grafitový reaktor na prírodný urán	grafit	CO ₂
HTGR	vysokotepelný plynom chladený grafitový reaktor na obohatený urán	grafit	He
LWGR	ľahkou vodou chladený grafitový reaktor na obohatený urán	grafit	H ₂ O
BWGR	kanálový reaktor veľkej mohutnosti (varný)	grafit	H ₂ O
LWR	ľahkou vodou moderovaný a chladený reaktor na obohatený urán	H ₂ O	H ₂ O
PWR (VVER)	vodný energetický reaktor pod tlakom na obohatený urán	H ₂ O	H ₂ O
BWR	ľahkovodný reaktor varného typu	H ₂ O	H ₂ O
HWR	ťažkovodný reaktor varného typu	D ₂ O	D ₂ O
PHWR	ťažkovodný reaktor varného typu pod tlakom	D ₂ O	D ₂ O
LMFBR	sodíkom chladený množivý reaktor (rýchly)	-	Na
FBR	rýchly množivý reaktor	-	rôzne
THTR	tóriový vysokotepelný reaktor	grafit	He

Podľa údajov MAE je zo 443 energetických reaktorov prevádzkovaných v súčasnej dobe približne 75 % ľahkovodných (dve tretiny sú tlakovodné, jedna tretina varné), 9 % grafitových chladených plynom, 7 % ťažkovodných, 5 % grafitových chladených vodou, 2 % rýchlych a 2 % iných typov.

Podľa účelu použitia ich rozdeľujeme na **výkonné** (výroba energie), **produkčné** (výroba rádioaktívnych izotopov), **výskumné** a **výučbové** (jadrové a materiálo-technické výskumy, výučba) a **demonštračné** (reaktory menšieho výkonu, overovanie určitej koncepcie).

Funkčne býva jadrové energetické zariadenie (elektrárň, tepláreň) tvorené jadrovým reaktorom s jedným alebo niekoľkými hlavnými a niekoľkými pomocnými okruhmi a zabezpečovacou sústavou. V primárnom okruhu obieha chladiace médium (plyn, voda, tekutý kov) ktoré je rádioaktívne, v sekundárnom a ďalších pomocných okruhoch neaktívne médium - voda (vodná para), kov.



kde **G** - generátor
Č - čerpadlo

— - primárny okruh
- - - - sekundárny okruh

Obrázok 6.2 Blokové schéma jadrového energetického zariadenia

Základným a rozhodujúcim článkom jadrového energetického zariadenia je **jadrový reaktor**. Podľa umiestnenia základných komponentov existujú dve základné konštrukčné koncepcie reaktorov. Vo väčšine reaktorov sa palivo, moderátor, chladiivo a riadiace tyče nachádzajú v tlakovej nádobe. U reaktorov chladených a moderovaných vodou je to valcovitá nádoba zhotovená z ocele, tlakové nádoby plynom chladených reaktorov sú vyrobené z predpätého betónu. Druhý typ reaktorov nemá tlakovú nádobu, palivové články sú umiestnené v ocelových tlakových kanáloch, ktoré sú uložené v moderátore a každý z nich je samostatne chladený prietokom chladiiva.

Ak sú palivo a moderátor navzájom oddelené, hovoríme o **heterogénnom** reaktore, naopak ak sú navzájom zmiešané, hovoríme o **homogénnom** reaktore. Najdôležitejšími príslušenstvami reaktora sú:

palivové články, obsahujúce aktívny, neutrónmi štiepateľný materiál, (štiepateľné materiály na štiepnu reakciu, alebo množivé materiály na tvorbu nového jadrového paliva),

moderátor, ktorý je brzdiacim prostredím pre neutróny, (grafit, ľahká a ťažká voda, berýlium),

chladiivo, médium pre odvod vznikajúceho tepla z reaktora, (ľahká alebo ťažká voda, plyn - CO₂, He, prípadne ľahké kovy - Na, K).

6.2.1 Jadrový reaktor

Konstruktívne je jadrový reaktor usporiadaný ako tlaková nádoba. Z hľadiska bezpečnosti sú všetky jadrové reaktory opatrené okrem vlastného havarijného chladenia ešte dvoma nádobami válcovitého tvaru – vnútornou oceľovou, ktorá musí odolať pretlaku vzniklému pri havárii a vonkajšou betónovou, ktorá musí zachytiť rádioaktívne žiarenie a zároveň slúži ako ochrana proti vonkajším zásahom.

Aktívna zóna jadrového reaktora je obklopená reflektorom, ktorého účelom je znížiť únik neutrónov odrazom na atómových jadrách daného materiálu. V pomalých reaktoroch je to voda alebo grafit, v rýchlych sa používa železo. V niektorých reaktoroch sa používa ochudobnený urán; v tomto prípade sa časť unikajúcich neutrónov odráža späť do aktívnej zóny a časť neutrónov sa spotrebováva reakciou (n,γ) s ^{238}U k výrobe plutónia.

Zdrojom tepla je energia uvoľnená pri štiepení jadier atómu jadrového paliva, pričom najväčší podiel vyvíjaného tepla vzniká stratou kinetickej energie novovzniknutých jadier, menšia časť potom zachytním žiarenia a dodatočným rozptylom produktov žiarenia. Proces zabrzdenia nových jadier prebieha výlučne v palive, naproti tomu zachyt žiarenia a následkom toho vývin tepla nastáva i v konštrukčných častiach aktívnej zóny reaktora. Energia sa v palive uvoľňuje i po zastavení štiepnej reakcie ako výsledok rozpadu niektorých produktov štiepenia (zbytkový vývin tepla). Je preto potrebné zaistiť odvod tepla a chladenie konštrukčných častí nielen pri prevádzke reaktora, ale i pri jeho odstavení.

Ohriate médium (voda, plyn, tekutý kov) odovzdáva teplo vo výmeníkoch tepla alebo vyvíjačoch pary do vody sekundárneho okruhu. Takýmto dvojokruhovým systémom dosiahneme obmedzenie rádioaktívnych látok len na prvý chladiaci okruh, rádioaktívne látky sa nedostanú do turbíny a kondenzátora. Na základe vysokej teploty a nízkeho tlaku sa voda sekundárneho okruhu premení na paru. Vzniklá prehriata para poháňa turbínu, ktorá je zviazaná so synchronným generátorom trojfázového prúdu, ktorý dodáva na výstupe 400 až 1000 MW hrubého výkonu (podľa typu reaktora).

Para vystupujúca z turbíny sa opäť skvapalňuje v kondenzátore. Pre chladenie kondenzátu sa spotrebováva chladiaca voda privádzajúca z chladiacich veží alebo vhodného vodného zdroja. Vzniknutý kondenzát sa potom privádza do predhrievacieho zariadenia, kde sa zohrieva na vyše 200 °C a vzápätí sa privádza do vyvíjača pary.

Jadrová elektrárň môže mať jeden alebo viac reaktorov. Každý reaktor je súčasťou tzv. bloku, ktorý má vlastný chladiaci systém pozostávajúci zo 4 až 6 nezávislých chladiacich okruhov, z nich má každý samostatné hlavné cirkulačné čerpadlo a výmenník tepla.

Z ostatných významných príslušenstiev jadrového reaktora je možno ešte menovať najmä zariadenia nachádzajúce sa v primárnom okruhu elektrárne a to zariadenia pre skladovanie a manipuláciu s čerstvým alebo vyhoreným palivom, bazén pre skladovanie vyhorených palivových článkov a pod.

a) Typy jadrových reaktorov

Tlakovodné reaktory sú v súčasnosti najrozšírenejšie jadrové energetické reaktory. Sú moderované a súčasne chladené obyčajnou vodou, palivom je obohatený urán (2 - 4 %) vo forme UO_2 prípadne zmes UO_2 a PuO_2 . Aktívna zóna, obsahujúca niekoľko stoviek palivových článkov, je umiestnená v ocelevej tlakovej nádobe, riadiace tyče sa do aktívnej zóny zasunujú zhora. Voda prechádzajúca reaktorom je pod vysokým tlakom, aby i pri teplotách okolo 300 °C bola v kvapalnom stave. Para pre pohon turbíny vzniká v sekundárnom okruhu elektrárne.

Tlakovodné reaktory menších rozmerov s vysoko obohateným palivom (až 90 % ^{235}U) sa osvedčili ako pohonné jednotky námorných plavidiel. Výhodou je kompaktnosť zariadenia a veľká zásoba energie v malom objeme paliva, čo umožňuje dvoj- až trojročnú prevádzku s jednou náplňou paliva.

Varné reaktory majú tlakovú nádobu, aktívnu zónu a palivové články podobné ako reaktory tlakovodné, sú rovnako chladené a moderované obyčajnou vodou, ale za normálneho tlaku. Voda vstupuje do spodnej časti tlakovej nádoby a postupuje nahor do kanálov, v ktorých sú uložené palivové články. V kanáloch sa voda ohrieva a čiastočne mení na paru. Nad aktívnou zónou v tlakovej nádobe sú separátory vlhkosti, kde sa para zbavuje vody. Preto je tlaková nádoba omnoho vyššia ako u tlakovodných reaktorov. Riadiace tyče sa do aktívnej zóny zasúvajú zospodu.

Ťažkovodný reaktor je konštruovaný ako reaktor s tlakovými kanálmi a je chladený i moderovaný ťažkou vodou. Reaktor tvorí horizontálne uložená valcovitá nádoba o dĺžke do 8 m naplnená moderátorom - ťažkou vodou. Rovnobežne s osou válca sú v nádobe zabudované tlakové kanály, v ktorých sú uložené palivové články z UO_2 s prírodným izotopovým zložením. Články sú v kanáloch chladené tlakovou ťažkou vodou, každý kanál má samostatný prívod aj odvod, kanály pre zasúvanie riadiacich tyčí sú inštalované kolmo na osu valcovitej nádoby.

Pôvodná koncepcia československej jadrovej energetiky bola založená na ťažkovodnom reaktore - A1 Jaslovské Bohunice. V tlakovej nádobe reaktora bolo umiestnených 148 palivových článkov, každý s 60-75 elementmi (23 ton prírodného kovového uránu vo forme prútikov o priemere 6,3 mm, dlhých 4 m, pokrytých zliatinou horčíka a berýlia) samostatne v kanáloch zo zirkóniovej zliatiny a chladených cirkuláciou oxidu uhličitého pod tlakom. Priestor medzi kanálmi bol vyplnený 60 tonami ťažkej vody (moderátor). Kriadeniu reaktora slúžilo 40 kadmiových tyčí v hliníkovom pokrytí.

Plynom chladený grafitový reaktor, (starší variant), používa mierne obohateného uránu vo forme tabliet UO_2 . V tlakovej nádobe z predpätého betónu sú palivové články vertikálne uložené v kanáloch v grafitovej mriežke. Reaktor je chladený héliom, ktoré prúdi palivovými kanálmi pod tlakom 3 - 5 MPa. Teplota palivových článkov je až 750 °C, teplota hélia na výstupe z reaktora je 650 - 675 °C. Vysokotepelný (novší) variant reaktora používa palivo vo forme oxidických mikroguličiek a teplota tlakového hélia na výstupe z reaktora je až 850 °C.

