Závěrečná práce kurzu u3v „Fyzika přátelsky pro seniory“ za období 2015 – 2017

Jan Vacek

***Prezentace*** *verze 05*

**„Příklady uplatnění 3 fyzikálních jevů, s kterými jsme se seznámili v rámci praktik katedry fyziky, pro experimentální potvrzení STR“**

**Osnova:**

* Proč jsem si vybral právě téma STR (Speciální teorie relativity)
* Úvod
* Měrný náboj elektronu
* Balmerova série - experiment H. E. Ivese a G. R. Stilwella
* Mössbauerův jev - experimenty na základě bezodrazové jaderné rezonance
* Závěr

**Proč jsem si vybral téma STR** / které v uplynulých 2 letech nebylo na programu u3v na FJFI

* časté absence na pravidelném čtvrtečním programu u3v

nicméně - ve vybraném tématu existují styčné body s aktuálními laboratorními úlohami: „Měrný náboj elektronu“, „Balmerova série atomu vodíku“, „Gama-spektrometrie“

* přednáška p. doc. Krtouše na MFF UK o STR/OTR na jaře 2013 / ∆l, ∆t, ...
* pokus přiblížit se pochopení STR/OTR pomocí ZLR (p. doc. Štoll...)

**Úvod**

* Přednáška o STR/OTR na MFF UK v roce 2013
* Několik poznámek k relativistickým jevům dilatace času a kontrakce délek

Přednáška o STR/OTR na MFF UK

Asi před čtyřmi roky jsem se zúčastnil přednášky o STR a OTR na MFF UK.

Přednášející zmínil i často citovaný příklad týkající se relativistické dilatace času, tzv. paradox dvojčat / *paradox to, jak známo, není, protože situace není symetrická* :-)

V následné diskusi jsem se zeptal, proč cestující dvojče, které se vrací relativně mladší vůči svému doma čekajícímu sourozenci (tento důsledek dilatace času je uznávaným faktem), nebude také trvale deformováno v důsledku kontrakce délky, když jejich účinky jsou kvantitativně dány týmž Lorentzovým činitelem $γ$, kde

 $γ=\sqrt{\frac{1}{1-\frac{v^{2}}{c^{2}}} }$,

i když v jednom případě dělením a ve druhém případě násobením tímto činitelem.

Odpověď zněla přibližně – „oba jevy jsou odlišné a nelze je takto spolu srovnávat“ - víc už nic...odpověď tedy poněkud lakonická..

Odpověď přednášejícího mě však inspirovala k dalšímu „bádání“, které bylo docela zábavné...

Několik poznámek k relativistickým jevům dilatace času a kontrakce délek

Pokusil jsem se nejprve ujasnit si pojem „času“. Zjistil jsem však záhy, že to nebude snadné, cituji např.:

*R. Feynman: Přednášky z fyziky, 1.díl, str. 65 a 216:*

* *„...zpomalování hodin v pohybujícím se systému je velmi zvláštní jev ...*
* *bylo by krásné, kdyby se nám podařilo najít dobrou definici času*
* *čas je jednou z těch věcí, které pravděpodobně nemůžeme definovat ...*
* *skutečně důležité však není to, jak čas definujeme, ale jak ho měříme.“*

*Albert Einstein / v roce 1907:*

 *„Ukazuje se, že bylo jen třeba, pojem času dostatečně přesně vyjádřit. Bylo jen třeba pochopit, že Lorentzem zavedenou pomocnou veličinu ´místního času´ je možno považovat za čas jako takový.“ (Lorentzův „skutečný“ čas vers. „místní“ čas → éter vers. STR)*

*Einstein zde překvapivě zavádí velmi pragmatickou, operativní definici času (přesněji: definici časového údaje): „Právě platný časový okamžik je to, co ukazuje malá ručička mých hodin.“*

*Viz R. Feynman –* ***„...důležité je, jak čas měříme!“***

*Jak tedy měříme čas?*

Obecně se při chodu hodin základní časové intervaly, generované jejich časoměrným zařízením (např. torzní kyvadlo – „nepokoj“, atomový oscilátor), periodicky přičítají k nějakému výchozímu/předchozímu údaji.

Při pohybu hodin, např. v kosmické lodi, se jejich vlastní perioda při urychlování letu nejprve prodlužuje. Po dobu pohybu konstantní rychlostí se pak vlastní perioda hodin již nemění, zůstává tedy prodloužená a poté se při zpomalování opět zkracuje, až na výchozí „klidovou“ hodnotu.

