

Autor: [Vladimír Wagner](#)

Datum: 11.02.2016

<http://www.osel.cz/8686-byly-uz-konecne-primo-pozorovany-gravitacni-vlny.html>

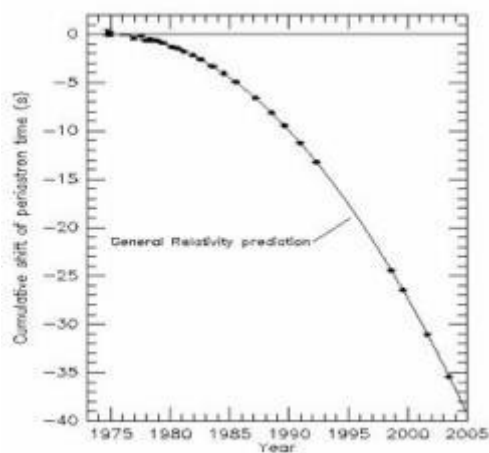
...

...

(červené písmo, můj komentář)

Nepřímé potvrzení gravitačních vln

... Gravitační vlny by totiž měly intenzivně vyzařovat systémy složené s kompaktních konečných stádiích hvězd, které jsou velmi blízko sebe a jsou tak ve velmi intenzivním gravitačním poli. **Gravitační pole je přímo určitý stacionární zakřivený časoprostor, je stavem nelineárním. Postupující pulsy změn křivosti čp, to jsou gravitační vlny** Takovou soustavou jsou binární pulsary složené ze dvou neutronových hvězd obíhajících velmi blízko společného těžiště. Pulzar se svou rychlou a velice přesně definovanou rotací lze využít i jako velmi přesné hodiny. Vyzařování gravitačních vln způsobuje ztrátu energie **Každé křivení časoprostoru je „stavbou-realizací“ hmoty, respektive pole, a tedy je formou energie...a platí to tedy o vlnění, jakémkoliv** a změnu oběžné doby. Vhodný binární pulzar našel radioteleskop v Arecibu v roce 1974 a dostal označení PSR 1913+16.

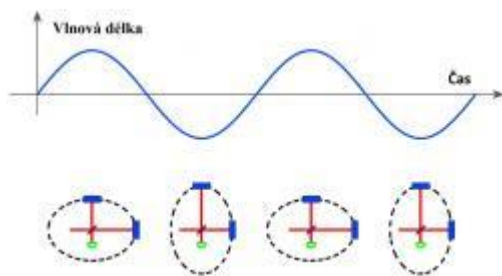


Výsledek přesných měření zkracování oběžné periody pulzaru PSR 1913+16 vypadá to že to >zkracování< periody pulsů se koná po parabole

V daném případě jde o neutronové hvězdy s hmotnostmi 1,44 a 1,39 hmotnostmi Slunce. Jejich vzájemná vzdálenost je pouhých 700 000 km, což odpovídá zhruba poloměru Slunce. Perioda pulzací pozorovaného pulzaru je 0,059 s a oběžná perioda

pak 7,75 hodiny. U binárního pulzaru byla pozorována řada efektů obecné teorie relativity a její předpovědi byly velice přesně potvrzeny. Samotné vyzařování gravitačních vln vede k tomu, že se oběžná perioda zkracuje zhruba o 76 mikrosekund za rok, což plně odpovídá předpovědi Einsteinovy teorie. **O.K. .. křivost čp kolem pulsaru se mění odnosem energie...**

Za objev binárního pulzaru a umožnění nepřímého potvrzení existence gravitačních vln pomocí velice přesná měření zkracování jeho oběžné periody byli Russel A. Hulse a Joseph H. Taylor oceněni Nobelovou cenou roce 1993. Od té doby bylo nalezeno několik binárních pulzarů, kdy je druhým členem systému bílý trpaslík nebo neutronová hvězda.



Gravitační vlny roztáhnou prostor v jednom směru a stlačí ve směru kolmém. Anebo obráceně : tam kde bude pozorovatel pozorovat „stlačení či roztažení“ prostoru, tam „se stvoří-zjeví, vygenerují“ gravitační vlny. Anebo rovnou : samotné pulzování prostoru je-jsou gravitační vlny..., pulzování prostoru je jevem který se jeví jako gravitační vlny Změní se tak vzdálenosti prvku rozdělujícího světlo a zrcadel na konci vzájemně kolmých kanálů (zdroj modifikovaný z článku spolupráce LIGO).

Je dokonce znám i jeden dvojitý pulzar, kdy obě neutronové hvězdy v binárním systému pozorujeme jako pulzar. Jedná se o systém PSR J0737-3039. Byl objeven v roce 2003 australskou Observatoří Parkes. V tomto případě mají hvězdy hmotnosti 1,337 a 1,250 hmotností Slunce a oběžnou periodu 2,4 hodiny. Rotační periody pulzarů jsou 0,023 s a 2,8 s. Tento systém je perfektní možností nepřímo zkoumat existenci a vlastnosti gravitačních vln. Na jejich přímé pozorování se však muselo čekat dále.

Gravitační observatoř LIGO.

K typickým představitelům interferenčních detektorů gravitačních vln patří i zařízení LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). Experiment byl založen v roce 1993. Opět sestává ze dvou zařízení, kterými jsou gigantické interferometry. Jsou umístěny 3000 km od sebe. První je v Hanfordu (Washington) a druhý v Livingstonu (Louisiana). Gravitační vlny stlačí prostor v jednom a roztáhnou v kolmém směru. Proto se využívá laserový svazek, který umí poskytnout intenzivní světelný paprsek s přesně definovanou vlnovou délkou a stejnou fází. Ten rozdělí polopropustné zrcadlo na dvě části. První jeho část pošle do kolmého směru a druhá letí v původním směru.

