

Didžioji šimtmetį brandinta fizikų svajonė išsipildė: tapo aptiktos gravitacinės bangos ir GW150914 signalas

The great century-old physics dream came true: gravitational waves and GW150914 signal are detected

Kazimieras Pyragas

Lietuvos edukologijos universitetas, Gamtos, matematikos ir technologijų fakultetas, Studentų g., 39, LT-08106 Vilnius.
kazimieras.pyrgas@vpu.lt

Pranešime pateigtos šioulaikinės žinios apie prieš šimtmetį nusakytas gravitacines bangas. Jame nagrinėjami šie klasymai: gravitacinių bangų fizikos raidos pradmenys, kas yra gravitacinės bangos, gravitacinės bangos Einšteino teorijoje, gravitacinių bangų šaltiniai, gravitacinių bangų detektoriai, rezonansiniai ir lazeriniai tektoriai, penki gravitacinių bangų paieškos etapai, Hanfordo ir Livingstone GW150914 įvykis, bei kita.

A. Kas yra gravitacinės bangos. Apie bendrąsias bangų terpėse sampratas. Gravitacinės bangos Einšteino gravitacijos teorijoje [1-4].

B. GB generavimas. Silpnosios GB. Pespektyviausi GB šaltiniai. Silpnosios GB ($g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$, čia $g_{\mu\nu}$ silpnosioms GB atitinkanti erdvėlaikio metrika, $\eta_{\mu\nu}$ Minkovskio metrika, mažiejinuo jos nuokrypiai) tekina tokias Einšteino lygtis

$$\square h_{\mu\nu} = \frac{16\pi G}{c^2} T_{\mu\nu} \quad (1)$$

čia \square yra Dalamdero operatorius, $T_{\mu\nu}$ - sistemos energijos ir impulso tenzorius. Žemiausias spinduliuojantis EM bangas multipolis yra sistemos dipolis. Žemiausias spinduliuojantis silpnasias GB bangas multipolis yra mechaninės sistemos kvadrupolis.

• EM, bei GB bangų sistemos visos energijos išspinduliavimo galia yra:

$$\varepsilon = \frac{2}{3cc^3} \dot{d}^2, \quad \frac{d\varepsilon}{dt} = -\frac{G}{45c^5} \ddot{D}_{ik} \ddot{D}^{ik}, \quad (2)$$

čia $d = \Sigma e r_i$ sistemos elektros dipolinis momentas c - šviesos greitis, G - Niutono gravitacinė konstanta, D_{ik} - sistemos kvadrupolinis momentas. Pastebėtina, kad GB energijos išspinduliavimo intensyvumas beveik 10^{40} mažesnis nei atitinkantis EB intensyvumas. Taip:

• *Jupiteris judėdamas aplink Saulę* ($\Omega = 1,68 \cdot 10^{-8} s^{-1}$, $M = 1,9 \cdot 10^{30} g$, $R = 7,78 \cdot 10^{13} cm$) išspinduliuoja gravitacinių bangų dėka viso apie $P \approx 5,3 kW$ energijos srautą (akad. V. Foko įvertinimas)! *Sukantis aplik statmeną ašį plieno stripas* (ilgis l yra 20 m, spindulys $r = 1 m$, tankis $\rho = 7.8 g/cm^3$, masė $M = 4.9 \cdot 10^8 g$), gravitacinėmis bangomis išspinduliuoja energijos srautą $\frac{d\varepsilon}{dt} \approx 2.210^{-22} \frac{erg}{s}$

C. Pespektyviausi gravitacinių bangų šaltiniai. Apart paminėtų GB bangų šaltinių dabar manoma, kad pespektyviausi yra gamtos sukurti šaltiniai, tai:

- Masyvių juodųjų skylių susilieėjimas, susiduriant galaktikoms, galimas juodųjų skylių formavimasis.
- Juodosios skylės besisukančios apie masyvias juodąsias skyles.
- Daugybė galaktikų dvinarių sistemų, kurių daugelis yra sudarytos iš neutroninių žvaigždžių ir juodųjų skylių.

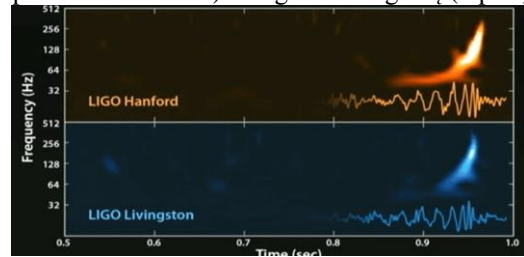
Dvinarių sistemų dinamika yra įdomi tuo, kad dvinarės sistemos, spinduliuojančios energiją gravitacinėmis bangomis, komponentai turi judėti ne stacionariomis (elipsinėmis) orbitomis, bet *spiralinėmis*, artėdamos viena prie kitos. Jų artėjimo greitį galime gauti, energijos spinduliavimą susieję su jų suartėjimu

$$r = r_0(1 - t/\tau_0), \quad (3)$$

čia $\tau_0 = 64G^3 m_1 m_2 (m_1 + m_2) / 5c^3$, yra komponentų susilieėjimo laikas.

D. Gravitacinių bangų detektoriai. GB detektoriai (antenos) buvo pradėtos gaminti JAV. 1967 m. J. Veberis sukūrė pirmąjį GB detektorių. Po to Veberio tipo antenos buvo pagamintos Moskvos Universitete (Prof. V. Braginskis), Kijevo Teorinės fizikos institute Ukrainos MA (Prof. K. Pyragas [3]) ir su lomis atlikti atitinkantys matavimai. Dabar pasaulyje veikia virš dešimties vadinamųjų strypinių, sferinių, lazerinių GB detektorių milijonus kartų jautresnių nei Veberio antena.

E. Signalas GW150914. GB Lazerinės antenos LIGO, dislokuotos JAV Hanforde ir Livingstone (tarp jų atstumas yra apie 3000 km.) 2015 m. rusėjo 14 d. 09 val. 50 min. 45 s. faktškai vienu ir tuo pačiu metu (vėlavimas yra apie 7 milisekundes) užregistravo signalą (1 pav.).



1 pav. Signalas GW150914

Jį, labai kompetentingų mokslininkų grupė, interpretavo kaip dviejų juodųjų skylių kurių masės yra apie $36 M_{\odot}$ ir $29 M_{\odot}$ susilieėjimą, prarandant $3 M_{\odot}$. Naujai susidariusi juodoji skylė turi masę lygią apie $62 M_{\odot}$. Šie signalai mokslinėje literatūroje yra žymimi, kaip GW150914 įvykiai. Jie ženkliai skiriasi nuo fono triukšmų.

Literatūra

- [1] Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A., Gravitation. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1973, 1279p.
- [2] Pyragas K. Svirskas K. Erdvėlaikioir gravitacijos teorija. II Bendroji reliatyvumo teorija. Vilnius 1998, VPU Leidykla, 328 p.
- [3] Pyragas K. Grav. bangos. Vilnius 2000, VPU Leidykla, 58 p.
- [4] Pyragas K. (mokslo vadovas) Разработка теоретических основ и осуществление измерения гравитационных волн (Отчет по научной теме ИТФ АН УССР, Киев 1974, 95 стр.; Исследование временных характеристик высокочастотной составляющей гравитационного поля
- [5] Abbott B. et al. Phys.Rev.Lett. **116**, 061102 (2016).