*Z pohledu pozorovatele v IVS A / dvojčete „v klidu“* bylo tedy na hodinách v IVS B / cestovatele přičteno méně časových impulzů, než na hodinách na Zemi. Hodiny tam „tikaly“ pomaleji, „čas“ tam tedy (jakoby) ubíhal pomaleji, cestovatel pomaleji stárl..

Tento jev byl nazván dilatací času a odvozen v rámci Lorentzovy transformace (nezávisle také Albertem Einsteinem) a použit pro vysvětlení experimentu Michelsona a Morleye.

*Zkracují se míry „cestujícího“ ve směru jeho pohybu?*

*Relativistická kontrakce délek - komentáře k tomuto jevu [zdroj: web/různé]*

*„Kontrakce délky je matematickým efektem, majícím za cíl zachování základních prostorových vztahů Minkowskiho prostoročasu, v němž je kontrakce délek jevem přesně komplementárním k dilataci času. Nemůžeme tedy od sebe kontrakci délek a dilataci času odtrhovat, pokud chceme zachovat rychlost světla ve formě mezní rychlosti v teorii relativity. Nemůžeme se obejít bez kontrakce délek, pokud má být rychlost světla invariantní vzhledem k různým vztažným soustavám.“*

Pozn./příklad: nechť je rychlost světla $c=\frac{∆s}{∆t} ;$ jeví-li se dráha $∆s$ při pozorování z jiné IVS (IVS B) v důsledku kontrakce délky zkrácená např. na $\frac{∆s}{2} , $musí se pro zachování rychlosti světla $(c=konst$) zpomalit běh času ve stejném poměru, tedy na hodnotu $\frac{∆t}{2}$ , kde pod $∆t$ se zde rozumí počet časových impulsů pozorovaných z IVSB.

*„Je kontrakce délek reálná nebo zdánlivá? V rámci teorie relativity je vztah mezi klidovou délkou a kontrahovanou délkou jednoznačně definovaný a ve fyzice se s tímto jevem běžně pracuje. A. Einstein však odmítl v roce 1911 tvrzení Vladimíra Varičaka, podle něhož je Lorentzova kontrakce skutečná (V.V. vycházel ještě z Lorentzova pohledu, podle něhož při pohybu hmotného objektu v hmotném éteru dochází k jeho kontrakci), Einsteinova naproti tomu pouze zdánlivá, subjektivní (protože odvozená z kinematických zákonů, bez předpokladu existence éteru):*

*´Autor neprávem rozlišuje mezi Lorentzovým a mým chápáním tohoto jevu ve vztahu k fyzikální skutečnosti. Otázka, zda Lorentzova kontrakce skutečně existuje či nikoliv, je zavádějící. Ona skutečně neexistuje pro pozorovatele v téže IVS, avšak skutečně existuje z pohledu pozorovatele v jiné IVS, totiž tak, že je v principu možné, ji zde fyzikálními prostředky prokázat.´ (Albert Einstein)“*

A. Einstein vysvětluje kontrakci délek jako důsledek kinematických efektů, např. nesoučasnosti měření koncových bodů měřicí tyče.

**Měrný náboj elektronu**

Již roku 1881 se Joseph John Thomson domníval, že elektrostatické pole zvětšuje hmotnost těles, a že tento přídavek je závislý na rychlosti pohybu. Pro tuto „elektromagnetickou“ či „zdánlivou“ hmotnost odvodil vztah:

m = ( 4 / 3 ) E / c 2 {\displaystyle m=(4/3)E/c^{2}} $m=\frac{4}{3}m=\frac{E}{c^{2}}$ (m.n.e.01)

kde *E* je elektromagnetická energie a *c* je rychlost světla.

Tento koncept byl dále rozvíjen zejména H.A. Lorentzem.

***H. A. Lorentz (Leiden) Über die scheinbare Masse der Ionen / O zdánlivé hmotnosti iontů***

30.09.1900

<https://de.wikisource.org/wiki/%C3%9Cber_die_scheinbare_Masse_der_Ionen>

Citace:

„Při experimentech s katodovými paprsky byla pozorována závislost velikosti poměru náboje iontu (elektronu) k jeho hmotnosti $\frac{e}{m}$ na rychlosti pohybu. Otázkou pak bylo, co si pod touto hmotností představit. V každém případě by se mělo jednat o jakousi zdánlivou hmotnost, neboť iont v důsledku svého pohybu generuje v éteru určitou energii. Nazvěme tuto zdánlivou hmotnost $m\_{0}$. Je však možné, že iont má kromě toho ještě skutečnou/vážitelnou hmotnost v obvyklém smyslu tohoto slova. Toto je velmi důležité, neboť se zde nabízí otázka vztahu vážitelné hmoty k éteru a k elektřině.“

Závislost velikosti měrného náboje elektronu na rychlosti jeho pohybu byla překvapivá a zabývala se jí řada fyziků. Nabízela se různá řešení, zejména na základě nových poznatků o elektromagnetismu.