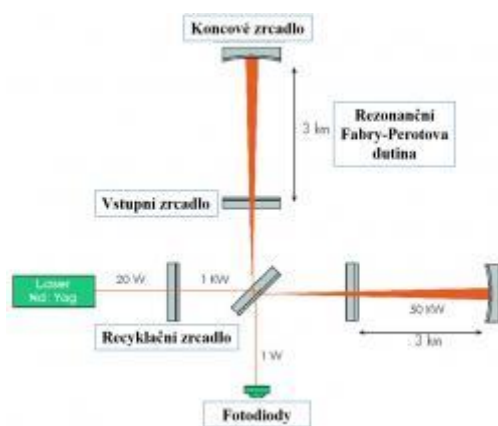


Schéma interferometrického zařízení pro detekci gravitačních vln. Velmi, velmi podobný tomu Michelson-Morleyho interferometru, ...v principu totožný. V daném případě jde v případě vzdáleností a výkonů o zařízení VIRGO. (Zdroj VIRGO).

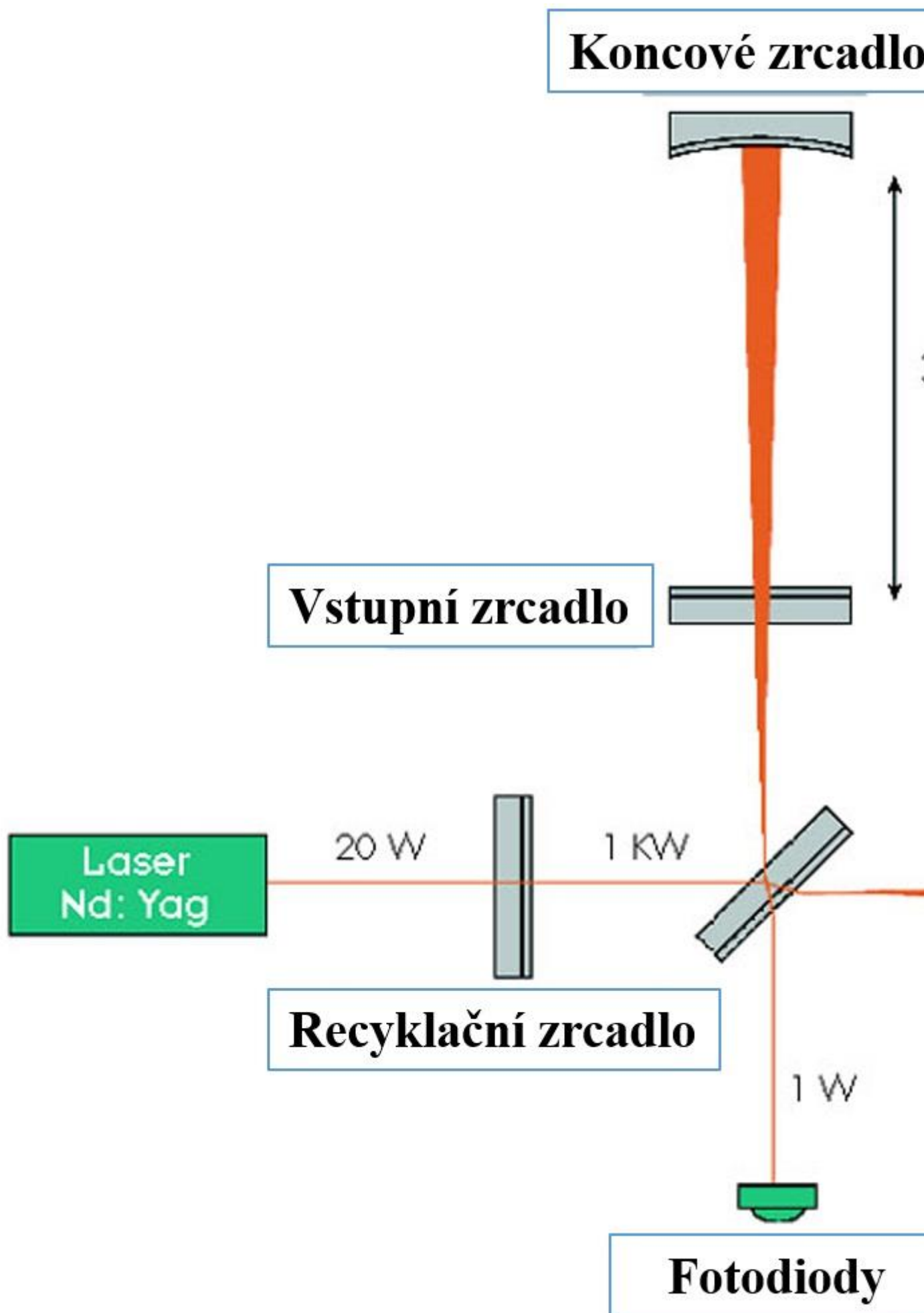
Kanály s velmi vysokým vakuem, které mají délku 4 km, jsou na sebe kolmé (jak se dosahuje kolmost, absolutní, to mi jasné není) a na konci mají zrcadlo. To odrazí světlo, které se v polopropustném zrcadle zase spojí a dochází k interferenci. Jestliže urazí světlo přesně stejnou vzdálenost, dochází u nich k interferenci, jejich signál se vzájemně ruší a na fotodiodu pak světlo nedopadne. Při změně vzdálenosti dochází k posuvu a podle toho se interference narušuje a mění se signál z fotodiody.

