

# EINSTEIN@HOME

**Наце Стојанов**

nacestoj@yahoo.com

## ВОВЕД

Овој проект официјално започна со работа на 19 февруари 2005 година како дел од придонесот на Американското друштво на физичари кон Светската година на физиката (the World Year of Physics 2005). Einstein@Home е заснован на доброволното споделување (заедничко користење) на компјутерското време на поединечни персонални компјутери за решавање на интензивни комплексни нумерички проблеми преку анализа на голема количина податоци. Ваков приод за анализирање на податоци за првпат беше направен во проектот SETI@Home кој имаше за цел анализирање на податоци од радио телескопот Аресибо во Порто Рико, заради добивање можни знаци за вонземски живот. Einstein@Home како и SETI@Home користат иста софтверска платформа позната како BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing).

До ноември 2010 година над 280000 доброволци од 192 земји земале учество во овој проект, со што го направиле да биде трет најпопуларен BOINC проект. Околу 5800 активни корисници допринесуваат овој проект да поседува компјутерска моќ од речиси 370 TeraFlops што го прави Einstein@Home да биде во првите 20 суперкомпјутери од листата TOP500, што всушност претставува веб страна на која се рангираат суперкомпјутерите според некои тестови.

Во нумеричките пресметувања FLOPS (FLoating point OPerations per Second) означува операции со подвижна запирка, и се користи за определување на брзината на компјутерите.

## НАУЧНИ ЦЕЛИ НА ПРОЕКТОТ

Проектот Einstein@Home е направен со една цел - пребарување на небото за можни извори на континуирани гравитациони бранови преку податоците добиени со детекторот LIGO, слика 1.

За оваа цел, како можни кандидати за емитери на гравитациони бранови на прво место се брзо ротирачките неутронски ѕвезди, познати како пулсари. Доколку се успее во намерата да се откријат овие бранови, тогаш астрономите ќе имаат на располагање нова моќна алатка за работа што ќе им овозможи да истражуваат објекти што се речиси „невидливи“ за електромагнетните набљудувања, а такви се токму неутронските ѕвезди.



Сл. 1. Постројката за откривање на гравитациони бранови LIGO.

Заради популарноста на проектот, од март 2009 година компјутерската снага на Einstein@Home се користи за анализа на податоците добиени од PALFA конзорциумот на Опсерваторијата Аресибо во Порто Рико. Целта на овие анализи е да се пронајдат радио пулсари во двојни ѕвездени системи.

Einstein@Home досега има извршено многу серии на анализа на податоци добиени од детекторот LIGO. Речиси при секоја наредна анализа се воведуваат подобрувања во софтверот со цел зголемување на чувствителноста на пребарувањето.

Првата серија на анализа на податоци била наречна S3 и се извршувала во периодот од 22 февруари 2005 година до 2 август 2005 година. Анализата опфаќала 60 сегменти на податоци, а секој сегмент бил со времетраење од 10 часа. Податоците биле добиени од LIGO Hanford детекторот чија должина е 4 km. Откако била завршена анализата на сите сегменти на податоци, добиените резултати биле комбинирани и дополнително обработени со серверите на овој проект, и така добиените завршни резултати биле објавени на веб страната на проектот [1].

Понатаму следеле анализи на други серии податоци, како на пример S4, S5 итн. Значително подобрување на софтверот се случило со доброволното ангажирање на програмерот Акос Фекете од Унгарија. Тој во графичкиот приказ на податоците од серијата S4 ги вовел SSE3 и 3Dnow рутините така што направил подобрување на приказот за дури 800%. За својот допринос тој бил награден со тоа што станал официјален член на тимот на проектот Einstein@Home и учествувал во усовршувањето на софтверот за серијата S5.