K tomuto typu reaktora je možno zaradiť i prvý jadrový reaktor postavený Fermim v Chicagu v r. 1942. Bol zostavený z blokov grafitu a prírodného kovového uránu, chladený bol prírodnou cirkuláciou vzduchu a jeho maximálny výkon bol 200 W.

Grafitový reaktor chladený vodou - reaktor s tlakovými varnými kanálmi - je tvorený grafitovými blokmi zostavenými do tvaru válca a uzatvorený oceľovým plášťom. V grafitových blokoch sú vertikálne otvory pre oceľové tlakové varné kanály, v ktorých sú umiestnené palivové články. Aktívna zóna obsahuje podľa typu a výkonu reaktora 998 - 1693 palivových kanálov a 180 kanálov pre riadiace tyče, ktoré prechádzajú oceľovým plášťom. Do kanálov zo spodku vstupuje horúca voda, ktorá sa pri prechode okolo palivového článku čiastočne mení na paru. Reaktor, pretože má kladný súčiniteľ reaktivity, má väčší počet riadiacich tyčí, ktoré sa do aktívnej zóny zasúvajú zo spodku.

Rýchle reaktory, ktorých aktívna zóna neobsahuje moderátor, používajú k udržaniu reťazovej štiepnej reakcie okamžité rýchle neutróny. Preto používajú urán obohatený na 20 až 50 % ^{235}U alebo palivo s odpovedajúcim obsahom ^{239}Pu . Vysoké obohatenie vedie k omnoho intenzívnejšiemu uvoľňovaniu tepla ako je to u pomalých reaktorov. Voda ani hélium nie sú schopné odvádzať tak veľké množstvo tepla, preto sa rýchle reaktory chladia cirkulujúcim veľkým množstvom (až 850 ton) roztaveného kovu (sodík) o teplote 550 °C.

Zvláštnosťou rýchlych reaktorov s plutóniovým palivom je ich **množivý charakter**. Pri štiepení ^{239}Pu vzniká totiž viac neutrónov (až 3). Z priemerne dvoch vzniklých neutrónov, ktoré sa nepotrebné na štiepenie, zostáva viac ako jeden na reakciu (n,γ) s ^{238}U , ktorá vedie k ^{239}Pu . Preto pri prevádzke týchto reaktorov vzniká viac plutónia ako sa spotrebuje ku štiepeniu. Pre zvýšenie výťažku plutónia je aktívna zóna obklopená tzv. plodivou zónou (napr. z tabliet ochudobneného UO_2).

Reaktory na princípe využitia termonukleárnej reakcie, ktoré sa ukazujú ako najperspektívnejšie, sú po teoretickej stránke rozpracované, praktická stránka (technická a technologická časť) je nedoriešená.

Pri štiepení ťažkých jadier (^{235}U , ^{239}Pu) sa energia uvoľňuje, pretože vznikajú jadrá s väčšou strednou väzbovou energiou nukleónov, t.j. jadrá so stabilnejšou jadrovou štruktúrou. Podobne je možno očakávať zisk značnej energie v takých vzájomných reakciách ľahkých jadier (^1H , ^2H , ^3H , ^3He , ^6Li , ^7Li), pri ktorých vzniká jadro ^4He . Je tomu tak preto, že medzi ľahkými jadrami má práve toto jadro obzvlášť vysokú strednú väzbovú energiu a teda najstabilnejšiu jadrovú štruktúru. Takýchto reakcií ľahkých jadier poznáme viac ako tridsať, ale pre praktické využitie tejto energie však zatiaľ prichádza do úvahy len reakcia medzi deutériom a trítium (reakcia D + T)



pretože zo všetkých reakcií prebieha najľahšie a uvoľňuje sa pri nej značné množstvo energie. Uvoľnenú energiu odnášajú vo forme kinetickej energie neutrón (14,06 MeV) a jadro hélia ^4_2He (3,52 MeV). Ďalšou výhodou tejto reakcie je, že nevznikajú žiadne rádioaktívne odpadové produkty (ak nepočítame technologickú časť zariadenia, ktorá je pod vplyvom jednotlivých druhov žiarenia - najmä gama a neutrónového).

Energetický potenciál tejto reakcie je obrovský - reakciou jedného gramu zmesi deutéria a trítia (v pomere 1:1) sa uvoľní rovnaké množstvo energie ako pri spálení 8 t ropy.

b) Typy jadrových elektrární

Podľa spôsobu odvodu tepla z jadrového reaktora a jeho využitia k výrobe pary rozlišujeme elektrárne troch typov. V **jednookruhovej** elektrárni je chladiace médium reaktoru súčasne pracovným médium pre pohon turbogenerátora (turbíny). Toto usporiadanie je typické pre jadrové elektrárne s varnými reaktormi, kde vzniká para pri varu chladiva priamo v aktívnej zóne, odkiaľ sa vedie do turbíny. Jednookruhová jadrová elektrárňa teda nemá výmenník tepla.

Elektrárne s tlakovodnými a plynom chladenými reaktormi sú koncipované ako **dvojokruhové**, ktoré majú dva oddelené obehové okruhy. Primárny okruh pozostáva z reaktora, systému cirkulácie chladiaceho média a výmenníkov tepla. Cirkulácia chladiva je u tlakovodných reaktorov zaistená čerpadlami, u plynových dmýchadlami. Výmenníkom tepla v tlakovodnej elektrárni je parogenerátor. Primárny okruh, ako najexponovanejšia časť jadrovej elektrárne je stavebne izolovaný od ostatných častí elektrárne v budove kontajntentu. Chladivo neustále cirkuluje primárnym okruhom, v aktívnej zóne sa ohrieva a vo výmenníku uvádza do varu vodu cirkulujúcu v sekundárnom okruhu.

Elektrárne s rýchlymi reaktormi sú **trojokruhové**. Chladivom je tekutý kov (sodík), ktorý je vysokorádioaktívny, pretože sa v ňom tvorí reakciou (n,γ) s ^{23}Na nuklid ^{24}Na . Keby sa sodík pri prípadnej poruche dostal do styku s vodou sekundárneho okruhu, došlo by pri reakcii s vodou k uvoľneniu rádioaktivity. Preto je medzi primárnym okruhom a okruhom vyrábajúcim paru vložený ďalší okruh s cirkulujúcim kvapalným sodíkom, ktorý však už nie je rádioaktívny, pretože nie je vystavený neutrónovému žiareniu v aktívnej zóne.

6.2.2 Jadrové palivo

Uránové palivo sa vyrába z prírodného alebo obohateného uránu. K výrobe paliva z prírodného uránu sa používa dioxid UO_2 alebo kovový urán, obvykle legovaný prímiesou iného kovu pre zlepšenie mechanických vlastností. Palivo z kovového uránu sa zhotovuje v tvare prútov pokrytých tenkou vrstvou zliatiny hliníka a horčíka. Palivo z obohateného uránu vo forme oxidického paliva z UO_2 , nazývaného tiež keramické palivo, vo forme tabliet, ktoré sú naskladané v hermeticky uzatvorenom kovovom obale zo zliatiny zirkónia alebo nerezovej ocele, ktorý udržuje palivo v kompaktnom stave, bráni jeho rozrušeniu vplyvom prúdenia chladiaceho média a žiarenia a zadržuje vznikajúce plynné a tuhé vysoko rádioaktívne štiepne produkty. Iný typ oxidického paliva je zmiešané palivo obsahujúce zmes $^{239}\text{PuO}_2$ a oxidu UO_2 z prírodného alebo ochudobneného uránu.

Prírodný urán sa v rude nachádza vo forme oxidov (najčastejšie ako U_3O_8), ktoré sa z rudy vyplavujú rôznymi chemickými procesmi. Vzniklá látka obsahuje 70 - 90% uránu. Pre ľahkovodné jadrové reaktory však tento materiál ešte nie je použiteľný. Obsahuje totiž urán v prírodnom zložení (99,3 % ^{238}U a iba 0,7 % ^{235}U). Preto treba previesť **obohatenie** t.j. umelo zvýšiť obsah ^{235}U . Využíva sa technologické médium hexafluorid uránu (UF_6), ktorý už pri teplote $56\text{ }^\circ\text{C}$ prechádza do plynného skupenstva, ktorý sa potom privádza do ultracentrifúg (pre potrebnú najmenej 3 % koncentráciu potrebujeme minimálne 10 až 20 obohacovacích stupňov).

Získaný fluorid uránu z obohacovacieho zariadenia obsahuje od 2,5 do 3,5% ^{235}U , (optimálne obohatený urán pre palivové články obsahuje 96,5% ^{238}U a 3,5% ^{235}U). Chemickou cestou sa z neho vyrobí práškový dioxid uránu UO_2 , ktorý sa zlisovaním pri teplote okolo 1700 °C prevedie na keramické pelety (tablety), ktorými sa plnia kovové trubky zo zirkóniovej ocele. Trubka obsahujúca tieto tablety, ktoré stláča dlhá pružina, je naplnená na 50 - 75 % objemu a tvorí výšku aktívnej zóny. Zostávajúci voľný priestor slúži k zachyteniu uvoľnených plynných produktov štiepnej reakcie. Rúrky po vzduchotesnom (plynotesnom) uzavretí (zavarení) sa spájajú do zväzkov, ktoré slúžia ako palivové články.

Nové palivové články sú len veľmi slabo rádioaktívne, preto je ich možno prepravovať bez zvláštnych ochrán proti žiareniu. V reaktore vydržia obyčajne 3 až 4 roky. Potom najviac vyhorené články sa vyberajú a nahrádzajú novými. Počiatkový 3% podiel ^{235}U sa zredukuje na 0,8 až 1%. Palivové články neostávajú v reaktore až do úplného spotrebovania štiepneho materiálu. Doba, po ktorú môže palivový článok v reaktore zostať, závisí na konštrukcii aktívnej zóny a výkonu reaktora. Čiastočne vyhorené palivo sa v určitom časovom úseku vyberá a nahrádza palivom novým. U niektorých reaktorov je možno túto operáciu vykonávať behom prevádzky pri plnom alebo zníženom výkone reaktora u iných sa to vykonáva kampanovite, t.j. pri plánovanom odstavení reaktora.

Špecifické postavenie majú tzv. množivé reaktory, ktoré si potrebujú štiepne palivo na štiepnu jadrovú reakciu „vyrábajú“ v priebehu procesu štiepenia ostatného jadrového paliva. Typickým predstaviteľom je tóriový vysokotepelný reaktor, ktorý si potrebný štiepny jadrový materiál ^{233}U „namnoží“ z tória ^{232}Th .