W. Wien v diskusi k tomuto tématu uvažoval o možnosti opustit koncepci klasické setrvačné hmotnosti a nahradit ji elektromagneticky definovanou hmotností zdánlivou a tím docílit sjednocení mechanických a elektromagnetických jevů. H. A. Lorentz se v té době pokoušel definovat též gravitaci elektromagneticky (na základě podobnosti vztahů pro Newtonovu gravitační a Coulombovu elektrostatickou sílu).

H. A. Lorentz zavedl též pojmy „příčné/transversální“ a „podélné/longitudinální“ hmotnosti.

Podrobněji viz: <https://de.wikibooks.org/wiki/Ruhemasse_und_relativistische_Masse_eines_K%C3%B6rpers#Transversale_und_longitudinale_Masse.2C_Ruhemasse>

Postupně vyšlo najevo, zejména díky A. Einsteinovi, že skutečnou hmotnost reprezentuje tzv. hmotnost příčná. Tato je tvořena součtem tzv. hmotnosti klidové a hmotnosti, kterou částice/elektron získává při urychlování jejího pohybu. Touto druhou složkou je tedy vlastně hmotnost její kinetické energie (ekvivalence hmotnosti a energie dle A. Einsteina).

Tím byla též odstraněna poslední nesrovnalost STR. Dosud totiž nebylo zcela zřejmé, proč, na jedné straně, elektrické náboje invariantní vůči LT jsou a hmotnost nikoliv.

A ještě – relativita hmotnosti byla do té doby jediným relativistickým jevem, který nebylo možné odvodit z Minkowského metriky čtyřrozměrného prostoru.

Relativita hmotnosti ve smyslu relativistické kinematiky totiž neexistuje.

Poznámka: Důsledky relativistické změny hmotnosti

(podle R. Feynman: Přednášky z fyziky/překlad doc. I. Štoll, 1. díl, str. 221-223)

Pro přírůstek hmotnosti pro malé rychlosti platí / podle Taylorova rozvoje:

$m=\frac{m\_{0}}{\sqrt{1-\frac{v^{2}}{c^{2}}}}=m\_{0}\left(1-\frac{v^{2}}{c^{2}}\right)^{-\frac{1}{2}}=m\_{0}\left(1+\frac{1}{2}\frac{v^{2}}{c^{2}}+\frac{3}{8}\frac{v^{4}}{c^{4}}+ …\right)$. (m.n.e.02)

Pro malá $v$ řada velmi rychle konverguje, proto můžeme psát

$m≈m\_{0}+\frac{1}{2}m\_{0}v^{2}\left(\frac{1}{c^{2}}\right)$, (m.n.e.03)

kde druhý člen na pravé straně rovnice vyjadřuje přírůstek hmotnosti, např. částice, v závislosti na rychlosti jejího pohybu.

$\frac{1}{2}m\_{0}v^{2}$ je vztah pro kinetickou energii, můžeme tedy říci, že přírůstek hmotnosti je roven přírůstku kinetické energie dělenému $c^{2}$→$ ∆m=\frac{W\_{k}}{c^{2}}$,

což je též vztah používaný např. v částicové fyzice, kde $W\_{k}$ se vyjadřuje v $\left[eV\right]$, což je energie udělená částici při jejím urychlení v elektrickém poli.

Každé těleso má tedy pouze jedinou hmotnost ($m\_{0})$, nezávislou na rychlosti jeho pohybu a tím i nezávislou na jeho IVS. Tuto hmotnost „změří“ každý pozorovatel ve své vlastní IVS. Přírůstek hmotnosti při pohybu je dán hmotností jeho kinetické energie a ten „změří“ pouze pozorovatel z jiné IVS.

