Princip gravitačních vln a jejich šíření

Gravitační vlny je možné si představit analogicky jako např. elektromagnetické vlny. Ty mohou vznikat např. tak, že dvě částice se stejně velkým, ale opačným nábojem obíhají kolem středu své spojnice. V jejich okolí vzniká elektrické pole i magnetické pole.

Nabitá částice, která se pohybuje, vytváří kolem sebe magnetické pole.

Výsledné elektromagnetické pole lze registrovat v libovolné vzdálenosti od rotujících částic. To znamená, že prostorem se šíří elektromagnetická vlna.

Elektromagnetická interakce má nekonečný dosah, takže teoreticky je elektromagnetické pole vznikající při pohybu dvou částic registrovatelné kdekoliv v prostoru. Prakticky ovšem od určité vzdálenosti od pohybujících se částic naměříme tak malou hodnotu velikosti magnetické indukce, velikosti elektrické intenzity, ..., které budou menší, než je přesnost měřících přístrojů a technické možnosti těchto přístrojů. Od této vzdálenosti bude tedy elektromagnetické pole nedetekovatelné.

Analogickým způsobem se šíří i gravitační vlny. Je nutné je ale popisovat obecnou teorií relativity, neboť Newtonův gravitační zákon předpokládá působení gravitační síly přímo do dálky. To je ovšem ve sporu se závěry speciální teorie relativity, která spolu s principem kauzality zakazuje šíření jakéhokoliv signálu rychlostí o větší velikosti, než je velikost rychlosti světla ve vakuu.

Rozdíl mezi Newtonovým působením do dálky a Einsteinovým působením do blízka lze vysvětlit na následujícím smyšleném příkladu. Kdyby Slunce náhle zmizelo ze své standardní polohy ve Sluneční soustavě, podle Newtonovy teorie bychom se to dozvěděli okamžitě se zmizením Slunce. Okamžitě by na Zemi byla tma, začalo by se ochlazovat a Země by se začala pohybovat rovnoměrným přímočarým pohybem (neexistovala by dostředivá síla realizovaná gravitační silou Slunce, která způsobuje pohyb po kružnici).

V Einsteinově pojetí bychom se o zmizení Slunce dozvěděli až za zhruba 8 minut - to je doba, kterou potřebuje světelný paprsek (i gravitační interakce, která se též přenáší rychlostí světla), aby urazil vzdálenost ze Slunce na Zem.

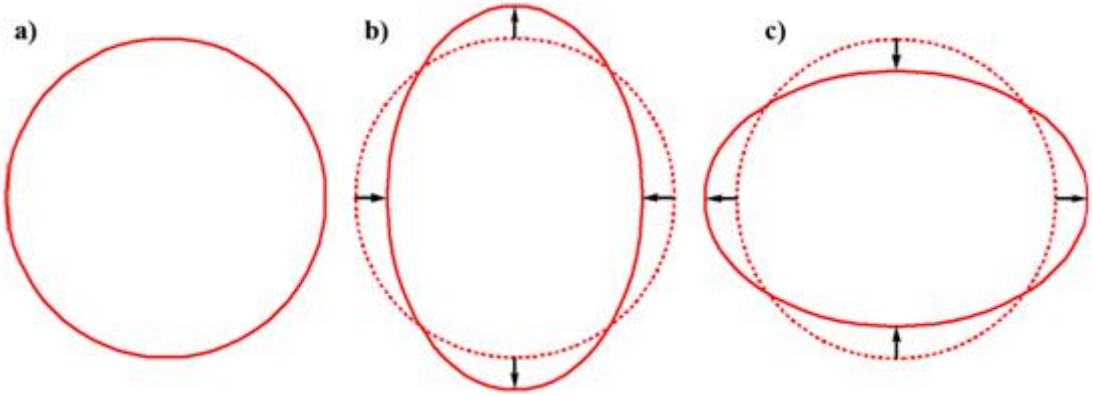
Gravitační vlny vznikají při vzájemném pohybu dvou a více těles a jedná se o příčné vlnění. Většina blízkých vesmírných objektů (Slunce, planety, hvězdy, ...) vytvářejí velmi slabé gravitační pole. Vzdálenější objekty a události (černé díry, pulsary, kvasary, ...; srážky pulsarů, srážky černých děr, nesymetrický kolaps hvězdy, výbuch supernovy, ...) vytvářejí sice silnější gravitační pole, ale tyto objekty a události jsou od nás dále. A amplituda gravitační vlny přitom klesá nepřímo úměrně se vzdáleností. Z těchto důvodů jsou gravitační vlny velmi těžko detekovatelné pomocí detektorů gravitačních vln.