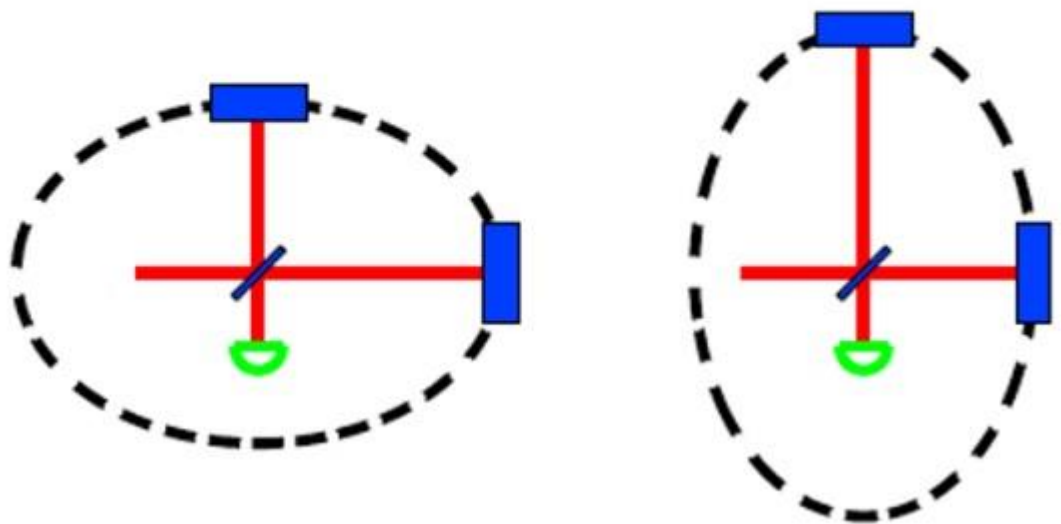
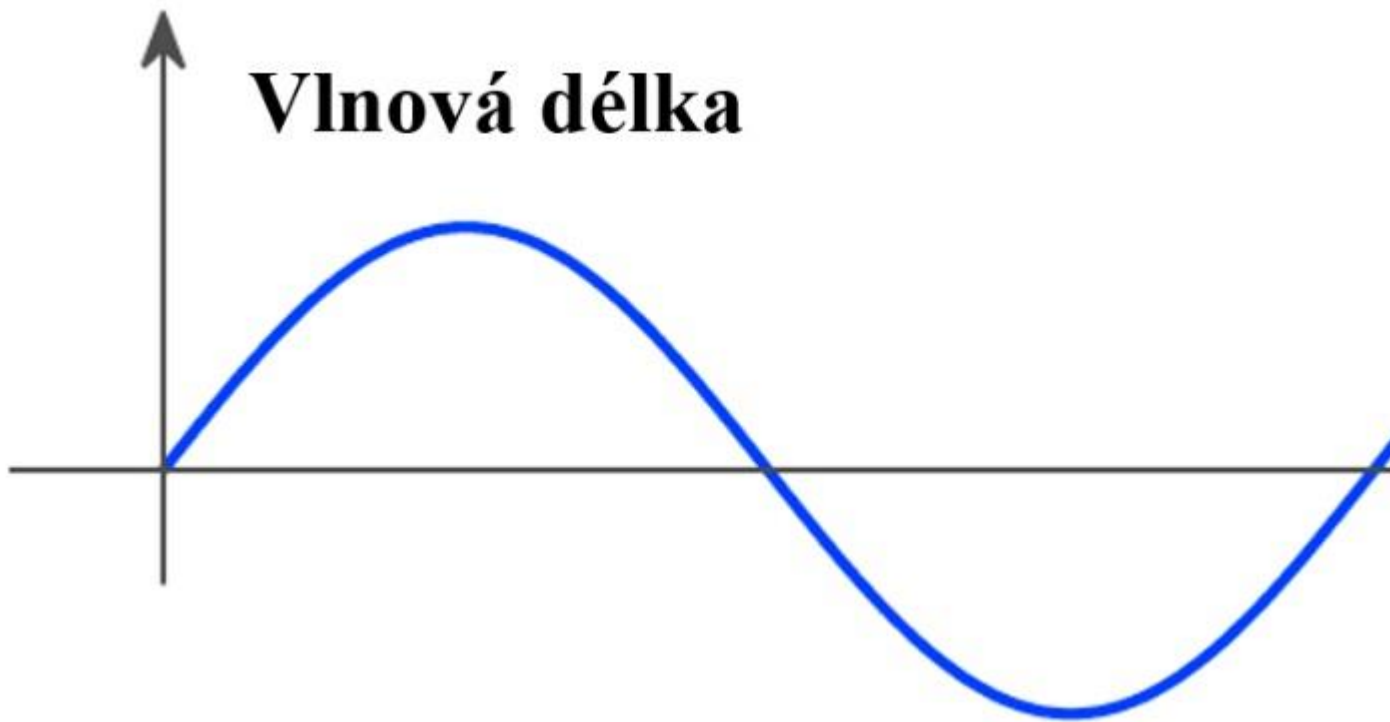
Je třeba zdůraznit, že efekty gravitačních vln jsou extrémně malé. Protože se jedná o „vlastní globální křivost“ časoprostoru v makroměřítku kosmu, vlna je skoro plochá, amplituda je velmi malá I v případě takového extrémního jevu, jako je blízké splynutí dvou černých děr a silný signál, je posun o $10^{-21}m$. To znamená pro vzdálenost 4 km o $10^{-17} m$, což je zhruba o 0,1 % atomového jádra. I tak extrémně malou změnu dokáže přístroj zaznamenat.