Uvedená skutečnost vedla A. Einsteina k nápadu vynásobit vztah (me03) $c^{2}$. Pak platí

$mc^{2}=m\_{0}c^{2}+\frac{1}{2}m\_{0}v^{2}$. (m.n.e.04)

Výraz na levé straně rovnice vyjadřuje celkovou energii tělesa a druhý člen na pravé straně kinetickou energii. Konstanta $m\_{0}c^{2}$ vyjadřuje vnitřní energii, nazývanou též klidovou energií. Z předpokladu, že celková energie tělesa je vždy $mc^{2}$, lze z (m.n.e.04) též zpětně odvodit vztah pro závislost hmotnosti na rychlosti:

Změna kinetické energie s časem je rovna součinu síly a rychlosti

$\frac{dE\_{k}}{dt}=F∙v$ (m.n.e.05)

---------------

odvození $\frac{dE\_{k}}{dt}=F∙v$ / R.F., str. 185

$\frac{dE\_{k}}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^{2}\right)\frac{dv}{dt}=\frac{1}{2}m2v\frac{dv}{dt}=Fv$

---------------

dále platí $F=\frac{d\left(mv\right)}{dt}$

 a z toho $\frac{d\left(mc^{2}\right)}{dt}=v∙\frac{d\left(mv\right)}{dt}$ . ..........(m.n.e.06)

Po vynásobení rovnice $2m$ dostáváme

$2mc^{2}\frac{dm}{dt}=2mv∙\frac{d\left(mv\right)}{dt},$ (m.n.e.07)

kde $2m\frac{dm}{dt}$ je derivací $m^{2}$podle časua $2mv∙\frac{d\left(mv\right)}{dt}$ je derivací $m^{2}v^{2}$ podle času.

Rovnice (me07) pak odpovídá rovnici

$c^{2}\frac{d\left(m^{2}\right)}{dt}=\frac{d\left(m^{2}v^{2}\right)}{dt}.$ (m.n.e.08)

Jsou-li si derivace dvou výrazů rovny, pak se hodnoty těchto výrazů liší nejvýše o konstantu. Můžeme tedy psát

$m^{2}c^{2}=m^{2}v^{2}+C$. (m.n.e.09)

Nechť pro *v = 0* je *m = m0*.

Pak platí

 $m^{2}c^{2}=m^{2}v^{2}+m\_{0}^{2}c^{2}.$ (m.n.e.10)

Dělením $c^{2}$ a úpravou dostáváme

$m=\frac{m\_{0}}{\sqrt{1-\frac{v^{2}}{c^{2}}}}$ . (m.n.e.11)

Toto je tedy podmínka, aby platil vztah ekvivalence hmotnosti a energie (me04).

Tento vztah byl experimentálně ověřen např. pozorováním anihilace elektronu s pozitronem, kdy vzniknou dva fotony gama, každý s energií $m\_{0}c^{2}= $511 keV.

----------------------

*Pro ilustraci ještě několik příkladů měření e/m z období přelomu 19. a 20. století.*

Byly to zejména experimenty Kaufmanna, Bucherera a Neumanna z let 1901–1915, jejichž cílem bylo právě nalezení závislosti setrvačné hmotnosti elektronů na jejich rychlosti. Tyto experimenty měly pak v počátcích rozvoje STR velký význam pro uznání této tehdy nové teorie, i když jejich výsledky nebyly po poměrně dlouhou dobu jednoznačně přijímány.

## Experimenty Waltera Kaufmanna

Pomocí tehdy běžných katodových paprsků bylo možné dosáhnout rychlostí max. cca. 0,3c, proto Kaufmann použil pro své experimenty záření β-, vznikající při radioaktivním rozpadu Radia, kde se elektrony pohybovaly rychlostí přes 0,9c. Při uspořádání experimentu (podobnému měření měrného náboje elektronu na FJFI) byla tedy nalezena velikost podílu e/m (obr. 1). Náboj elektronu je vůči změně rychlosti elektronu invariantní, změna velikosti e/m tedy musela být způsobena změnou hmotnosti elektronu.



Obr. 1 (m.n.e.) Kaufmannova měření z roku 1901 (korigovaná v roce 1902) ukázala zmenšování poměru e/m s rychlostí



Obr. 2 (m.n.e.) Závislost tzv. transverzální elektromagnetické hmotnosti na rychlosti podle

 Abrahama, Lorentze, a Bucherera

Abraham odvodil pro příčnou hmotnost následující vztah:

$m\_{T}=\frac{3}{4}∙m\_{em}∙\frac{1}{β^{2}}\left[\frac{1+β^{2}}{2β}ln\left(\frac{1+β}{1-β}\right)-1\right]$ $β=\frac{v}{c}$

H.A. Lorentz roku 1904 průběh této funkce ještě dále upravil. Jeho tvar byl pak totožný s tím, který roku 1905 odvodil A. Einstein na základě postulátů Speciální teorie relativity:

$m\_{T}=\frac{m\_{em}}{\sqrt{1-\frac{v^{2}}{c^{2}}}}$

**Experiment H. E. Ivese a G. R. Stilwella**

„An Experimental Study of the Rate of a Moving Atomic Clock“

„Journal of the Optical Society of America“, July 1938

 (Experimentální studie chodu ***pohybujících se atomových hodin***)

Experiment Ivese a Stilwella byl prvním experimentem, kterým se podařilo přímo prokázat existenci Einsteinova tzv. příčného Dopplerova efektu a tím i dilataci času podle STR.