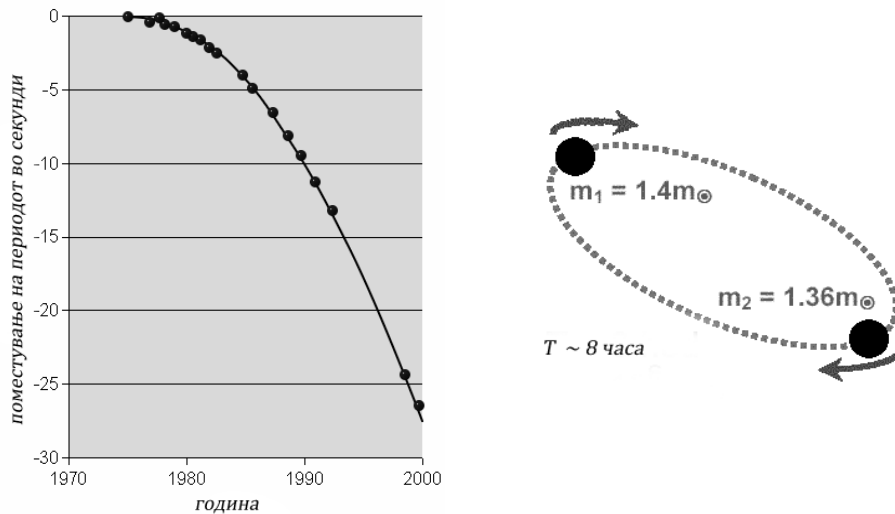
Новата официјална апликација за проектот се појавила во јули 2006 година и била за 50% побрза при нумеричките пресметки од претходната верзија.

Во мај 2010 година се појавила најновата верзија на програмата за анализирање која имала значително поусовршен метод за пребарување во однос на сите претходни верзии. Таа била приспособена да анализира дури 205 сегменти на податоци а секој сегмент бил со времетраење од 25 часа. Податоците биле добиени од инструментите LIGO Hanford и Livingston.

Од март 2009 година, Einstein@Home започал да ги анализира и податоците добиени од радиотелскопот Аресибо. Анализите го потврдиле постоењето на 116 радио пулсари, а во август 2010 е откриен најбриот ротирачки двоен пулсар, PSR J2007+2722.

## ГРАВИТАЦИОНИ БРАНОВИ

Според општата теорија на релативност, гравитацијата може да се објасни со закривување на просторно-временскиот континуум. Според предвидувањата, ако имаме промени во распределбата на масата на даден систем тогаш таа предизвикува создавање на брановидни вознемирувања во просторно-временскиот континуум што се шират со брзина на светлината. Овие бранови се наречени гравитациони бранови. До сега, директна детекција на гравитациони бранови немало, но индиректно се смета дека биле измерени кај двојниот неутронски систем PSR1913+16. Овој систем се состои од две неутронски ѕвезди што ротираат една околу друга. Една од овие ѕвезди е активна и затоа може да се „види“ како радио пулсар со карактеристики што прецизно се измерени.



Сл. 2. На оваа слика се прикажани некои од карактеристиките на двојниот систем PSR 1913+16.

Ако двојните ѕвездени системи се однесуваат според општата теорија на релативност тогаш тие ќе губат од својата вкупна енергија заради емисијата на гравитациони бранови. Заради тоа, со тек на време

тие ќе се приближуваат и ќе ротираат со поголема брзина (фреквенција) околу заедничкиот центар на маса. Од параметрите на нивните орбити може да се определи колку количина на енергија во вид на гравитациони бранови системот има емитирано. Притоа, експерименталните податоци и теоријата имаат отстапување помало од 1%.

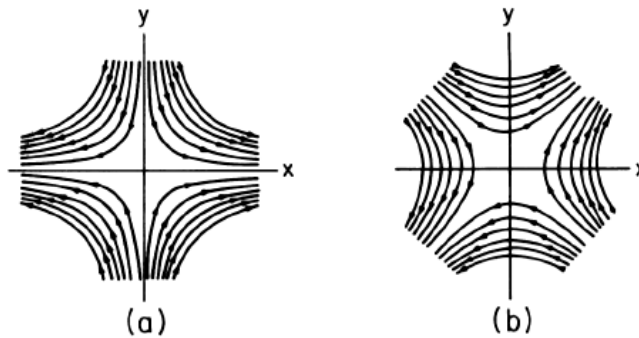
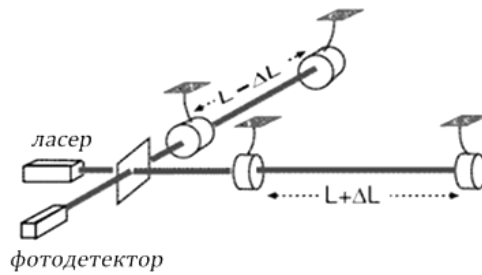
Гравитационите бранови се многу поразлични од електромагнетните бранови. Вообичаено, електромагнетните бранови потекнуваат од возбудените состојби на атомите и молекулите, додека гравитационите бранови потекнуваат од забрзани масивни објекти. Истотака, електромагнетните бранови лесно се расејуваат и апсорбираат од различни медиуми (звездени облаци, прашина итн.) додека гравитационите бранови се простираат речиси „недопрени“.