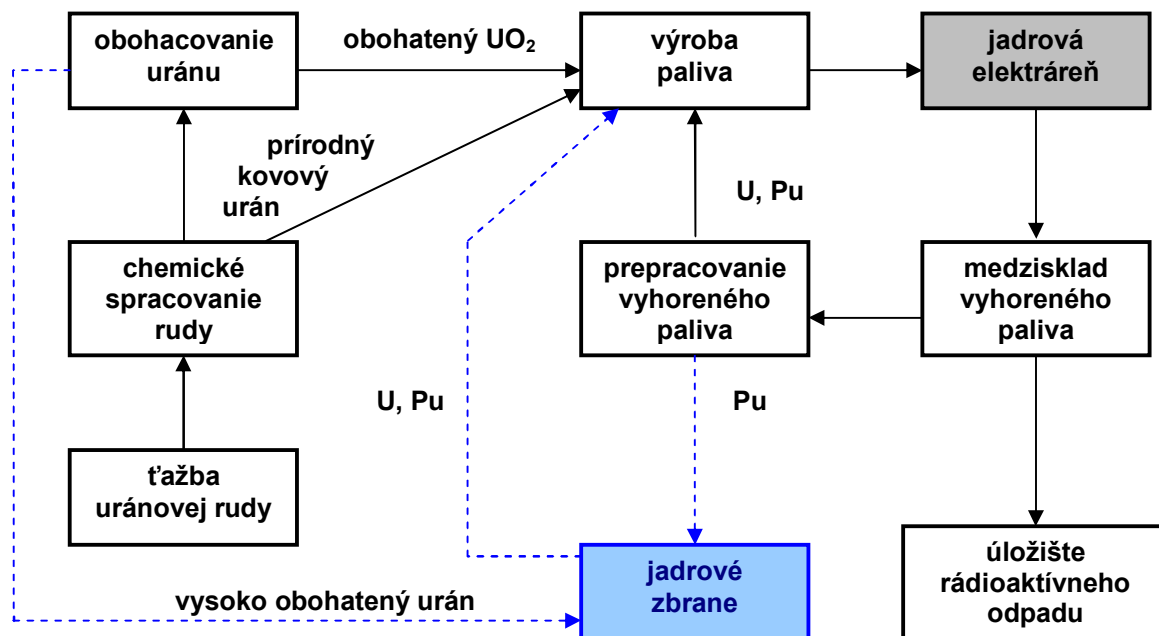
Vybraté a čiastočne vyhorené palivové články sú vysokorádioaktívne, preto sa po určitú dobu skladujú v chladiacich bazénoch s vodou v primárnom okruhu elektrárne, do doby poklesu ich aktivity a ukončenia čiastočného štiepneho procesu jednotlivých rádioaktívnych prvkov na potrebnú hodnotu. Vo vyhorených palivových článkoch sa teda nachádza ešte palivo ^{235}U , aj keď menej ako v nových článkoch. Okrem toho sa asi 1% neštiepiteľných atómových jadier ^{238}U záchytným neutrónom premení na plutónium, ktoré je tiež použiteľné aj ako palivo. Hlavným dôvodom odstránenia takto vyhorených palivových článkov je to, že niektoré vytvorené štiepne produkty tento ďalší proces štiepenia znemožňujú, ba niektoré sú schopné zastaviť priebeh štiepnej jadrovej reakcie (pohltenie neutrónov).

Tabuľka 6.3

Zloženie paliva vyhorených palivových článkov

Zložky paliva	PWR	BWR
^{235}U	0,9	0,7
^{236}U	0,4	0,4
^{238}U	94,1	95,2
štiepiteľný ^{239}Pu a ^{241}Pu	0,8	0,5
neštiepiteľný ^{240}Pu	0,3	0,2
ostatné transurány (Am, Cm)	0,08	0,05
štiepne produkty	3,4	2,9

Reťaz technologických postupov, ktorým palivo prechádza od ťažby uránovej rudy po konečné uloženie jadrového odpadu sa nazýva **palivový cyklus**.



Obrázok 6.3 Palivový cyklus

6.2.3 Moderátor

Skutočnosť, že pri štiepení každého jadra ^{235}U a ^{239}Pu vzniká viac neutrónov, ako sa pre ďalšie štiepenie potrebuje, umožňuje zostaviť zariadenie, v ktorom sa štiepna reakcia vplyvom novo vzniknutých neutrónov neustále opakuje. Reťazová štiepna reakcia môže v zásade prebiehať dvojakým spôsobom. Pokiaľ sa v systave ponechajú všetky neutróny, ich počet s časom veľmi rýchlo rastie a celkové množstvo štiepiteľného nuklidu sa rozštiepi behom zlomku sekundy - táto situácia nastáva v explozívnych štiepných procesoch. V jadrových reaktoroch prebieha reťazová reakcia riadene. Usporiadáním reaktora a riadiacich mechanizmov nastáva situácia, že v každom časovom okamžiku sa v systave nachádza vždy rovnaký počet neutrónov a uvoľňuje sa rovnaké množstvo energie.

I bez zámerného zasahovania do neutrónovej bilancie je v reálnom reaktore vždy k dispozícii menej neutrónov, ako vychádza z teoretických výpočtov. Je to spôsobené tromi skutočnosťami, ktoré spoločne rozhodujú o tom, koľko neutrónov zostane pre ďalšie štiepenie:

- asi u 15 % jadier ^{235}U nevedie zachytenie neutrónu ku štiepnemu procesu, ale ku vzniku ^{236}U ; v prípade ^{239}Pu vzniká z 30 % ^{240}Pu ,
- v reaktore je okrem štiepiteľného nuklidu aj mnoho ďalších prvkov (nečistoty), ktoré absorbujú neutróny reakciami (n, γ),
- istý počet neutrónov z reaktora uniká do okolitého prostredia.

Zároveň sa ukazuje, že s okamžitými rýchlymi neutrónmi, ktoré sú k dispozícii, nemôžeme v prírodnom uráne reťazovú reakciu udržať. Celkom iná situácia nastáva, ak okamžité rýchle neutróny spomalíme, potom štiepenie ^{235}U prebieha s omnoho väčšou pravdepodobnosťou (nárast až 500krát). Prakticky sa toho dosahuje tým, že sa jadrové palivo obklopí látkou (**moderátorom**), ktorá spomaľuje neutróny - grafit, ťažká voda ($^2\text{H}_2\text{O} - \text{D}_2\text{O}$) alebo obyčajná voda ($^1\text{H}_2\text{O}$).

V prírode sa ťažká voda (D_2O) vyskytuje v zmesi s bežnou vodou v pomere 1 : 6400.

Dobry moderátor má spôsobovať čo najväčšiu stratu energie neutrónov pri zrážkach s atómovými jadrami a súčasne čo najmenej neutróny pohlcovať. Atómové jadrá moderátora (uhlík, vodík kyslík) súčasne rôznou mierou reakciami (n, γ) neutróny absorbujú a tým neutrónovú bilanciu zhoršujú. Ťažká voda a grafit túto bilanciu zhoršujú pomerne málo, obyčajná voda omnoho viac. Ak sa má reťazová reakcia udržať v prírodnom uráne, je treba ako moderátor použiť ťažkú vodu alebo grafit, moderovanie obyčajnou vodou vyžaduje použitie paliva vo forme slabo obohateného uránu (z prírodných 0,72 % na 3 - 4 % ^{235}U). Ak zvýšime obsah ^{235}U na 20 a viac %, nepotrebujeme neutróny spomaľovať, pretože štiepna reakcia beží aj s okamžitými rýchlymi neutrónmi.

K vyjadreniu podmienky pre udržanie reťazovej reakcie slúži **multiplikačný koeficient k** , ktorý je definovaný ako priemerný počet neutrónov existujúcich na konci každej generácie, ktoré pripadajú na jeden neutrón generácie predchádzajúcej. Nutná podmienka pre udržanie reťazovej reakcie a zároveň pre taký priebeh, aby počet štiepení za časovú jednotku bol stály je $k = 1$. Sústava, ktorá splňuje túto podmienku sa nazýva **kritická**.

6.2.4 Chladiace médium

Z aktívnej zóny reaktora, kde prebieha štiepna jadrová reakcia, následkom čoho sa uvoľňuje teplo v palivových článkoch, musí byť toto teplo odvádzané cirkulujúcim chladiacim médium. Chladiace médium musí mať vysoké merné teplo, dobrú tepelnú vodivosť, musí byť radiačne a tepelne stále, nesmie príliš absorbovať neutróny a spôsobovať koróziu pokrytia palivových článkov. Najviac pomalých energetických reaktorov je chladených obyčajnou vodou (v tzv. ľahkovodných reaktoroch má obyčajná voda funkciu moderátora i chladiaceho média), niektoré sú chladené ťažkou vodou alebo héliom. Rýchle reaktory sa chladia roztaveným kovom (sodík).

6.2.5 Regulácia výkonu reaktora

Jadrový reaktor v prevádzke je dynamický systém, v ktorom sa neutrónová bilancia s časom zhoršuje. Je to spôsobené tým, že sa priebežne znižuje obsah štiepneho nuklidu v aktívnej zóne a súčasne sa v palivových článkoch hromadia štiepne produkty. Niektoré z nich majú vysokú schopnosť pre absorpciu neutrónov reakciou (n, γ) a výrazne zhoršujú neutrónovú bilanciu, dochádza k tzv. otrave reaktora. Najvýznamnejšie z tohoto hľadiska sú nuklidy ^{135}Xe , ^{133}Xe , ^{131}J a ^{149}Sm , ktoré sa označujú ako **reaktorové jedy**. Tento problém sa rieši tým, že sa do reaktora vloží viac štiepneho materiálu (jadrového paliva), ako odpovedá hodnote multiplikačného koeficientu $k = 1$. Rozdiel ($k - 1$) sa nazýva prebytok multiplikačného koeficientu a veličina $\rho = (k - 1)/k$ je tzv. reaktivita.

Reaktor má teda pred spustením istú zásobu reaktivity, ktorú je možno behom prevádzky postupne uvoľňovať a kompenzovať tým zhoršujúcu sa neutrónovú bilanciu. Deje sa to **kompenzačnými tyčami**, ktoré obsahujú nuklid s vysokou absorpčnou schopnosťou pre neutróny. Tyče sú v počiatku zasunuté do aktívnej zóny, aby eliminovali prebytočnú reaktivitu. Ako sa v priebehu prevádzky hromadia štiepne produkty a neutrónová bilancia sa zhoršuje, tyče sa postupne vysúvajú.