Podle A. Einsteina totiž dilatace času vede k modifikaci klasického, podélného Dopplerova jevu, kde se projevuje jako tzv. příčný Dopplerův jev.

V roce 1938 Ives a Stilwell skutečně změřili červený posuv, tedy prodloužení vlnové délky a to u modrozelené spektrální čáry vodíku $H\_{β}$ Balmerovy série, jehož velikost odpovídala předpovědi STR.



Obr.1 (B.S.) Schéma experimentu

„Letícími“ hodinami jsou zde míněny anodové paprsky, neboli proud kladných iontů, urychlovaných mezi anodou a katodou trubice kanálového záření. Ionty molekul vodíku pak pronikají otvory v katodě do další sekce trubice, v níž se již pohybují setrvačností – tedy konstantní rychlostí.

Přímé pozorování příčného Dopplerova jevu je velmi obtížné, neboť jeho efekt je vzhledem ke své nepatrné velikosti překrýván klasickým „podélným“ Dopplerovým jevem. Ives proto navrhl metodu nepřímého pozorování příčného Dopplerova jevu. Měření bylo prováděno ve směru, resp. proti směru pohybu molekulárních iontů vodíku. Ives se Stilwellem tedy vlastně měřili podélný Dopplerův jev ve dvou opačných směrech. Když pak odečetli střední hodnotu rozdílu obou naměřených hodnot od „klidové“ hodnoty frekvence či vlnové délky zvolené spektrální čáry, obdrželi hodnotu červeného posuvu, způsobeného příčným Dopplerovým jevem (podle „Prof. Z. Horák, přednáška pro pobočku JČMF v Praze 5.5.1961“).

Dosažená přesnost této metody měření dilatace času se pohybovala v jednotkách %.

Některé údaje z publikace autorů (volný překlad)



Obr.2 (B.S.) Typické spektrogramy získané při různých urychlovacích napětích

Uprostřed každého spektrogramu se nalézá „neposunutá“ spektrální čára 486,199 nm, příslušející záření emitovanému neurychlenými atomy vodíku. Po obou stranách této „klidové“ čáry se nacházejí ve vzdálenostech v poměru $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ spektrální čáry příslušející urychleným molekulám vodíku H2 a H3 . Spektrální čáry, které by odpovídaly urychleným atomům vodíku H1, pozorovány nebyly. Změřené hodnoty spektra ale odpovídají spektru atomu vodíku, předpokládá se tedy, že před emisí se některé urychlené molekulární ionty vracejí do atomárního stavu. Podle autorů tehdy nebyly známy experimentální ani teoretické důvody, proč by tomu tak nemohlo být.

Na dalším obrázku z této práce jsou graficky znázorněny hodnoty červeného posuvu tzv. 2. řádu, důsledku příčného Dopplerova jevu, vynesené v závislosti na posuvu tzv. 1. řádu, čili klasického Dopplerova jevu.



Obr. 3 (B.S.) Účinky příčného Dopplerova jevu jsou o 2 až 3 řády menší (řádově 0,001 nm),

 než účinky klasického Dopplerova posuvu.

Závěr vyplývající z těchto experimentů: změna frekvence světla emitovaného z pohybujícího se zdroje, kterou předpovídá teorie Larmora-Lorentze, je tímto potvrzena.

Diskuse

Zhodnocení výsledků (podle autorů)

„Výsledky se jeví být uspokojivým potvrzením teorie Larmora-Lorentze. Je však třeba se zmínit o určitých okolnostech experimentu a o výsledcích, které by mohly být v budoucnu zdokonaleny.

Zřejmě nejméně uspokojivou se jeví skutečnost, že posuv (měřený) střední hodnoty (obou) Dopplerovských posuvů (center of gravity), který je podstatou důkazu změny frekvence (při pohybu částic kanálového záření), je vždy menší (i teoreticky) než vzdálenosti složek čáry $H\_{β}$(čára $H\_{β} $je dublet).