Velké zakřivení prostoročasu kolem masivních vesmírných objektů a vznik gravitačních vln ve vesmíru si lze představit velmi jednoduchým modelem: s pomocí trampolíny. Ta představuje prostoročas. Jestliže na trampolínu umístíme nějaké těleso nebo si na ní stoupne nějaká osoba, trampolína se prohne. Fyzikálně tedy vznikne zakřivený prostoročas. S rostoucí hmotností tělesa na trampolíně (dítě, silný velký muž, ...) roste průhyb trampolíny - tj. roste zakřivení prostoročasu.

Položíme-li na trampolínu těžší kouli a uvedeme jí do pohybu, bude se po trampolíně posouvat i průhyb, který koule způsobí. Použijeme-li více koulí a budeme je např. na trampolíně srážet, bude se trampolína vlnit - tj. po trampolíně (prostoročas) se budou šířit vlny. Analogicky se šíří i gravitační vlny vesmírem.

Gravitační vlny, které se šíří prostoročasem, tento prostor deformují. Zakřivením prostoročasu tak vzniká síla, která působí na volná tělesa. Ta se vlivem této síly deformují tak, že periodicky zvětšují a zmenšují své rozměry po dobu, po kterou daným místem prostoročasu prochází gravitační vlna. Při průchodu gravitační vlny se dané těleso deformuje tak, že se v jednom směru prodlouží a

ve směru kolmém se zkrátí (viz obr. 105, na kterém se gravitační vlna šíří z roviny obrázku). Během průchodu gravitační vlny se periodicky střídají stavy tělesa, která jsou zobrazená na obr. 105b a obr. 105c.



Obr. 105

Gravitační vlny deformují tělesa (viz obr. 105), což znamená, že tyto vlny přenášejí energii. Energii získávají gravitační vlny na úkor vazebné energie soustavy, vlivem jejíhož pohybu vznikají (masivní hvězdy, černé díry, ...). Tyto soustavy jsou většinou tvořeny více tělesy (dvojhvězdy, černá díra a kolem ní rotuje hvězda, ...). Tím, že se zmenšuje jejich energie (kterou odnášejí gravitační vlny), se tělesa dané soustavy přibližují k sobě. Na základě zákona zachování momentu hybnosti (resp. zákona zachování energie) to znamená, že roste velikost rychlosti těles v soustavě. Jednotlivá tělesa soustavy se proto k sobě přibližují, až soustava zanikne. Tím ovšem vzniknou gravitační vlny s relativně velkou amplitudou gravitační vlny.

Ve výše uvedené analogii prostoročasu a trampolíny, je zřejmé, že když se budou dva objekty na trampolíně (např. dva míče s velkou hmotností) vzájemně pohybovat, budou se šířit po trampolíně vlny (trampolína se bude vlnit).

Fakt, že zmenšení energie těles dané soustavy znamená jejich přiblížení k sobě, vyplývá ze vzájemného gravitačního působení těles soustavy. Nebudou-li mít dostatečnou energii, nebudou moci „vzdorovat“ gravitační síle a napadají navzájem na sebe. Družice obíhá kolem Země také proto, že má určitou kinetickou energii (pohybuje se „správnou“ kruhovou rychlostí). Když energii ztratí, začne se přibližovat vlivem gravitační síly k Zemi.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.