Autor: [Vladimír Wagner](#)

Datum: 11.02.2016

JN, 12.02.2016





Gravitační vlny roztáhnou prostor v jednom směru a stlačí ve směru kolmém. **Anebo obráceně : tam kde bude pozorovatel pozorovat „stlačení či roztažení“ prostoru, tam „se stvoří-zjeví, vygenerují“ gravitační vlny. Anebo rovnou : samotné pulzování prostoru je jsou gravitační vlny..., pulzování prostoru je jevem který se jeví jako gravitační vlny** Změní se tak vzdálenosti prvku rozdělujícího světlo a zrcadel na konci vzájemně kolmých kanálů (zdroj modifikovaný z článku spolupráce LIGO).

Výpisky a citace z Ullmanna :

<http://astronuklfyzika.cz/Gravitace2-7.htm>

Gravitační pole je buzeno hmotou lokalizovanou či rozloženou v prostoru, podle OTR **distribuce hmoty zakřivuje prostoročas**. Nejen to, ale zakřivený čp „kolem velkých, hmotných těles“ přechází „do tělesa“ a tam křivost malá přechází v křivost velkou a ta už souvisí se stavbou vlastních vlnobalíčků = elementů hmotových...které tvoří posloupnost konglomerátů atd. atd... Pokud se rozložení hmoty **s časem mění** (mění se tvar nebo poloha hmotných objektů), reaguje na to i buzené gravitační pole **ani není nutno komentovat** : budeme pozorovat **časově proměnné** gravitační pole, **podle OTR mění se křivost prostoročasu**. Jestliže se zdrojové těleso **periodicky pohybuje** či distribuce hmoty se **periodicky mění**, projeví se to v okolním časoprostoru kmitavým stavem gravitačního působení - **kmitavými deformacemi zakřivení prostoročasu**. Každé křivení časoprostoru je (i změny křivosti) je realizací tvorby-stavby hmoty a polí. Je to zákon, existenční zákon tohoto vesmíru, že hmoty se tvoří-realizuje z časoprostoru jeho křivením, křivením 3+3 dimenzí **Jak se bude takové časově proměnné či kmitající gravitační působení a zakřivení prostoročasu chovat?** V.Ullmann už 20 let ví, věda kosmologická spěje k tomu že křivost čp a křivení čp se ukáže jako prokazatelný pro-jev vzniku a stavby hmoty, elementárních částic i polí. Jen se zřejmě bojí to říci nahlas, byl by ukamenován, nebo nejméně vyobcován z obce fyziků

..gravitační vlny se v některých aspektech **podobají vlnám elektromagnetickým**: oba typy vln mají příčný charakter a šíří se maximální možnou rychlostí interakcí - rychlostí světla. Jsou zde však určité **strukturní odlišnosti především gravitační vlna je nelineární, a elektromagnetická je lineární** gravitačních a elektromagnetických vln:

◀ **V univerzálnosti působení** - elektromagnetická vlna rozkmitává jen elektricky nabitě částice **protože ona „patří“ do mikrosvěta, čili do stavů malých měřítek i délkových i časových...** ; kdežto gravitační vlna „plave“ v globálním velkém měřítku časoprostorového stavu **k ř i v é h o** (jako jsou elektrony), zatímco gravitační vlna, představující změny geometrie prostoročasu, může **rozkmitávat každou hmotu**.

Světlo se šíří rychlostí gravitačních vln! **Gravitace totiž určuje strukturu (křivosti dimenzí) prostoročasu**, a ta určuje, jak se mohou objekty pohybovat - včetně světla... „struktura“ prostoročasu není nic jiného než různé stavy křivosti dimenzí 3 + 3 D čp.

Přímé experimentální potvrzení rychlosti šíření gravitační interakce zatím **chybí ***), nedokážeme vyrábět detekovatelné **rozruhy v gravitačním poli**, **gravitační pole je zřejmě něco jiného než gravitační vlny, že...** nepodařilo se dosud ani zachytit gravitační vlny od vesmírných objektů

Gravitační vlny jsou tedy **příčné** vlny s frekvencí $\omega = k^0 = \sqrt{(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)}$ šířící se **rychlostí světla** ve směru **k**...

Všimněme si vlastností **symetrie** rovinné gravitační vlny **při pootočení kolem osy šíření**. Při přechodu k nové souřadnicové soustavě S', pootočené kolem osy šíření gravitačních vln \underline{Z} o úhel ϑ , tj. při transformaci $t'=t$, $x'=x \cdot \cos\vartheta + y \cdot \sin\vartheta$, $y'=y \cdot \cos\vartheta - x \cdot \sin\vartheta$, $z'=z$, se jednotkové vektory polarizace gravitační vlny transformují podle vztahu $e'_+ = e_+ \cos 2\vartheta + e_x \sin 2\vartheta$, $e'_x = -e_+ \sin 2\vartheta + e_x \cos 2\vartheta$. Definice **klasického spinu** je následující: Rovinná vlna ψ má spin \underline{s} , jestliže se při pootočení o úhel ϑ kolem směru šíření transformuje podle zákona $\psi' = e^{is\vartheta} \cdot \psi$ - jinými slovy zůstává invariantní při pootočení o úhel $2\pi/s$ kolem osy šíření. Tato symetrie úzce souvisí se **spinem kvant**, z nichž z hlediska kvantové teorie pole **příslušná vlna sestává**. Zopakuji : vlna sestává z kvant. - - To ovšem se jeví pozorovateli v souřadnicové soustavě a...a ta kvanta budou „zhuštěniny“ a „řředěny bodů (nebo malých intervalů) na té vlně. Pro gravitační vlny tedy vychází tento úhel invariance roven 180° , takže gravitační vlny mají **spin $s = 2$** *). Tento spin $s=2$ by tedy měly mít **kvanta gravitačního vlnění**, zatím hypotetické **gravitony**. ? **nedokáží komentovat...**