Avšak konzistence našich výsledků s předpovědí teorie, a to v širokém rozsahu rychlostí a pro dva druhy částic, může být při neexistenci jiného známého nesouladu považována za důkaz jejich správnosti.“

**Experimenty na základě bezodrazové jaderné rezonance**

[*http://docplayer.cz/15534338-Pokroky-matematiky-fyziky-a-astronomie.html*](http://docplayer.cz/15534338-Pokroky-matematiky-fyziky-a-astronomie.html)

/volně podle Prof. Zd. Horáka/

O několik řádů přesnější měření umožnilo využití tzv. Mössbauerova jevu.

Dopadá-li záření $γ$ ze svého zdroje na látku s atomy se stejnými jádry, jsou fotony těmito jádry význačně pohlcovány a tato jádra pak přecházejí ze základního stavu do stavu vzbuzeného.

Při emisi musí vektorový součet hybností jádra a fotonu zůstat stálý, a proto na jádro působí zpětný impuls. Jádro získá kinetickou energii a o tuto energii se zmenší energie vyzářeného fotonu, což se projeví jeho nižší frekvencí.

Podobné je to při absorpci fotonu jádrem. Dochází k posunutí spektrální čáry emisní vůči čáře absorpční.

Tak by tomu bylo, kdyby jádra byla před emisí nebo absorpcí volná, bez vazby na další částice. Jádra však bývají chemicky vázána, např. v krystalech. Za jistých podmínek jsou pak možné takové jaderné přechody, kterým neodpovídá žádná přípustná změna vnitřní energie krystalu. Hmotnost krystalu je oproti hmotnosti jádra mnohem větší a absorbovaný foton je „odražen“ prakticky beze ztráty energie. Tento jev se nazývá „bezodrazovou jadernou rezonancí“ (bez zpětného odrazu) a podle jeho objevitele se nazývá Mössbauerovým jevem /NC 1961/.

Nejběžnější metoda měření na základě Mössbauerova jevu je metoda transmisní. Zářič, pohybující se v definovaném rychlostním režimu, obsahuje jádra, která přecházejí do základního stavu bezodrazovou emisí γ-záření. Vlivem [Dopplerova jevu](http://www.cojeco.cz/index.php?s_term=&s_lang=2&detail=1&id_desc=21222) se mění energie emitovaných $γ$ -kvant v závislosti na okamžité rychlosti zářiče. Emitované záření dopadá na nepohyblivý vzorek (absorbér), prošlá $γ$ -kvanta jsou detekována detektorem a registrována v závislosti na okamžité rychlosti zářiče. Závislost registrované intenzity na rychlosti zářiče se nazývá rychlostní spektrum rezonanční absorpce a obsahuje informaci o struktuře hladin absorbujících jader.

**Rotační Mößbauerův Experiment**

Kündigův experiment z roku 1963

Je to obdoba experimentu Ivese a Stilwella z roku 1938, kde se pro identifikaci příčného Dopplerova jevu také využívá měření podélného Dopplerova jevu v obou směrech.Jako absorbér je použito železo 57Fe, umístěné ve vzdálenosti 9.3 cm od osy rotoru ultracentrifugy a zdrojem je kobalt [57Co](https://de.wikipedia.org/wiki/Cobalt), uchycený ve středu rotoru na piezoelektrickém transformátoru ([PZT](https://de.wikipedia.org/wiki/Blei-Zirkonat-Titanat)). V důsledku rotace zanikne rezonance mezi zdrojem a absorbérem, protože při pohybu absorbéru se projeví relativistická dilatace času, což se projeví zpomalením absorpce a vznikne červený posuv zpětně vyzářeného $γ$ kvanta. Pro určení velikosti relativistického červeného posuvu se využívá periodické změny polohy zdroje vůči absorbéru a tím vznikajícího Dopplerova jevu.

**Poznámka**

„Pound and Rebka (1960) and Josephson (1960) have pointed out that

gamma rays emitted without recoil are still affected by the mean square velocity of the nuclei in the source and absorber, respectively, which gives rise to an energy shift.

This shift can be explained in terms of the relativistic second order Doppler shift or as being due to the resulting **change in mass of the nucleus during the emission or absorption of a gamma quantum**.