Okamžité zmeny výkonu reaktora spôsobené inými faktormi sa nepretržite upravujú **riadiacimi tyčami**, ktoré reagujú na akúkoľvek zmenu výkonu a podľa okamžitej potreby sa do aktívnej zóny zasúvajú alebo z nej vysúvajú a tým udržujú stav reaktora s nulovou reaktivitou, čím výkon zostáva na predpísanej úrovni. Na reguláciu výkonu reaktora sa používa ako absorpčná substancia napr. zliatina striebra, india a kadmia, ktorá má vysokú absorpčnú schopnosť pre neutróny. Pri rýchlych regulačných procesoch sa do reaktora čiastočne alebo celkom zasúvajú regulačné tyče. Pri pomalých alebo dlhodobějších regulačných procesoch je výhodnejšie pridávať do chladiacej vody kyselinu bóritú.

Tretia sada riadiacich tyčí sú **tyče havarijné**. Za normálnej prevádzky nie sú v aktívnej zóne zasunuté a slúžia k rýchlemu zastaveniu štiepnej jadrovej reakcie v prípade, že by výkon reaktora z nejakého dôvodu významne prekročil povolenú hodnotu, alebo pri vážnejších technických alebo technologických poruchách. Účinnou zložkou riadiacich tyčí, ktorá absorbuje neutróny je väčšinou bór vo forme ocele legovanej bórom, zriedkavejšie kadmium alebo hafnium vo forme zliatin.

Významným činiteľom ľahkovodných reaktorov je ich **autoregulačná schopnosť**. Je daná tým, že tzv. teplotný súčiniteľ reaktivity t.j. závislosť medzi reaktivitou a zmenou teploty aktívnej zóny je u týchto reaktorov záporný. To znamená že rast teploty aktívnej zóny sám tlmí reaktivitu a výkon reaktora.

U **tlakovodných reaktorov** je to preto, že s rastom teploty klesá hustota vody. Menšia hustota vody znamená menší počet vodíkov (moderátora) v objemovej jednotke vody, tým je znížená schopnosť moderovania a teda menej pomalých neutrónov v aktívnej zóne. V dôsledku toho sa v palive štiepi menší počet jadier nuklidu a výkon reaktora sa zníži. Pokiaľ sa teda z nejakého dôvodu zvýši výkon, reaktor nie je dostatočne moderovaný a sám výkon zníži.

U **ľahkovodných reaktorov** je to ešte výraznejšie, pretože pri raste teploty sa priemerná hustota vody značne znižuje tým, že v nej sa tvoria bubliny pary. Efekt sa označuje ako záporný dutinový činiteľ, pretože bubliny predstavujú v chladiacom médiu dutiny. Ak rastie výkon, tvorí sa viac bublín pary a klesá podiel kvapalnej vody, čo vedie k zmenšeniu počtu pomalých neutrónov a k poklesu reaktivity a výkonu.

U **grafitom moderovaného varného reaktora** kanálového typu je naopak teplotný, resp. dutinový súčiniteľ reaktivity kladný. Ak sa zvýši výkon (teplota) reaktora v aktívnej zóne, vo varných kanáloch vzniká viac pary a hustota vody sa zníži. Pretože však voda nemá funkciu moderátora, dutiny pary sa prejaví len tým, že voda bude menej absorbovať neutróny. Preto sa v aktívnej zóne zvýši počet neutrónov, čo vedie k ďalšiemu rastu výkonu. Kladný dutinový súčiniteľ reaktivity je potenciálne nebezpečný, pretože pokiaľ pri zvýšenom výkone dôjde k varu chladiaceho média, môže rýchlo dôjsť k prehriatiu aktívnej zóny a tým k mechanickým zmenám v danom prostredí (tavenie, rozklad, reakcie zložiek a pod.).

6.3 JADROVÉ REAKTORY SR

Ľahkovodný energetický reaktor pod tlakom PWR je kompaktný, jednoduchý a prevádzkovo spoľahlivý jadrový reaktor, ktorý pracuje v palivovom cykle náročnom na palivovú surovinu, ktorou musí byť v každom prípade obohatený urán (^{235}U). Je to skupina najrozšírenejších tlakovodných jadrových reaktorov, do ktorej zaraďujeme aj u nás používaný heterogénny reaktor VVER-440/213 Jaslovské Bohunice ako aj progresívnejší VVER-1000 Mochovce.

6.3.1 Tlakovodný reaktor VVER-440.

Tlaková nádoba z nerezovej ocele má priemer 3,7 m, výšku 13,7 m, silu steny 140 mm a hmotnosť 210 ton, projektovaná životnosť nádoby je 40 rokov. Je zvarená z niekoľkých prstencových častí vykovovaných z jedného kusu ocele, v hornej časti sú hrdlá pre vstup a výstup vody. Vrchnák nádoby so špeciálnym tesnením je pripravený k telesu nádoby 60 šrôbami. Vnútri tlakovej nádoby je upevnená válcovitá šachta, ktorá nesie konštrukciu aktívnej zóny a slúži zároveň ako tepelné tienenie tlakovej nádoby. V dolnej časti nádoby je doska s otvormi pre uchytenie 312 palivových článkov.

Reaktor obsahuje 42 ton uránu obohateného na 2,5-3,5 % ^{235}U vo forme tabliet UO_2 o priemere 7,5 mm. Dĺžka palivového elementu je 2,42 m, priemer 9 mm, pokrytie o hrúbke 0,65 mm je zo zliatiny zirkónia a nióbu. Kazeta obsahujúca 126 elementov tvorí palivový článok, ktorých je v reaktore celkom 349 kusov, z toho 37 kusov je kombinovaných s radiaciami tyčami s bórovej ocele a môžu sa pohybovať v zvislom smere.

Cirkulujúca voda obsahujúca kyselinu bóritú, ktorá slúži ku kompenzácii reaktivity (jej koncentrácia sa v priebehu prevádzky reaktora postupne znižuje) je pod tlakom 12,5 MPa vstupuje do reaktora o teplote 269 °C, prúdi smerom dolu prstencovou medzerou medzi šachtou a telesom tlakovej nádoby, u dna sa obracia a dierami v doske prúdi nahor okolo palivových článkov, kde dosahuje výstupovú teplotu 300 °C. Reaktorom preteká 39 ton vody za hodinu, prietok ktorých zaisťuje šesť nezávislých chladiacich slučiek, každá s vlastným obehovým čerpadlom a parogenerátorom, ktorý produkuje 450 ton pary za hodinu.

6.3.2 Tlakovodný reaktor VVER-1000.

Tlaková nádoba z nerezovej ocele je konštrukčne obdobná tlakovej nádobe tlakovodného reaktora VVER-440, má priemer 4,5 m, výšku 10,9 m, silu steny 193 mm a hmotnosť 322 ton. V aktívnej zóne je 163 palivových článkov, každý s 312 elementmi, ktoré obsahujú 92 ton UO_2 obohateného do 5 % ^{235}U , a 61 radiacích tyčí.

V chladiacom okruhu je celkom 337 m³ vody, ktorá cirkuluje pri tlaku 15,7 MPa, teplota vody na vstupe je 290 °C, na výstupe 320 °C. Behom hodiny čerpadlá prečerpávajú cez reaktor asi 88 000 m³ chladiaceho média, prietok ktorých zaisťujú štyri nezávislé chladiace slučky, každá s vlastným obehovým čerpadlom a parogenerátormi, ktoré produkujú 1 470 ton pary za hodinu.

6.4 JADROVÁ BEZPEČNOSŤ

Riziko prevádzky jadrovej elektrárne spočíva v obrovskej rádioaktivite štiepných produktov v aktívnej zóne reaktora. Aktívna zóna jadrového reaktora s výkonom 1000 MW obsahuje v palivových článkoch aktivitu 10^{20} - 10^{21} Bq. Preto je základnou požiadavkou bezpečnosti udržať aktívnu zónu v neporušenom stave.

K poškodeniu aktívnej zóny s následným únikom rádioaktivity by mohlo dôjsť z rôznych príčin: prehriatím pri strate chladiva (roztrhnutie potrubia primárneho okruhu) alebo pri výpadku elektrického napájania čerpadiel, prevádzkou reaktora pri nadmernom energetickom výkone (porucha systému regulácie), starnutím konštrukčného materiálu vplyvom dlhodobého pôsobenia neutrónového žiarenia, chemickými reakciami pokrytia palivových elementov s chladivom (pri prehriatí aktívnej zóny) a konečne mechanickým poškodením (teroristická explózia, zemetrasenie). Z nich za **najväčšie** sa považuje **prehriatie aktívnej zóny**. Pre bezpečnú prevádzku reaktora je preto zásadné zaistiť chladenie aktívnej zóny za všetkých predvídateľných okolností a zaistiť jeho bezpečné utlmenie a vypnutie.

U reaktora typu PWR trvá zastavenie reťazovej štiepnej reakcie minimálne 12 až 15 sekúnd; aby nedošlo k taveniu palivových článkov musí prebiehať intenzívne chladenie aktívnej zóny minimálne 2 minúty, ktoré prechádza v normálne chladenie trvajúce rádovo desiatky hodín. V primárnom okruhu je inštalovaný systém chladenia reaktora pri odstavení tzv. „dochladzovanie“. Možná manipulácia s palivovými článkami sa predpokladá najskôr za 6 dní pri dodržaní všetkých bezpečnostných opatrení, pretože i „vyhorené“ články z reaktora vykazujú vysokú rádioaktivitu.

Lahkovodné reaktory sú vybavené havarijnými zásobníkmi s vodou obsahujúcou kyselinu boritú (hydroakumulátory), ktoré sú spojené priamo s reaktorom potrubím s tlakovým ventilom a nad ich hladinou je udržiavaný pretlak dusíka. Pokiaľ by tlak chladiva v reaktore klesol pod určitú hodnotu, voda začne samostatne vnikáť do reaktora. Pri poklese tlaku chladiva sa voda do primárneho okruhu dopĺňa tiež doplnovacími čerpadlami.

Šírenie rádioaktívnych látok z jadrového paliva do okolia bráni niekoľko bariér, ktoré prakticky vylučujú vážnejšie ohrozenie okolia jadrovej elektrárne i pri veľmi málo pravdepodobnom poškodení aktívnej zóny. Za prvú bariéru je možno pokladať kovové pokrytie palivových elementov, druhou bariérou je umiestnenie reaktora a ďalších exponovaných častí v reaktorovej budove, ktorá je tvorená sústavou hermetizovaných železobetónových priestorov, v ktorých by v prípade úniku chladiva zostala rádioaktivita zadržaná.

V prípade väčšej havárie vodou chladených reaktorov sa do primárneho okruhu dostáva veľké množstvo horúcej vody a pary a je treba eliminovať nebezpečie hroziace z pretlaku pary. Preto je reaktorova budova umiestnená v záchytnej budove, tzv. kontajnementu, ktorý tvorí poslednú, najúčinnjšiu bariéru. Je to válcovitá stavba s guľovitou vrchnou časťou z predpätého betónu alebo ocele, ktorá je projektovaná tak, aby odolala vysokému pretlaku alebo iným mimoriadnym udalostiam (zásah pádom 12 tonového lietadla letiaceho rýchlosťou 720 km/h). Pokiaľ by sa v kontajnementu vytvoril pretlak pary z horúcej vody, začne sa sprchovým systémom rozstrekať studená voda, para skondenzuje a jej tlak sa zníži.