"Gravitačně nabitě" gravitační vlny

V rámci **linearizované teorie gravitace** a tady to je : **OTR není lineární, a musí se linearizovat** jsou gravitační vlny veskrze analogické vlnám elektromagnetickým v klasické elektrodynamice. Ve skutečnosti se zde však musí projevat **ten důležitý rozdíl mezi elektrinou a gravitací**, který byl zmíněn již na začátku §2.5 "**Einsteinovy rovnice gravitačního pole**". **Rozdíl v tom že gravitace je nelineární a elm. Je lineární . A o tom jsem polemizovat s V.Ullmannem (osobně i písemnou korespondencí) už před třiceti lety a později také →**

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i_019.doc

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_039.doc Prochází-li

elektromagnetická vlna oblastí prostoru v níž působí elektrické pole, nedojde k žádnému ovlivnění vlny tímto polem; podobně když se dvě elektromagnetické vlny setkají, projdou "jedna přes druhou" bez vzájemného ovlivnění a budou pokračovat ve svém pohybu tak, jako kdyby druhé vlny nebylo. Jinými slovy,

elektromagnetické vlny jsou **elektricky neutrální** (nanabitě). Gravitační vlny však

nejsou gravitačně neutrální: přenášejí energii (~hmotnost) a proto jsou jednak ovlivňovány gravitačním polem přes které procházejí, jednak (spolu)působí jako **zdroj gravitace**. Je to důsledkem *uviverzálnosti gravitace*. Lze říci, že

gravitační vlny jsou "gravitačně nabitě", samy vykazují gravitaci! Níže to

bude kvantifikováno tzv. *Isaacsonovým tenzorem energie-hybnosti*

gravitačních vln. Hypotetickým extrémním důsledkem této skutečnosti je model *gravitačního geonu* (§B.3 "[Wheelerova geometrodynamika. Gravitace a topologie.](#)"), nebo dokonce "*gravitačně-vlnová*" černá díra vzniklá kolapsem mohutných gravitačních vln (zminěná v §4.5 "[Černá díra nemá vlasy](#)", pasáž "[Uniformita černých děr](#)").

Lokálně (v ne příliš velkých oblastech) můžeme gravitační vlny považovat za **rozruch** vyvolaný nějakým nerovnoměrným pohybem hmoty (např. obíháním dvojhvězd, výbuchem supernovy, nesférickým gravitačním kolapsem a pod. - viz níže část "[Zdroje gravitačních vln](#)"), šířící se v rovinném prostoročase a není třeba brát zřetel na interakci s celkovým zakřivením prostoročasu a na nelineární interakce vln mezi sebou. Globálně však zakřivení prostoročasu způsobené rozložením ostatní hmoty (např. hvězd a galaxií) bude ovlivňovat šíření gravitačních vln - bude způsobovat frekvenční posuv a měnit směr šíření. K tomuto globálnímu zakřivení přitom bude přispívat i energie nesená samotnými vlnami (viz níže). Při šíření gravitačních vln budou tedy vznikat charakteristické **nelineární efekty** [58], např. dvě gravitační vlny se budou vzájemně rozptylovat.

Vyšetřujme tedy gravitační vlny v **obecném** zakřiveném prostoročase. A tu je to zajímavé, že různé stavy křivosti $\check{c}p$ v z á j e m n ě plavou (jsou vzájemně do sebe vnořeny) jedna v druhé. A zajímavé bude, že od velkého Třesku budou určité stavy křivosti „zmrazeny“ = stanou se neproměnným „klonem“ v toku času...; přitom se $\check{c}p$ rozpíná i co do dimenzí délkových i do dimenze časové a tím !!! „nabíhají“ ony *r o v i n y* stavů křivosti, které „v sobě plavou“ (proto se mohlo reliktní záření jakožto „zmrazený“ stav jisté křivosti přenést až do dnešní globální křivosti velkovesmíru) ...; proto také po Třesku vzniklé vlnobalíčky elementárních částic zůstaly v nezměněném stavu své „nastavené“ křivosti 3+3 dimenzí ... a proto v genezi vývoje hmoty až vývoji živých bytostí, se už vývoj nevrací zpět, aby „opravil“ v posloupnosti stavů nějaký evoluční stav...(změny se dějí, ale „oprava“ klonu nikdy → elektron bude elektronem navěky v tom tvaru-stavu v jakém vyl ten vlnobalíček (podle jistých pravidel) proveden. Abychom mohli vůbec mluvit o gravitačních vlnách, musíme být schopni odlišit vlnící se část křivosti **dimenzí**, vyvolanou gravitačními vlnami, od globální křivosti "pozadí" 3+3 D $\check{c}p$ způsobené jinými vlivy (rozložením hmotných těles). Tou „jakousi“ nejspodnější „vrstvou“ 3+3D časoprostoru je p l o c h ý s t a v e u k l i d o v s k ý c o b y r a s t r (c o b y u ž jen matematický abstraktní stav $\check{c}p$) ... , fyzikální stav už nemůže být v tomto vesmíru euklidovský, jen matematický stav....čili „nehlubší“ pozadí je totální plochý 3+3D časoprostor s ten existoval pouze před Třeskem : proto před VT

nebyla hmota, nebyly pole, nebžel řas, a nerozpínal se prostor → před Třeskem. Po třesku už panuje střídání symetrií s asymetriemi a nastupuje posloupnost změn stavů křivosti (dimenzí) .. atd. jak to píší už 20 let. Toto oddělení globálního zakřivení prostoročasu od lokálních fluktuací vln je možné v případech, kdy střední délka vlny λ je mnohem menší než charakteristický poloměr křivosti R prostoročasu, na jehož pozadí se vlny šíří :