Both views appear to be equivalent.“

Zdroj:

THE MÖSSBAUER EFFECT AND TESTS OF RELATIVITY

by EKHARD PREIKSCHAT

University of Birmingham October 1968

**Ještě několik zajímavostí o fyzikálních základech Mössbauerova jevu**

(podle V. Ullmanna)

<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm#Gama>

**Elektromagnetické radioaktivní přeměny**
Jedná se o radioaktivní procesy deexcitace jader způsobené **elektromagnetickou interakcí**. Kromě základního stavu mají atomová jádra řadu excitovaných stavů (energetických hladin), z nichž se jen část uplatňuje při radioaktivních přeměnách. Ostatní excitované stavy vznikají jen při ostřelování jader energetickými částicemi z urychlovačů.
Po radioaktivní přeměně jen málokdy zůstává vzniklé dceřiné jádro v nevybuzeném základním energetickém stavu. Po změnách v počtu nebo typu nukleonů v jádře se nukleony nemusejí ihned vyskytovat v nejnižších energetických stavech. Uvolněná energie vede k tomu, že dceřiné jádro po radioaktivní přeměně vzniká většinou v **energeticky excitovaném stavu**; nukleony se přeskupují do nižšího energetického stavu - dochází k **deexcitaci**, při níž se příslušný energetický rozdíl **vyzáří** ve formě jednoho nebo více kvant - **fotonů** - tvrdého elektromagnetického záření - **záření gama.** Vyzářením kvant *γ* se stabilizují energetické poměry v jádře.

Gama-fotony pocházejí z jaderných přechodů mezi **diskrétními hladinami** s přesně danými energiemi, takže jsou v zásadě **monoenergetické**, jejich ideální fyzikální spektrum představuje **ostrou linii** na energii E.

**Energie** *γ* **záření** z radionuklidů se většinou pohybuje v rozmezí cca 5keV až 5MeV.

**Rychlost deexcitace a vyzáření** *γ***.**

**Jaderná izomerie a metastabilita.**
Většina jaderných excitovaných stavů je **velmi nestabilní** a prakticky okamžitě (po řádově 10-12 s.) deexcituje vyzářením fotonového záření gama. V některých případech však jaderné excitované hladiny nedeexcitují okamžitě, ale až po uplynutí určitého delšího času - říkáme, že jsou **metastabilní**. Tento jev se též nazývá **jaderná izomerie** - jádra mohou existovat ve dvou izomerních stavech, nazývají se **izomery**.

**Příčina metastability a izomerie:**
Hlavním mechanismem **potlačení gama-deexcitace** vzbuzených jaderných hladin, kterému metastabilní izomery vděčí za svoje dlouhé poločasy, je relativní "**zákaz**" gama přechodu z důvodu **velkého rozdílu momentů hybnosti** (spinů) mezi příslušnými jadernými hladinami - "***spinový nesoulad***".

**Vnitřní konverze záření gama a X; konverzní a Augerovy elektrony**
Pokud je jádro součástí atomu, nemusí se všechny dexcitace v jádře vyzářit jako fotony záření *γ*. Může dojít ke *konkurenčním procesům*, zabraňujícím emisi části fotonů záření *γ* při deexcitaci vzbuzených jaderných hladin - především k procesu tzv. **vnitřní elektronové konverze** záření gama (zkráceně jen *vnitřní konverze gama*). Energie jaderné deexcitace se nevyzáří, ale je předána některému elektronu v obalu, který pak vylétá jako tzv. *konverzní*

*elektron.*

Obr. Schématické znázornění vnitřní konverze záření *γ* za vzniku konverzních elektronů a

 charakteristického X-záření a vnitřní konverze záření X za vzniku Augerových elektronů.

V obrázku jsou schematicky znázorněny všechny příslušné procesy. Především, modrou šipkou je znázorněn základní případ "nerušeného" vyzáření fotonu *γ* z excitovaného jádra. Proces vnitřní konverze si můžeme zjednodušeně představit tak, že foton gama, emitovaný při deexcitaci vzbuzené jaderné hladiny, se může "srazit" s obalovým elektronem vlastního atomu, který přebere veškerou jeho energii (dojde k *fotoefektu*), foton gama **zanikne** a místo něj vyletí elektron uvolněný díky přijaté energii z vazby v atomu (tlustší červená šipka). Tento jev je běžně pozorován, nazývá se **vnitřní konverze** záření gama (dříve se nazýval též "*vnitřní fotoefekt*") a příslušné elektrony se nazývají **konverzní elektrony**.