6.4.1 Rádioaktívny odpad

V súčasnosti vzniká rádioaktívny odpad pri ťažbe a spracovaní uránovej rudy, výrobe jadrového paliva, prevádzke jadrových reaktorov, prepracovaní vyhoreného jadrového paliva, likvidácii jadrových reaktorov a výrobe a používaní rádioaktívnych izotopov v rôznych druhoch a odvetviach ľudskej činnosti. V niektorých krajinách sa za nízkoaktívny odpad pokladá aj popol zo spaľovania uhlia, prípadne i niektoré odpadové produkty ropného priemyslu, pokiaľ majú väčší obsah prírodných rádioaktívnych nuklidov.

Len malá časť plyných a kvapalných rádioaktívnych látok sa vypúšťa do atmosféry prípadne vodných tokov. Väčšina sa spracováva a po istú dobu uchováva izolovane od životného prostredia. Cieľom konečných úprav (rozdrobenie, lisovanie, odvodnenie, odparenie, vyžrážanie a vysušenie) je zmenšiť objem rádioaktívnych látok a upraviť ich do vhodnej formy na dlhodobé uskladnenie.

Rádioaktívny odpad zvykneme rozdeľovať podľa aktivity na nízko-, stredne- a vysokoaktívny odpad. Nízko- a stredne aktívne odpady sa niekedy ďalej delia na krátko- a dlhodobé podľa toho, či obsahujú rádionuklidy s krátkymi alebo dlhými polčasmi rozpadu. Hlavným kritériom pre zaradenie odpadov do týchto tried je merná aktivita odpadu alebo teplo uvoľňované v hmote odpadu pri absorpcii emitovaného žiarenia. Limitné hodnoty týchto ukazovateľov sú v rade krajín rôzne a môžu sa líšiť pre odpady obsahujúce rádionuklidy emitujúce alfa alebo beta žiarenie. MAAE definuje ako vysoko aktívne odpady také, v ktorých vzniká viac tepla ako $2 \text{ kW}\cdot\text{m}^3$. Nízko- a stredne aktívne odpady sú také, ktoré produkujú menej tepla a súčasne ich merná aktivita presahuje hodnotu, pri ktorej sa látka nepokladá za rádioaktívnu z zmysle príslušných legislatívnych noriem.

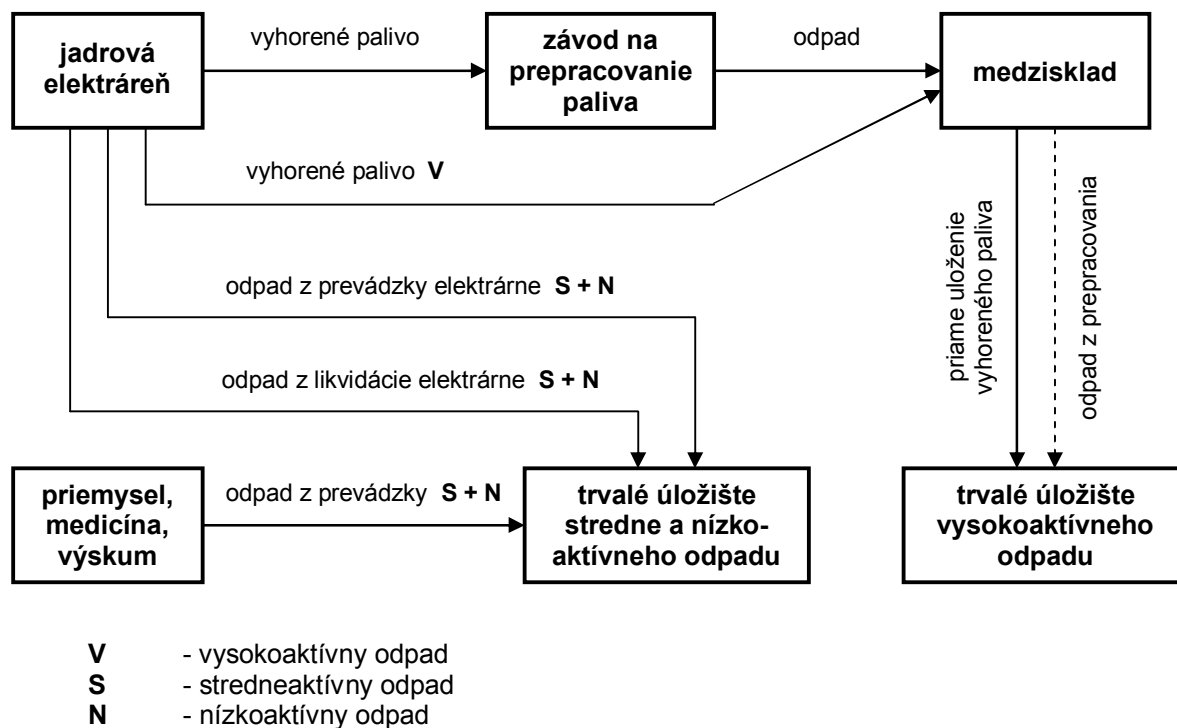
Slaboaktívny odpad sa uzatvára do 200 a 400 litrových oceľových sudov.

Stredoaktívny odpad sa navyše zalieva ešte do betónu, ktorý funguje ako radiačná clona. Do týchto dvoch kategórií odpadu patria okrem vytriedených materiálov z jadrových elektrární aj odpady z pokusných laboratórií a nemocníc pracujúcich s rádioaktívnymi izotopmi. Upravený odpad sa odváža na špeciálne skládky väčšinou pod zemou.

Väčší problém je s uskladnením **vysokoaktívneho odpadu**, pretože ten, na rozdiel od predchádzajúcich, vďaka rádioaktívnemu rozpadu vytvára toľko tepla, že sa sám zohrieva. Musí sa teda uskladniť jednak tak, aby sa čo najviac odtienilo intenzívne žiarenie, ale súčasne musí byť v schránkach, ktoré dokážu odvádzať vznikajúce teplo tak, aby sa nepoškodil materiál odpadu. Ako najspoľahlivejšie sa ukázalo zalievanie do skla. Veľká jadrová elektrárňa vyprodukuje ročne asi 3 až 4 m^3 vysokorádioaktívneho odpadu, ktorý sa zaliaty v skle ukladá v úložišti.

Väčšina nízko- a stredne aktívneho odpadu pochádza z jadrových elektrární. Sú to rádioaktívne iónomeniče a filtračný materiál zo stanice na čistenie odpadových vôd a plynov, materiál z opravy a údržby, odpad z práčovni pracovných odevov, zamorené pracovné odevy a materiál používaný k dekontaminácii. Menší diel odpadov pochádza zo zdravotníctva, výskumných a školských zariadení.

Vysoko aktívny odpad predstavuje len vyhorené palivo z jadrových reaktorov a odpad zo závodov na prepracovanie paliva. Čo do objemu predstavuje len 1 % celosvetovo produkovaných rádioaktívnych odpadov, ktoré však obsahujú približne 90 % celkovej rádioaktivity.



Obrázok 6.4 Zdroje a pohyb rádioaktívneho odpadu

Za normálnej prevádzky jadrová elektrárňa nepatrne zvyšuje úroveň žiarenia v životnom prostredí tým, že vypúšťa isté množstvo rádioaktívnych nuklidov v odpadovej vode a v odpadových plynch. Celková aktivita a zastúpenie jednotlivých rádionuklidov v odpadoch závisí na type a výkone jadrového reaktora.

Odpadové vody z filtračných a iónomeničových staníc obsahujú trítium a malé množstvá štiepných a koróziivných produktov, ktoré sa nezachytili v čistiacej stanici, väčšinou ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{137}Cs a ^{134}Cs .

V elektrárnach s tlakovodnými reaktormi má rádioaktivita odpadu svoj pôvod väčšinou v chladiacej vode, ktorá obsahuje štiepne produkty, trítium a rádioaktívne produkty korózie. Štiepne produkty by v ideálnom prípade mali zostať uzavreté v palivových elementoch. V podmienkach vysokého tepelného a radiačného namáhania vznikajú v pokrytí niektorých palivových elementov mikroskopické trhliny, ktorými malá časť štiepných produktov difunduje do chladiacej vody. Ide hlavne o izotopy prchavých prvkov - jódu, cézia a vzácnych plynov. Únik iných štiepných produktov, prípadne plutónia vznikajúceho v palive, je omnoho menší. Ďalšie rádioaktívne nuklidy pochádzajú z konštrukčných materiálov komponentov primárneho okruhu. Tieto materiály sú vystavené neutrónovému žiareniu, ktoré v nich reakciami (n,γ) produkuje radu rádioaktívnych nuklidov. Najvýznamnejšími sú ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co a ^{60}Co , ktoré vznikajú aktiváciou ocele a do chladiacej vody sa dostávajú následnou koróziou.

Väčšina rádionuklidov sa zachytí v jednotlivých čistiacich procesoch (filtre, iónomeniče), ktoré zachytia pevné častice, pričom sa z vody uvoľnia rádioizotopy vzácnych plynov. Zavedú sa do vymieracej nádrže na dobu, pokiaľ sa izotopy s krátkym polčasom nerozpadnú (^{85m}Kr , ^{87}Kr , ^{136}Xe). Do ovzdušia sa potom dostane ^{133}Xe (90%) a trocha ^{85}Kr , menšie množstvo trítia, oxidu uhličitého $^{14}\text{CO}_2$, rádioaktívny izotop jódu ^{131}I vo forme aerosólu, elementárneho jódu a organických zlúčenín (CH_3I) a malé množstvo aerosólov iných štiepnych a korózných produktov, ktoré sa nezachytili na filtroch.

Nuklid ^{14}C vzniká zo stopových množstiev dusíka a kyslíka vo vode reakciami $^{14}\text{N} (n,p) ^{14}\text{C}$ a $^{17}\text{O} (n,\alpha) ^{14}\text{C}$.

Vyhorené palivové články obsahujú pomerne veľa cenných prvkov, preto sa oplatí ich recirkulácia. Palivové články rozrezané na 5 cm kúsky sa rozpúšťajú vo vriacej kyseline dusičnej, kde sa urán, plutónium a ostatné štiepne prvky vylúhujú z dutín trubiek. V ďalšom sa urán a plutónium ako $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ a $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ oddelia od nepoužiteľných látok s použitím organickej olejovitej kvapaliny (tri-n-butyl-fosfát - $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}_4$ skrátene označovaný ako TBP rozriedený so 70% kerozinu), v ktorej sa obe spomínané zlúčeniny dobre rozpúšťajú. Po oddelení zlúčenín uránu a plutónia sa chemickými procesmi vyrobia oxidové prášky na výrobu nových palivových látok.