$$\lambda \ll R . \quad (2.69)$$

Jasně Ullmann slovy vědeckými popisuje stejný stav vesmíru jako já slovy laika. Podobně můžeme globální tvar Země odlišit od místních nerovností terénu nebo tvar pomeranče odlišit od drobných místních nerovností jeho povrchu. Místní křivost ve vlně může být přitom podstatně větší než globální křivost prostoročasu (odlišení pozadí od vln je umožněno nikoliv rozdílem hodnoty zakřivení, ale rozdílností měřítek v nichž se zakřivení mění) *). Proto můžeme i ve velkoměřítkovém vesmíru-časoprostoru kde není hmota, jen velmi slabá gravitace, říkat, že jsme „ve vakuu“ v němž se to hemží virtuálními částicemi, hemží se to tam energií, je tam „vřící časoprostor“ atd. → jsou to jen nepodařené poznatky o tom že různé stavy křivosti čp plavou v jiných stavech křivosti čp.

*) Jak ale uvidíme níže, samotné gravitační vlny vyvolávají podle Einsteinových rovnic globální křivost prostoročasu úměrnou A/λ . Proto ke splnění základní podmínky krátkovlnné aproximace (2.69) je třeba, aby amplituda A gravitačních vln byla rovněž malá.

Prostoročas vyhovující podmínce (2.69) lze potom analyzovat jednak z hlediska malých měřítek ("lokální přístup"), jednak z hlediska globálních vlastností prostoročasu. Škoda že Ullmann se bojí rozpracovat mou HDV, on je k tomu tak blizoučko... Toto přiblížení se nazývá **krátkovlnná aproximace** a příslušná

metoda analýzy gravitačních vln **Isaacsonův formalismus** [140]. Metrický tenzor (potenciály pole) může být pak rozepsán ve tvaru

$$g_{ik} = g_{ik}^{glob} + h_{ik} , \quad (2.70)$$

kde g_{ik}^{glob} je globální metrika prostoročasu, na jehož pozadí se vlny h_{ik} šíří. Podobně tenzor křivosti R_{ik} lze rozložit v řadu podle malého bezrozměrného parametru $\lambda/R \ll 1$:

$$R_{ik} = R_{ik}^{glob} + R_{ik}^{(1)} + R_{ik}^{(2)} + F [\lambda/R]^3 , \quad (2.71)$$

kde R^{glob} je globální křivost pozadí (monotónní v rozsahu většího počtu vlnových délek),

$$R_{ik}^{(1)} = 1/2 (-h_{;ik} - h_{ik;l}^l + h_{ik;i}^l + h_{li;k}^l) \quad (2.72)$$

je vlnící se část křivosti lineární v λ/R a

$$R_{ik}^{(2)} = (1/2) [1/2 h_{lm;i} h^{lm};k + h^{lm}(h_{lm;ik} + h_{ik;lm} - h_{li;km} - h_{lk;im}) + h_k^{l;m}(h_{li;m} - h_{mi;l}) - (h^{lm};m) \quad (2.73)$$

-již se nevešlo na řádek- přijde doplnit

je část tenzoru křivosti kvadratická v λ/R . Spouštění a zvedání indexů, jakož i kovariantní derivování ";" se zde všude provádí podle metriky g_{ik}^{glob} .

Obecné rovnice pole ve vakuu $R_{ik} = 0$ mohou být potom rozděleny na části a analyzovány ze dvou hledisek:

a) Lokální přístup

V malých měřítcích (v oblastech srovnatelných s vlnovou délkou λ), kde se globální zakřivení prostoročasu přímo neuplatňuje, musí být lineární část $R^{(1)}_{ik}$ vyvolaná vlnami rovna nule

$$R^{(1)}_{ik} = 0 \quad (2.74)$$

S pomocí veličin $\psi_{ik} \stackrel{def}{=} h_{ik} - (1/2) h g_{ik}^{glob}$, volbou vhodné kalibrace v níž je $\psi^{k;i;k}=0$ a vypuštěním členů vyšších řádů může být tato rovnice přepsána ve tvaru

$$\psi_{ik;l}^l + 2.R^{glob}_{likm} \psi^{lm} = 0 \quad (2.74')$$

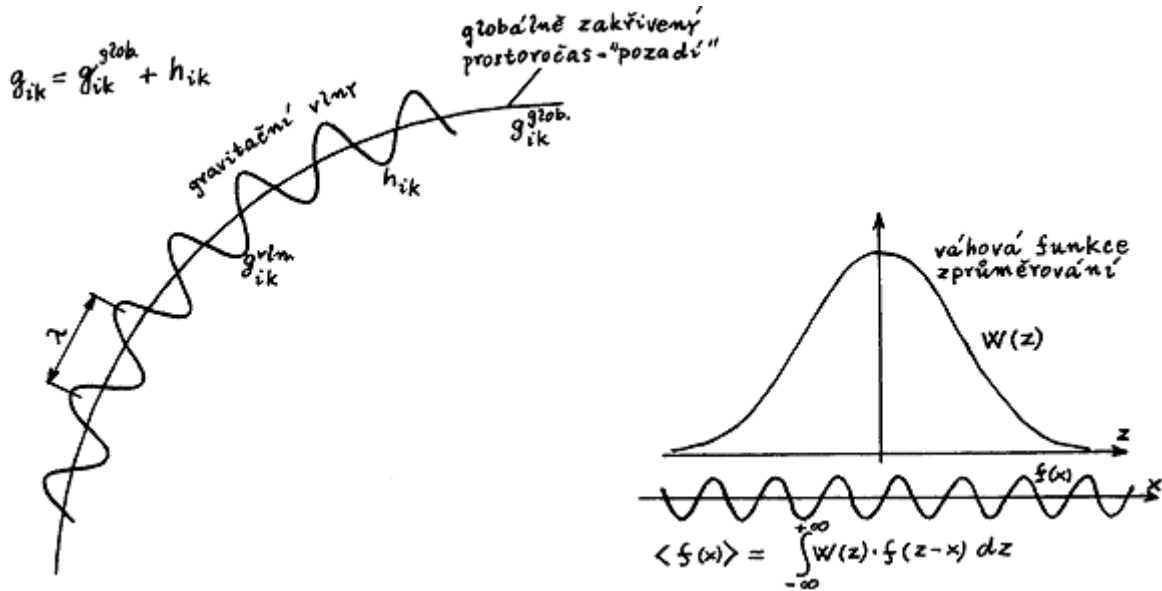
Rovnice (2.74) je tedy rovnicí šíření gravitačních vln - zobecnění vlnové rovnice (2.54) na zakřivený prostoročas.