Некои од карактеристиките на гравитационите бранови се прикажани во табела 1. Кога станува збор за методите на детекција, треба да се кажи дека во тек е изградба на неколку големи ласерски интерферометри сместени на земјата. Еден од нив е сместен и во детекторот LIGO кој има должина од 4 km и се користи во склоп на проектот Einstein@Home.

$f$ (Hz)	$\lambda$	Метод на детекција	Астрономски извор
$\sim 10^{-16}$	$\sim 109$ ly	Анизотропија на $\mu$ бранови	Примордијална материја
$\sim 10^{-9}$	$\sim 10$ ly	Милисекундни пулсари	Примордијални космички стрингови
$\sim 10^{-4} - 10^{-1}$	$\sim 0.01 - 10$ AU	Ласерска интерферометрија во вселената (LISA)	Двојни ѕвезди, супермасивни црни јами
$\sim 10 - 10^3$	$\sim 300 - 30000$ km	Ласерска интерферометрија на земјата (LIGO, GEO, VIRGO)	Неспирални двојни системи
$\sim 10^3$	$\sim 300$ km	Криогени резонантни детектори	Супермасивни ротирачки неутронски ѕвезди

### БРАНОВИ ВО ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТ

При дадени претпоставки за почетните услови, Ајнштајновите равенки за поле од Општата теорија за релативност како решенија ни даваат квадруполни бранови што упростено може да се прикажат како на слика 3, со следново објаснување. Да претпоставиме дека две слободни маси се поставени во позициите  $x_1$  и  $x_2$  при  $y=0$ , а гравитациониот бран со поларизација  $+$  се движи долж  $z$  оската. Тогаш, слободните маси ќе останат во своите позиции но просторот помеѓу нив, а со тоа и меѓусебното растојание, ќе се зголемува и намалува согласно фреквенцијата на гравитационите бранови.



Сл. 3. Повец на просторна деформација за гравитациони бранови што се движат долж  $z$ -оската (нормално на рамнината  $xy$ ). На слика 3а е прикажана поларизацијата  $(+)$  а на слика 3б е прикажана поларизацијата  $(x)$ .

Слично, долж у оската растојанието меѓу две точки ќе „осцилира“ со спротивен знак. Оваа карактеристика на гравитационите бранови се користи во експериментите за да се измери релативната промена на должините

$$h = \frac{\Delta L}{L}. \quad (1)$$

### Амплитуда на гравитационите бранови

За да може да направиме експеримент со кој ќе ги детектираме гравитационите бранови, потребо е да знаеме колкав е нивниот интензитет што, всушност, зависи од амплитудата на гравитационите бранови. Да видиме како можиме да ја прицениме нивната вредност. Ако дистрибуцијата на масата на системот ја означиме со  $Q$ , тогаш релативната промена на растојанијата  $h$  во простор-временскиот континуум може да се запише како

$$h \sim G \frac{\ddot{Q}}{c^4 r} \sim G \left( \frac{E_{kin}^{ns}}{c^2} \right) \quad (2)$$

каде што  $G$  е гравитациона константа а  $r$  е растојание до Земјата до системот. Ако претпоставиме дека величината  $E_{kin}^{ns}/c^2$  одговара на масата на системот што е пропорционална на масата на Сонцето  $M_{\odot}$ , а  $r$  е сред на величина на меѓугалактичко растојание, добиваме дека релативната промена е има вредност

$$\begin{aligned} h &\leq 10^{-21} \text{ за кластерот Вирго} \\ h &\leq 10^{-23} \text{ за Хаблови растојанија} \end{aligned} \quad (3)$$

Ако земеме детектор што има димензии од  $L \sim 10 \text{ km}$ , за промената на должината ќе добиеме

$$\Delta L = hL \leq (10^{-19} - 10^{-17}) \text{ m} \quad (4)$$

Треба да се напomenи дека оваа проценка е во многу **оптимичка**, или би рекле посакувана што значи дека во стварноста  $\Delta L$  може да биде уште помало.