Špecifickým postavením v problematike rádioaktívnych žiaričov (odpadov) je výroba rádioaktívnych nuklidov pre využitie v priemysle, výskume alebo zdravotníctve. Osud ožiareného materiálu potom závisí od jeho ďalšieho použitia. Pokiaľ má vyrobený rádioaktívny nuklid slúžiť ako zdroj žiarenia tak sa hermeticky uzavrie do puzdra. Pre mnohé účely je však potrebné previesť rádioaktívny nuklid na požadovanú chemickú formu tzv. chemickú zlúčeninu.

6.4.2 Radiačná ochrana

Ionizujúce žiarenie vysielané rádioaktívnymi látkami je schopné vyvolávať poškodenie organizmu dvoma spôsobmi. Predovšetkým môže spôsobiť zničenie buniek a v dôsledku zániku dostatočného počtu buniek dôjde i k poškodeniu alebo vyradeniu funkcie určitého tkaniva alebo orgánu. Ak nedôjde k poškodeniu bunky, môže dôjsť ku zmene informácie nesenej bunkou a jej predávanie dcérinim bunkám.

Prvou úlohou radiačnej ochrany je stanoviť určité limity dávkového ekvivalentu, t.j. maximálne hodnoty, ktorými môže byť jednotliviec ožiarený. V roku 1984 boli v spolupráci **ICRP** (medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu), **WHO** (Svetová zdravotnícka organizácia) a **MAAE** (Medzinárodná komisia pre atómovú energiu) stanovené akčné úrovne opatrení k ochrane obyvateľstva v prípade havarijného úniku rádioaktívnych látok z jadrových energetických zariadení.

Sú definované dve hodnoty dávok:

- **spodná úroveň**
pod ktorou nie je použitie ochranných opatrení zdôvodnené,
- **horná úroveň**
pri jej prekročení musia byť vždy ochranné opatrenia uskutočnené.

Tabuľka 6.4

Hodnoty dávok pre ochranné opatrenia

Opatrenie	celé telo	jednotlivé orgány
skorá fáza dávky (mGy) alebo dávkový ekvivalent (mSv)		
ukrytie	5 – 20 / ¹	50 – 500
rádioprofylaktiká	–	50 – 500 / ²
evakuácia	50 – 500	500 – 5000
stredná fáza dávkový ekvivalent (mSv) získaný v 1. roku		
kontrola potravín	5 – 50 / ¹	50 – 500
premiestnenie	50 – 500	–

Poznámka:

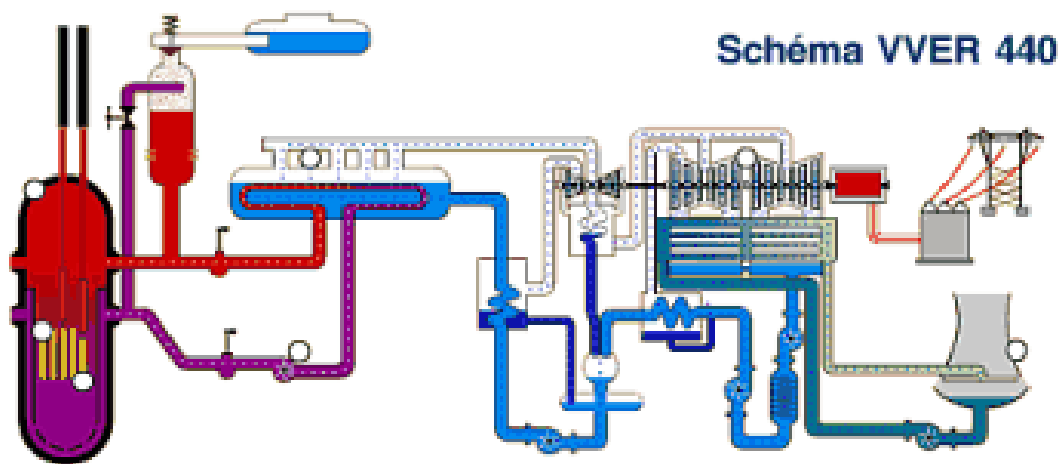
/¹ - celotelový alebo efektívny dávkový ekvivalent,/² - len štítna žľaza.

Tabuľka 6.5

Odhadované ročné dávky ožiarenia jednotlivca z rôznych zdrojov žiarenia

Zdroj	Efektívny dávkový ekvivalent (μ Sv)	
	1970	1980
prírodné pozadie		
- kozmické žiarenie	300	310
- žiarenie Zeme	400	380
- vnútorné žiarenie	370	370
- radón + thórium	900	800
zamestnanie	8	9
jadrová energia	0,002	2
prepracovanie paliva	0,008	2
využitie rádionuklidov	0,1	0,1
skúšky jadrových zbraní	4	49
civilizačné zdroje		
- televízia	1	1
- spotrebný priemysel	19	10
- diagnostika RTG	720	720
približná suma	2623	2653

Príloha č.4 udáva jednotlivé spôsoby prepočtu hodnôt dozimetrických veličín, ktoré sa používajú v súčasnosti v jednotlivých dokumentoch vo svete.



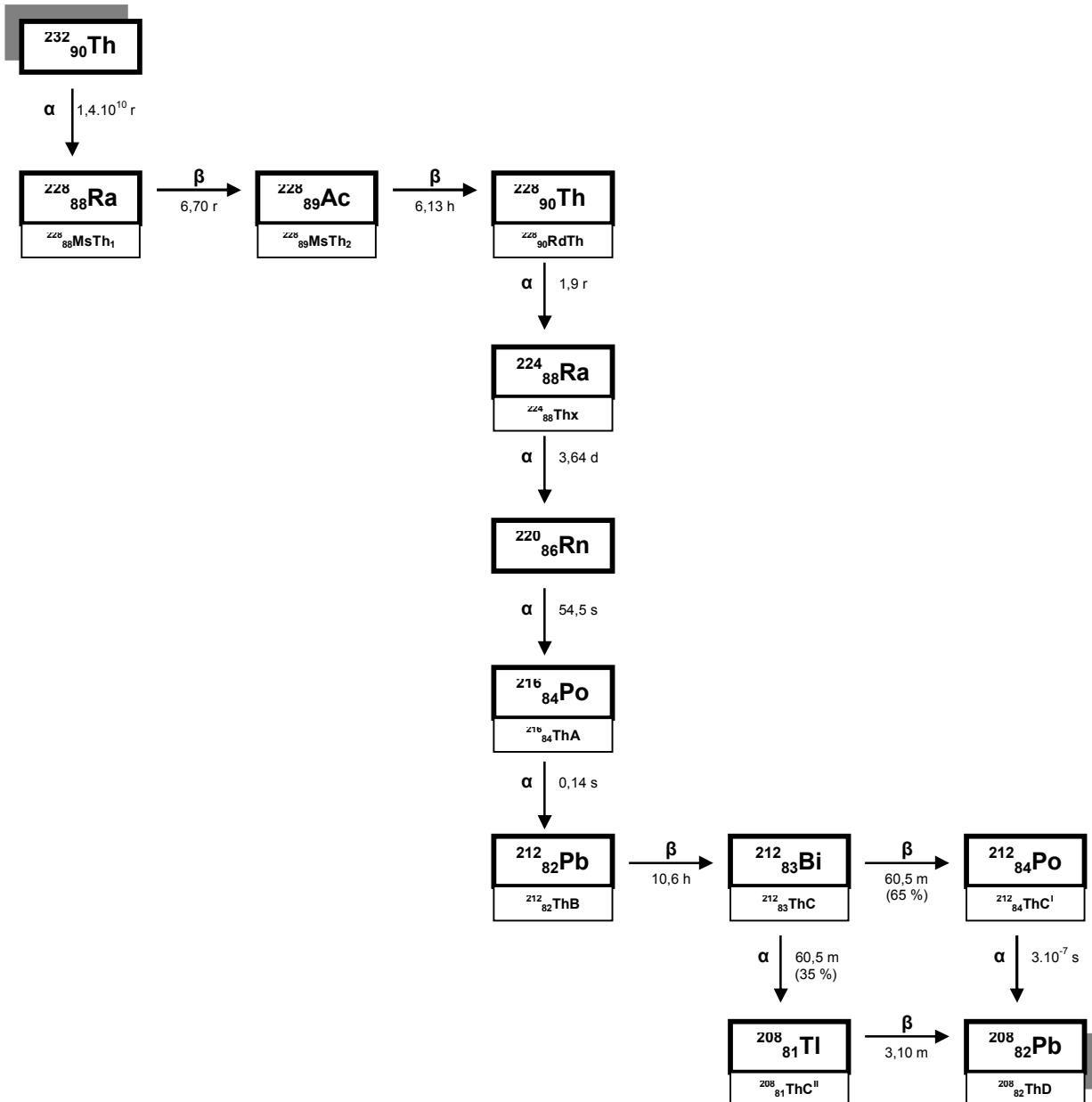
Prílohy

1	Rádioaktívne premeny prvkov	122
2	Rozdelenie rádionuklidov podľa ich relatívnej radiotoxicity	126
3	Dvojjložkové typy otravných látok	127
4	Koeficienty prepočtu (porovnaní) hodnôt dozimetrických veličín .	128