Z rovnice (2.74) plynou základní zákony šíření gravitačních vln v zakřiveném prostoročase, analogické "geometrické optice" vln elektromagnetických [271],[181]:

1. Gravitační vlny se šíří podél nulových geodetik ($k_i k^i = 0$, $k_{i;j} k^j = 0$ - gravitační "paprsky", což jsou křivky kolmé k plochám konstantní fáze, jsou dány rovnicí izotropních geodetik).
2. Vektor polarizace je kolmý k paprskům a přenáší se podél nich paralelním přenosem.
3. Amplituda vlny A s vlnovým vektorem k tvoří adiabatický invariant $(A^2 k^\alpha)_{;\alpha} = 0$ vyjadřující zákon zachování "počtu paprsků" (kvantově tedy zákon zachování počtu gravitonů) při šíření gravitačního záření v

prostorůce, jehož globální křivost se mění pomalu ve srovnání s frekvencí vln.

Optické efekty jako je rudý posuv nebo zakřívování paprsků v gravitačním poli tedy platí i pro gravitační vlny.



Obr.2.9. V Isaacsonově krátkovlnné aproximaci lze odlišit globální zakřivení prostoročasu ("pozadí") od lokálních fluktuací gravitačních vln, pokud je vlnová délka mnohem menší než charakteristický poloměr křivosti prostoročasu. Tato separace se provádí pomocí zprůměrování přes oblast o několika vlnových délkách za použití vhodné normované váhové funkce $W(z)$ konvergující k nule s rostoucí vzdáleností.

b) Globální přístup

Při globálním přístupu provedeme **zprůměrování** " $\langle \rangle$ " všech veličin přes oblast o rozměrech několika vlnových délek, abychom oddělili globální křivost prostoročasu od lokálních fluktuací ve vlnách. Veškerá struktura fluktuující křivosti způsobená gravitačními vlnami se při tomto středování zahradí - $\langle R^{(1)}_{ik} \rangle = 0$ - zatímco globální křivost prostoročasu se prakticky nezmění: $\langle R_{ik}^{glob} \rangle \cong R_{ik}^{glob}$. Ke středování lze použít vhodně normované váhové funkce konvergující k nule s rostoucí vzdáleností (**s rostoucím počtem vlnových délek**) a paralelního přenosu do vyšetřovaného místa podél vhodné geodetiky v metrice g_{ik}^{glob} [140] - viz obr.2.9. Rovnice pole potom budou znít $R_{ik}^{glob} + \langle R_{ik}^{(2)} \rangle = 0$, což lze upravit na tvar Einsteinových rovnic

$$G_{ik}^{glob} \equiv R_{ik}^{glob} - 1/2 R^{glob} g_{ik}^{glob} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}^{vln} , \quad (2.75)$$

kde zdroj na pravé straně

$$T_{ik}^{vln} = - (c^4/8\pi G) [\langle R_{ik}^{(2)} \rangle - 1/2 g_{ik}^{glob} \cdot \langle R^{(2)} \rangle] \quad (2.76)$$

je tzv. **Isaacsonův tenzor "efektivní rozprostřené" energie-hybnosti gravitačních vln ***.

*) To, jak se i v "prázdném" prostoru bez hmotných zdrojů objeví na pravé straně (2.75) zdroj globálního gravitačního pole, je poněkud analogické tomu, jak se i ve vakuu bez proudů pro nestacionární elektromagnetické pole objevuje **Maxwellův posuvný proud** (srov. s §1.5, rovnice (1.34)) budící magnetické pole stejně jako proud skutečných elektrických nábojů.

Rovnice (2.75) popisují, jak gravitační vlny při svém šíření zakřivují globálně prostoročas. T_{ik}^{vln} můžeme tedy interpretovat jako **tenzor energie-hybnosti gravitačních vln** v globálním obklopujícím prostoročase (je tenzorem pouze v globální geometrii g_{ik}^{glob} , nikoliv v úplné metrice $g_{ik} = g_{ik}^{glob} + h_{ik}$!), pro nějž z rovnic (2.75) plynou běžné zákony zachování $T_{vln}{}^{ik}{}_{;k} = 0$. Isaacsonův tenzor hraje důležitou úlohu ve správném chápání specifické povahy **gravitační energie**, k čemuž se vrátíme v následujícím §2.8 "[Specifické vlastnosti gravitační energie](#)".

Zbylé členy vyšších řádů v rovnici $R_{ik} = 0$ popisují shora zmíněné nelineární "opravy" a efekty, např. zkreslení tvaru vln a interakce vln samých se sebou (rozptyl vlny na vlně a pod.).