### **Фреквенција на гравитациони бранови**

Согласно теоријата за црните јами, изворот на гравитациони бранови не може да биде многу помал од неговиот Шварцшилдов радиус  $R_s = 2MG/c^2$  и не може да емитира во периоди помали од времето што е потребно светлината да го обиколи периметарот на кружница со радиус  $R_s$ , а тоа е  $t = 4\pi GM/c^3$ , што не доведува до изразот

$$f = \frac{1}{t} = \frac{c^3}{4\pi MG} = 10^4 \text{ Hz} \frac{M_\odot}{M} \quad (5)$$

каде  $M$  е маса на објектот а  $M_\odot$  е маса на Сонцето. Од овој израз може да се види дека најголема фреквенција ќе имаа објектите чија маса е приближна со масата на Сонцето, додека помасивните може да емитираат гравитациони бранови со значително помала фреквенција.

### **Астрономски извори на гравитациони бранови**

Според претпоставките, само масивни астрономски објекти може да емитираат гравитациони бранови што може да се детектираат на Земјата. Еве некои од нив.

- ➔ Компактни двојни ѕвезди. Тоа се најверојатно најдобрите кандидати од кои ќе се детектираат гравитационите бранови на Земјата. Станува збор за систем од неутронски ѕвезди или две црни јами чиј дијаметар, во случај на неутронски ѕвезди, е само 20 km. Затоа, тие ротираат многу блиску една до друга со фреквенција и до 500 Hz. Како што објектите се приближуваат еден кон друг во однос на центарот на маса, фреквенцијата и амплитудата на гравитационите бранови се зголемува, така што се зголемува и нивната енергија, што значи дека е поголема и веројатноста да се детектираат на Земјата.



- Обични двојни ѕвезди. Тоа се системи што најчесто може да се средтната како можни извори на гравитациони бранови. Периодот на ротација на овие системи е поголем од еден час, што ни дава фреквенција помала од  $10^3 \text{ Hz}$ . Ова значи дека за откривање на гравитациони бранови од овакви астрономски извори треба да имаме на располагање „антени“ со планетарни димензии што во блиска иднина нема да биде можно.
- Ротирачки неутронски ѕвезди. За да ови ѕвезди емитураат гравитациони бранови потребно е распределбата на масата во нив да не биде оскино симетрична по должина на оската на ротација. Според теоријата, ваква распределба на масата е можна само ако при формирањето на неутронската ѕвезда постоело јако магнетно поле што ја деформирало истата или деформацијата е резултат на забрзувањето што се добива од ѕвезда двојник која најверојатно е црна јама.
- Супернови. Овие ѕвезди ги имаат сите потребни карактеристики да бидат добри извори на гравитациони бранови. Тие се компактни, имаат маса од неколку сончеви маси и претрпуваат големи забрзувања. За жал, заради големиот интензитет на експлозијата, условите за емисија на гравитациони бранови може бргу и да исчезнат посебно ако суперновата колапсира и добие оскино симетрична распределба на масата.
- Супермасивни црни јами. Овие објекти се многу добар потенцијален извор на гравитациони бранови. Нивната огромна маса  $M \sim 10^5 M_{\odot}$  ни кажува дека овие објекти се вистински „канибалисти“ кои просто ги проголтаат соседните објекти. За жал, иако се потенцијално добри извори на гравитациони бранови, заради нивната голема маса, фреквенцијата е во областа на mHz, што значи дека се потребни детектори со антени од планетарни димензии.

## **ЛИТЕРАТУРА**

[1] <http://einstein.phys.uwm.edu/>

[2] D. Sigg, Gravitational waves, LIGO Hanford Observatory