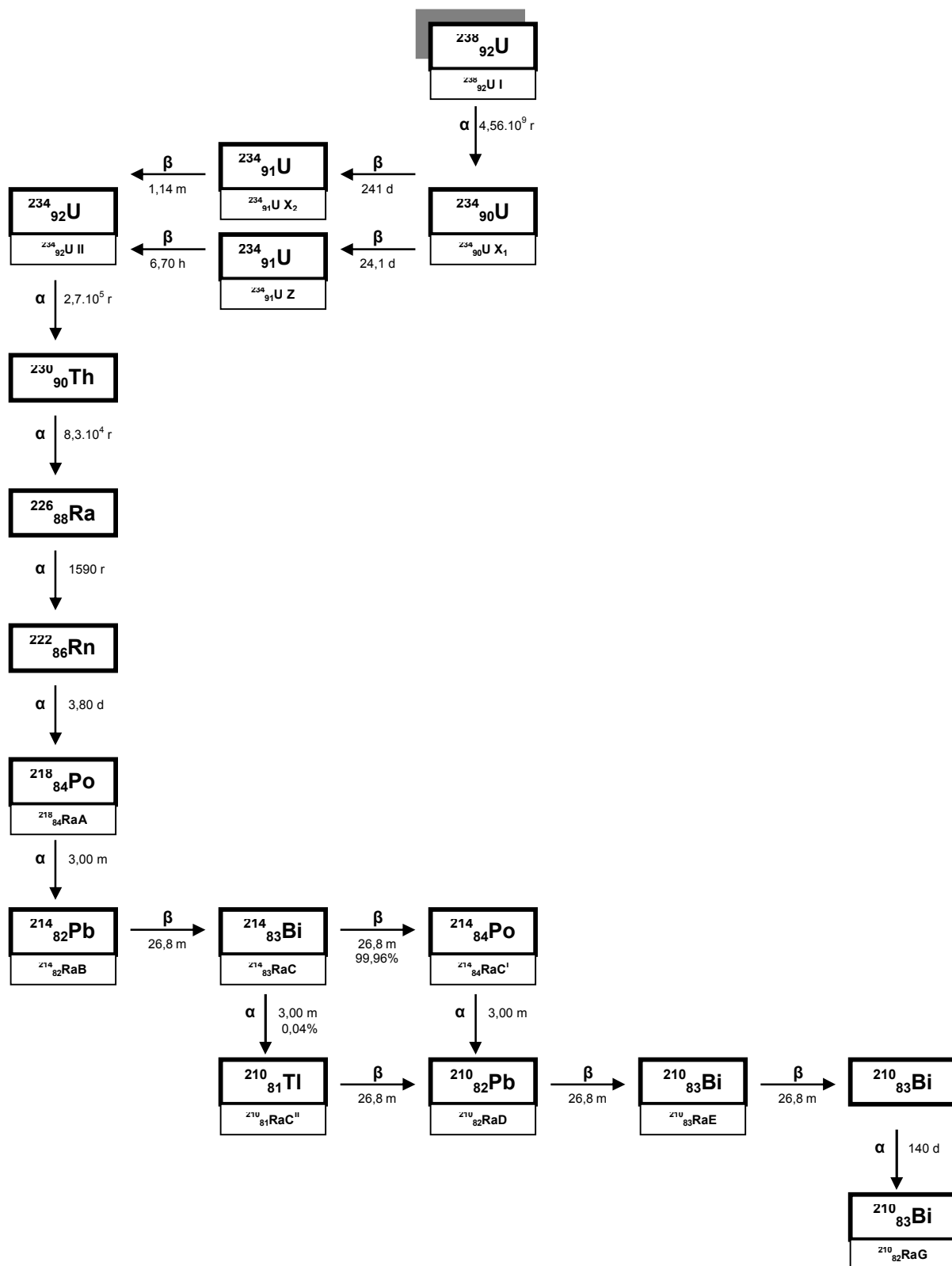
Rádioaktívne premeny prvkov

Atómy nuklidov chemických prvkov sa vyznačujú veľkou stabilitou, preto sa chemické a fyzikálne vlastnosti väčšiny látok nemenia (celkom asi 270 doposiaľ známych). Mimo nich existujú ale v prírode nuklidy nestabilné, ktorých atómy sa môžu samovoľne rozpadat' a tým aj meniť. V prírode sa nachádza asi 14 týchto nuklidov, ktoré podliehajú rádioaktívnym premenám (rozpadu), t.j. samovoľnej zmene zloženia alebo stavu svojich jadier. Všetky prirodzené rádioaktívne prvky a produkty ich rozpadu sa delia na štyri rádioaktívne rady a to **tóriova** (začínajúca $^{232}_{90}\text{Th}$ a končiaca $^{208}_{82}\text{Pb}$), **uránorádiova** ($^{238}_{92}\text{U}$ až $^{206}_{82}\text{Pb}$), **uránoaktíniova** ($^{235}_{92}\text{U}$ -Ac až $^{207}_{82}\text{Pb}$) a **plutónioneptúniova** ($^{241}_{94}\text{Pu}$ až $^{209}_{83}\text{Bi}$).

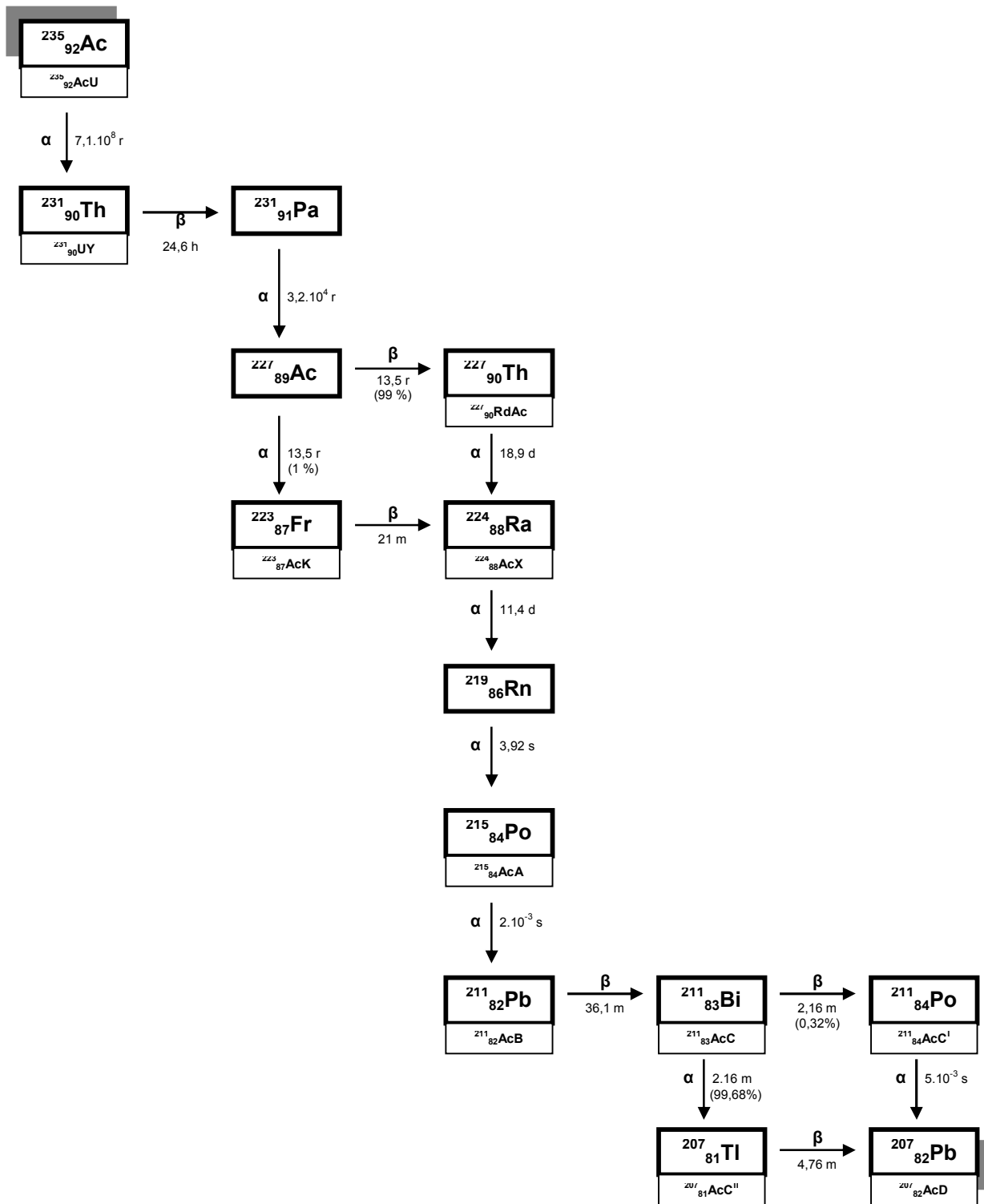
Rozpadová rada tóriova



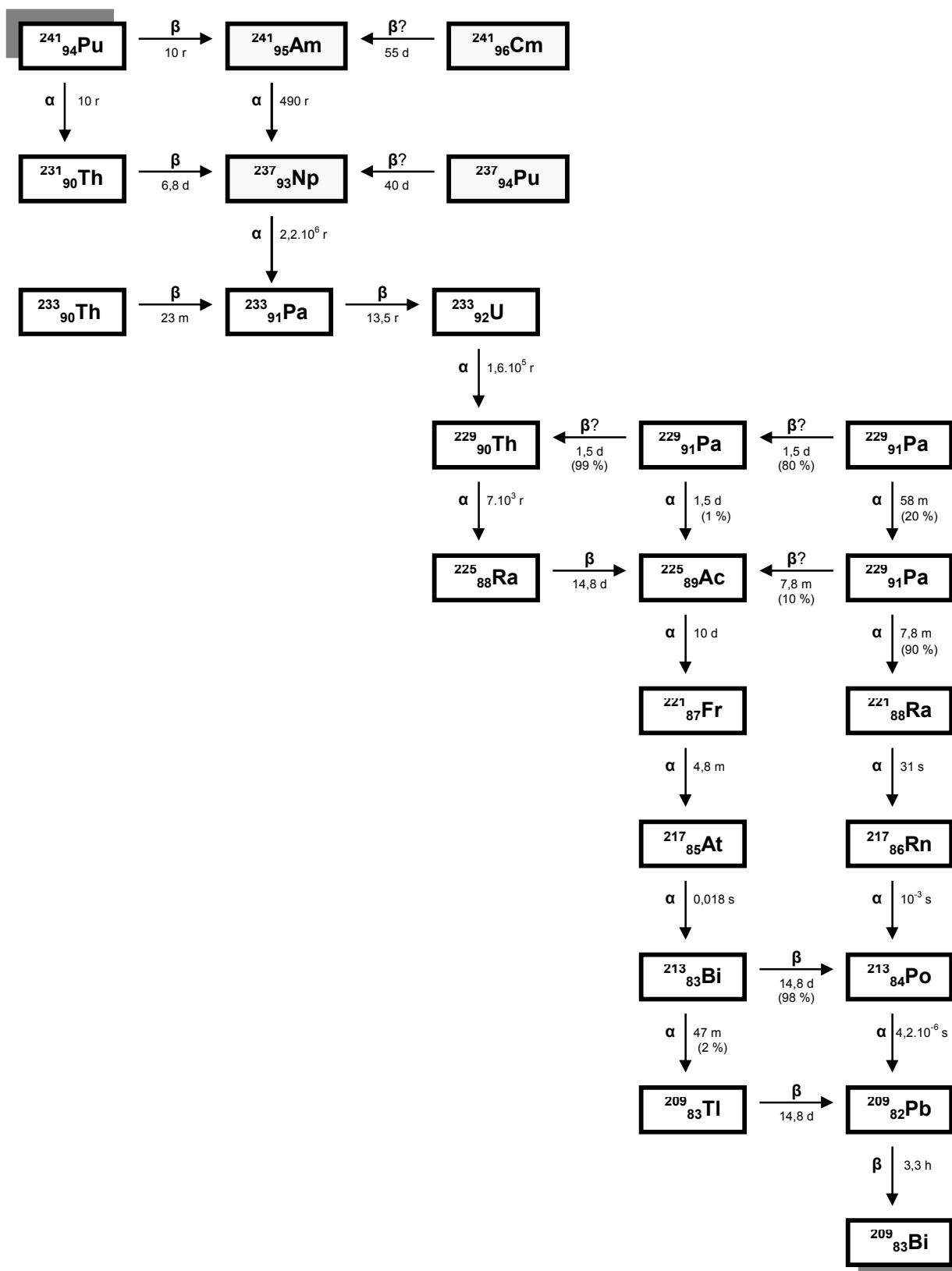
Rozpadová rada uránorádiová



Rozpadová rada uránoaktíniouva



Rozpadová rada plutónioneptúniouva



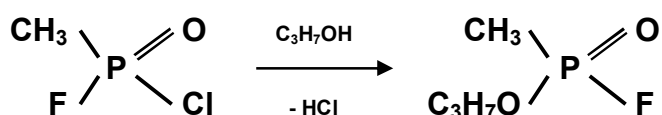
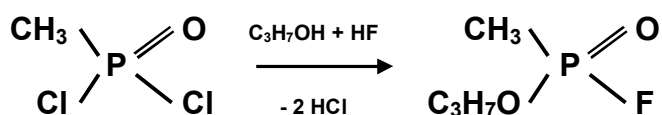
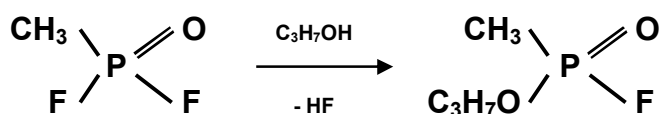
Rozdelenie rádionuklidov podľa ich relatívnej rádiotoxicity