Principiální otázky **přenosu energie** gravitačními vlnami budou podrobněji diskutovány rovněž v následujícím odstavci, v kontextu s obecnými aspekty gravitační energie. Zde se stručně zmíníme o způsobu **vzniku** (generování) gravitačních vln a o možnostech jejich **detekce**. Za jakých okolností tedy vznikají gravitační vlny? Podle analogie s elektrodynamikou lze očekávat, že gravitační vlny se budou vyzařovat při zrychlených (nerovnoměrných) pohybech těles, kdy dochází k časovým změnám buzeného gravitačního pole.

Nejobvyklejším druhem radiace v elektrodynamice je záření **elektrického dipólu**, jehož intenzita je dána druhou derivací dipólového momentu $\mathbf{d} = \sum_{n=1}^N q_n \cdot \mathbf{r}_n$ soustavy N elektrických nábojů q_n , nacházejících se v polohách \mathbf{r}_n , podle času (§1.5, vztah (1.61)). V gravitaci úlohu elektrického dipólového momentu hraje dipólový moment $\mathbf{d} = \sum m_n \cdot \mathbf{r}_n$ rozložení hmoty v soustavě N částic m_n . První časová derivace tohoto dipólového momentu $\mathbf{d} \cdot = \sum m_n \cdot \mathbf{r}_n \cdot \equiv \mathbf{p}$ je rovna celkové hybnosti \mathbf{p}

soustavy, takže jeho druhá derivace bude rovna nule díky zákonu zachování hybnosti. Ukazuje se tedy, že dipólové gravitační záření nemůže existovat, gravitační záření musí mít **nejméně kvadrupólový charakter** **).

**) Souvisí to s teorémem klasické nauky o záření [166], podle něhož nejnížší

"multipolarita" záření jež se může vyzařovat, je větší nebo rovna klasickému **spinu** daného pole. Tento spin je dán mírou **symetrie** v rovinné vlně: spin $s = 360^\circ / (\text{úhel pootočení kolem osy šíření zachovávající symetrii})$, takže pro elektromagnetické pole se spinem $s=1$ je záření nejméně dipólové, pro gravitační pole se spinem $s=2$ je nejméně kvadrupólové.

Za zdroj gravitačních vln můžeme tedy považovat obecně každou fyzikální soustavu s **časově proměnnou distribucí hmoty** $\rho(t, x^\alpha)$. Časové změny distribuce hmoty vyvolávají příslušné časové změny geometrie okolního prostoročasu - "rozvlňují" křivost prostoročasu. Tyto vlny křivosti prostoročasu - tj. gravitační vlny - se **odpoutávají** od zdrojové soustavy a šíří se do okolního prostoru, přičemž odnášejí část kinetické energie pohybující se hmoty ve zdrojovém systému.

Primordiální gravitační vlny

Nejmohutnějším zdrojem gravitačních vln "všech dob" byl nepochybně bouřlivý **vznik vesmíru** - "velký třesk". **Stav časoprostoru po VT nebyl lineární, přestože byl v měřítku velikostí plynkových škál (i časové intervaly i délkové intervaly)** Opakuji : Po velkém třesku sama fyzika říká že doslo k nesymetrii, že částice převládly nad antičásticemi...bla-bla. Ano už první kroky v posloupnosti vývoje křivosti 3+3 dimenzí vedly k asymetrickému vesmíru, k asymetriím v každém kroku následném a...a to vedlo k tomu že „první stavy asymetrické“ zamrzly a vyvíjely se nové stavy....a nastalo to, že po 13,8 miliardách let se stal „mikrosvět“ lineární proto, že jeho nelinearita je neměřitelná...kdežto křivost globálního vesmíru (gravitační celovesmírná křivost) je markantně nelineární. Stále to abstraktně připomíná ono pootáčení soustav kdy „pěna čp“ se zdá být lineární, a „vakuum s gr. polem“ je nelineární – jsou to stavy pootočených soustav o téměř 90^0 Kromě gravitačních vln výše zmíněného astrofyzikálního původu může být tedy vesmír zaplněn též "**kosmologickými**" či "**primordiálními**" gravitačními vlnami generovanými nehomogenitami a turbulencemi superhusté látky v období kolem velkého třesku [288]. **Čili vzruchy a nehomogenity z vlivu „střídání symetrií s asymetriemi“ a proměnami linearity v nelinearitu a naopak...** Tyto gravitační vlny emitované v Planckově čase, v inflační fázi (§5.5 "[Mikrofyzika a kosmologie. Inflační vesmír.](#)") či při vzniku nehomogenit, turbulencí a topologických defektů během narušení symetrií, **Po VT by se nic nepohnulo kdyby se nezahájila posloupnost změn stavů křivosti dimenzí čp – to je realistický princip tohoto Vesmíru** by pravděpodobně měly **stochastický charakter** jakéhosi "gravitačního šumu".

Podle principu ekvivalence (a v kontextu s tím, co bylo řečeno v §2.6) lokální působení gravitačních vln na jedinou izolovanou částici neexistuje. Proto opět

vezmeme **dvě** blízké testovací částice A a B (obr.2.11a) a budeme sledovat periodické **změny vzdálenosti** mezi nimi, způsobené kmitající křivostí v gravitační vlně.

Jsem laik, matematiky neznalý, bez konzultací s odborníky, bez pomoci a spolupráce, a tak spoustu vizí tu řečených bude matných nedokonalých nedořešených, je to názor, je to podnět pro jiné myslící hlavy, je to atak starý 35 let. Nikdo ho nečte...škoda.

...

...

JN, 12.02.2016