***Pozn.:*** Uvedené **starší vysvětlení** mechanismu vnitřní konverze je nyní třeba považovat jen za heuristické; foton záření gama ve skutečnosti vůbec **z jádra nevyletí** (je jen **virtuální**), nýbrž energie deexcitace vzbuzené hladiny jádra je elektromagnetickou interakcí předána nejbližšímu obalovému elektronu **přímo** a ten pak z atomu vyletí s kinetickou energií danou rozdílem energie deexcitace jádra a vazbové energie elektronu v obalu. Fyzické vyzáření fotonu gama zde není nutné, neboť vlnová funkce obalových elektronů částečně proniká do jádra (je nenulová pravděpodobnost výskytu elektronu v oblasti jádra) a interakce může nastat bezprostředně. Navzdory svému názvu tedy vnitřní konverze není "dvoustupňový" proces (při němž by se foton gama nejprve emitoval a pak byl pohlcen elektronem, který se vyzáří), ale přímým "jednostupňovým" elektromagnetickým procesem.
Vnitřní konverze je favorizována v případech, kdy přímá deexcitace vyzářením fotonu gama je zakázána v důsledku "spinového nesouladu" (bylo diskutováno výše v odstavci "[**Jaderná metastabilita a izomerie**](http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm#IzomerieMetastabilita)").

Proces vnitřní konverze nastává nejčastěji s elektrony na **slupce K** (ve stavu 1s), která je nejblíže jádru a vlnová funkce jejich elektronů s nejvyšší pravděpodobností proniká k jádru.

**Elektronový záchyt (K-záchyt)**

Jedná se o záchyt elektronu z elektronového obalu (nejčastěji elektronu ze sféry K) do jádra. Obsahuje-li jádro o jeden proton více než připouští jeho stabilita, zachytí jeden elektron z K-orbitu a absorbuje ho. Proton v jádře se přemění na neutron. Uprázdněné místo v K-orbitu se doplní elektronem z vyššího orbitu a přebytek energie se vyzáří ve formě fotonu.

Při elektronovém záchytu se hmotnostní číslo prvku nezmění, protonové číslo se zmenší o 1. Prvek se posune o jedno místo vlevo v periodické soustavě prvků.

**Závěr**

A ještě jednou „čas“ / „ČAS jako takový“

Nikde se mi nepovedlo nalézt zmínku o přírodním procesu, který by byl řízen nějakým centrálním generátorem synchronizačních impulsů, podobně, jako je tomu např. u sekvenčních automatů nebo u číslicových počítačů. Vesmír zřejmě funguje jinak, než jako proces, řízený synchronizačními impulzy, generovanými „centrálním mozkem Vesmíru“?

To vyjádřil A. Einstein již v roce 1907 „...malou ručičkou svých vlastních hodinek“.

Čas/běh času si lidé pravděpodobně odvodili z pozorování periodických dějů v přírodě a postupně jeho použití rozšířili i pro popis neperiodických dějů.

A ještě jedna poznámka: „Čas“, jak ho používá fyzika, si sice zřejmě „ ...vymysleli lidi, aby věděli...“, je to ovšem „výmysl“ veskrze užitečný, kterého kromě toho, abychom věděli „odkdy dokdy, a co za to“, využíváme též pro popis průběhu procesů, tedy jejich rychlostí, trvání apod. „Existuje“ však vlastně až tehdy, když jsme jej změřili (R. Feynman)!

***A ještě poznámka:***

**„Sinoatriální uzel** zajišťuje tvorbu srdečních vzruchů.

**Buňky „mají schopnost“ (???)** [**spontánní depolarizace**](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Spont%C3%A1nn%C3%AD_depolarizace&action=edit&redlink=1)**, tedy v důsledku toku** [**iontů**](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ion) **přes** [**plazmatickou membránu**](https://cs.wikipedia.org/wiki/Plazmatick%C3%A1_membr%C3%A1na) **měnit pozvolna samovolně napětí na této membráně a po dosažení určitého prahového napětí se rozbíhá série rychlých dějů, jejímž základem je otevření membránových** [**kanálů**](https://cs.wikipedia.org/wiki/Iontov%C3%BD_kan%C3%A1l) **pro** [**sodík**](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sod%C3%ADk)**.** Dochází tím k rychlé změně membránového napětí v buňce a vzniku [akčního potenciálu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ak%C4%8Dn%C3%AD_potenci%C3%A1l)...“

(Převzato z Wikipedie)

Tuto poznámku jsem připojil po návštěvě kardiologické poradny v minulých dnech. Tam mi napadlo, že generátor srdečního rytmu poněkud „nabourává“ mé mínění, vyslovené v předchozím odstavci, totiž, že ve Vesmíru zřejmě neexistuje žádný generátor synchronizačních impulzů pro řízení procesů.

Ovšem – vysvětluje se zde „jak“ to funguje, ale ne jak „se“ to „nastartovalo“, čili „proč“...

Možná docela zajímavý námět pro bádání? :-)

Ateisté mi doufám prominou, ale připomíná mi to skoro „vdechnutí jiskry života“ Stvořitelem!

14.06.2017