Skupina rádiotoxicity	Rádionuklidy
<p>A vysoko toxické</p>	<p>⁹⁰Sr+⁹⁰Y, ²¹⁰Pb+²¹⁰Bi, ²¹⁰Po, ²¹¹At, ²²⁶Ac + dcérske prvky, ²²⁸Ra, ²²⁷Ac, transuránové prvky</p>
<p>B veľmi toxické</p>	<p>⁴⁵Ca, ⁵⁹Fe, ⁸⁹Sr, ⁹¹Y, ¹⁰⁷Ru+¹⁰⁶Rh, ¹¹⁰Ag, ¹²⁶I, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹⁴⁰Ba+¹⁴⁰La, ¹⁴⁴Ce+¹⁴⁴Pr, ¹⁵¹Sm, ¹⁵²Eu, ¹⁷⁰Tu, ²⁰⁷Bi, ²²³Ra, ²²⁸Ac, ²²⁷Th, ²²⁸Th, ²³⁰U až ²³⁸U</p>
<p>C stredne toxické</p>	<p>¹⁴C, ¹⁶N, ²²Na, ²⁴Na, ³¹Si, ³²P, ³⁵S, ³⁶Cl, ⁴²K, ⁴⁷Ca, ⁵²Mn, ⁵⁵Fe, ⁶⁰Co, ⁵⁹Ni, ⁶³Ni, ⁶⁵Zn, ⁷²Ga, ⁷³As, ⁷⁵Se, ⁸²Br, ⁸⁷Kr, ⁸⁶Rb, ⁸⁸Rb, ⁸⁵Sr, ⁸⁹Sr, ⁹¹Sr, ⁹²Sr, ⁹¹Y, ⁹²Y, ⁹³Y, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁵Rh, ¹⁰³Pd, ¹⁰⁵Ag, ¹¹¹Ag, ¹⁰⁹Cd, ¹¹⁵Cd, ¹¹³Sn, ¹²²Sb, ¹²⁴Sb, ¹²⁹Te, ¹³²Te, ¹³³I, ¹³⁴I, ¹³⁵I, ¹³⁵Cs, ¹³⁶Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹Ba, ¹⁴¹Ce, ¹⁴³Ce, ¹⁴²Pr, ¹⁴³Pr, ¹⁴⁶Nd, ¹⁴⁷Pm, ¹⁵⁵Eu, ¹⁵³Gd, ¹⁵⁹Gd, ¹⁶⁹Er, ¹⁷¹Er, ¹⁷¹Tu, ¹⁷⁷Lu, ¹⁸¹Hf, ¹⁸⁷W, ¹⁸³Re, ¹⁸⁶Re, ¹⁹¹Os, ¹⁹⁰Ir, ¹⁹²Ir, ¹⁹⁴Ir, ¹⁹¹Pt, ¹⁹³Pt, ¹⁹⁷Pt, ¹⁹⁶Au, ¹⁹⁹Au, ²⁰³Hg, ²⁰²Te, ²⁰⁴Te, ²⁰³Pb, ²¹²Pb, ²³¹Th, ²⁴⁰U.</p>
<p>D mierne toxické</p>	<p>³H, ⁷Be, ¹³N, ¹⁷N, ¹⁸F, ³⁸Ca, ³⁷Ar, ⁴¹Ar, ⁵¹Cr, ⁶⁹Zn, ⁷¹Ge, ⁷⁷Kr, ⁸⁵Kr, ⁷¹Ge, ⁸⁵Kr, ⁸⁷Rb, ⁹⁷Nb, ⁹⁷Ru, ¹¹⁵In, ¹²⁹Sb, ¹³³Te, ¹³⁵Xe, ¹³⁵Xe, ¹³¹Cs, ¹³⁹Ba, ¹⁴¹⁻¹⁴²La, ¹⁴⁵Ce, ¹⁴⁵Pr, ¹⁴⁴Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁶⁵Dy, ¹⁸⁷Re, ²⁰¹Tl.</p>

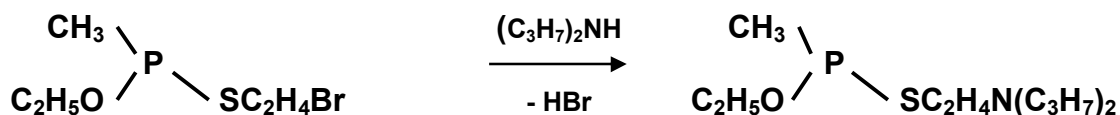
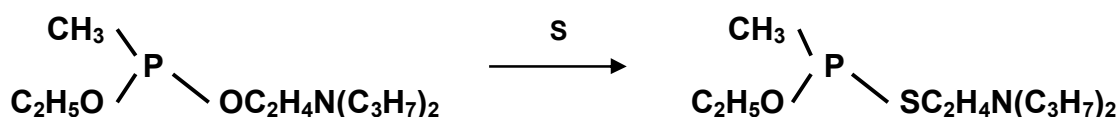
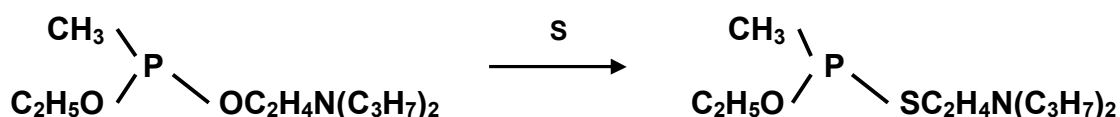
Dvojzložkové typy otravných látok

Nový spôsob prípravy toxických látok je vyvolaný najmä ich extrémnou toxicitou, ktorá spôsobuje problémy pri výrobe, skladovaní a laborovaní chemickej munície a celkovej manipulácie vrátane likvidácie vyradenej munície. Nový princíp navyše umožňuje použitie látok, ktoré sú sami veľmi nestále. Dôraz a smer výskumu bol položený hlavne v oblasti nervovoparalytických OL. U týchto látok existuje teoreticky niekoľko možných chemických reakcií – viď nasledujúce schémy reakcií.

Sarin (GB)



VX



Tento systém spočíva na možnosti vzniku toxickej látky rýchlou syntézou z relatívne netoxických poloproduktov (prekursorov) pri odpálení (spustení) chemickej munície za pomoci postupného zmiešavania jednotlivých zložiek.

U delostreleckej munície sa počíta s priaznivým vplyvom teploty pri výstrele i rotáciou strely počas letu na priebeh syntézy (zlučovacej chemickej reakcie).

Koeficienty prepočtu (porovnania) hodnôt dozimetrických veličín

Hodnota	zodpovedá (rovná sa) hodnota					
	Gy	rad	Sv	rem	C/kg	R
1 Gy		100	A : 1 B : 2,3 C : 10 D : 20	A : 100 B : 230 C : 1000 D : 2000	E : 0,0258	E : 100
1 rad	0,01		A : 0,01 B : 0,23 C : 0,1 D : 0,2	A : 1 B : 2,3 C : 10 D : 20	E : $2,5 \cdot 10^{-4}$	E : 1
1 Sv	A : 1 B : 0,435 C : 0,1 D : 0,05	A : 100 B : 43,5 C : 10 D : 5		100	E : 0,0258	E : 100
1 rem	A : 0,01 B : 0,0043 C : 0,001 D : 0,0005	A : 1 B : 43,5 C : 0,1 D : 0,05	0,1		E : $2,5 \cdot 10^{-4}$	E : 1
1 C/kg	E : 38,8	E : 3880	E : 38,8	E : 3880		3880
1 R	E : 0,01	E : 1	E : 0,01	E : 1	$2,58 \cdot 10^{-4}$	

Poznámka:

Jednotlivé prepočty sú vzťahnuté na tieto druhy žiarenia:

- A** - pre žiarenie beta, gama a X,
- B** - pre tepelné neutróny,
- C** - pre protóny a neutróny (neznámych energií),
- D** - pre žiarenie alfa,
- E** - len pre žiarenie gama alebo X.

Literatúra:

1. SOUKUP, V. a kol. Zbraně hromadného ničení a ochrana proti nim, VAAZ Brno 1985
2. Ničivé účinky jaderných zbraní, MNO Praha 1976
3. Jaderné zbraně, MNO Praha 1988
4. ŠPOLSKIJ, E.V. Atómová fyzika, SNTL Praha 1984
5. VANOVIČ, J. Atómová fyzika, Alfa Bratislava 1980
6. MAYER, T., KUCKUK, R. Fyzika atómového jadra, SNTL Praha 1989 (preklad)
7. Medzinárodná sústava jednotiek (SI), Alfa Bratislava 1984 (preklad)
8. ŠINDLÁŘ, V., SMRŽ, L. Nová soustava jednotek (SI), SPN Praha 1981
9. AUGUSTOVIČ, A. a kol. Příručka pro vojenské chemiky, Naše vojsko Praha 1982, ISBN 28-098-82.02/33
10. E. von FRANKENBERG, Zbraně hromadného ničení, Naše vojsko Praha, 1970
11. NAVRÁTIL, O. a kol. Jaderná chemie, Akademia, Praha 1985
12. FABINI, J., SCHENKOVÁ, B. Prehľad stredoškolskej chémie, 2.vydanie, SVTL Bratislava 1964
13. HÁLA E., REISER A., Fysikální chemie, Academia, Praha 1966
14. VOTAVA, M. Lékařská mikrobiologie obecná, Neptun Brno 2001, ISBN 80-902896-2-2
15. PŘECECHTĚL, F. a kol. Lékařská mikrobiologie, Masarykova univerzita Brno 1992, ISBN 80-210-0322-7
16. Bojové biologické prostriedky, MNO Praha 1989
17. Sústava poznatkov získaných cez internetovú sieť