



## THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2017

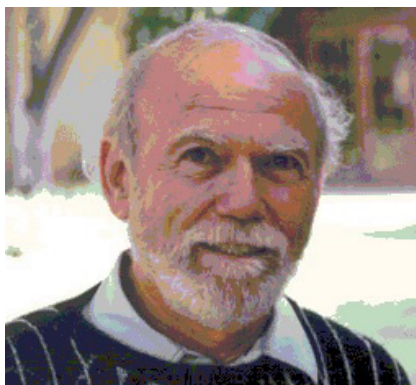
### НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2017 Г. \*

Кралската шведска академия на науките реши да присъди Нобеловата награда по физика за 2017 г., както следва: едната половина на *Райнер Вайс*, а другата половина съвместно на *Бари К. Барिश* и *Кип С. Торн* „за решаващи приноси към създаването на *LIGO*-детекторите и наблюдаването на гравитационни вълни“ („for decisive contributions to the *LIGO* detector and the observation of gravitational waves“).



Фотос 1. Райнер Вайс  
(Rainer Weiss)

Роден през 1932 г. в Берлин, Германия, Ph.D. през 1962 г., от Масачузетския технологичен институт (MIT), Кеймбридж, МА, САЩ, професор по физика в MIT<sup>1</sup>.



Фотос 2. Бари К. Барिश  
(Barry C. Barish)

Роден през 1936 г. в Омаха, НЕ, САЩ, Ph.D. през 1962 г. от Университета на Калифорния, Бъркли, КА, САЩ, професор по физика в Калтех, Пасадена, КА, САЩ<sup>2</sup>.



Фотос 3. Кип С. Торн  
(Kip S. Thorne)

Роден през 1940 г. в Логан, УТ, САЩ, Ph.D. през 1965 г. от Принстънския университет, Ню Джърси, САЩ, професор по теоретична физика в Калтех, Пасадена, КА, САЩ<sup>3</sup>.

#### Космическо чуруликане<sup>4</sup>

На 14 септември 2015 г. детекторите на LIGO в САЩ за пръв път регистрираха вибрации на пространството, предизвикани от гравитационни вълни. Въпреки че достигналият до Земята сигнал бе извънредно слаб, той вече предизвестява рево-

люция в астрофизиката. Гравитационните вълни представляват един абсолютно нов начин както за проследяване на най-бурните събития в пространството, така и за тестване на границите на нашето познание.

Наблюдаваните гравитационни вълни са въз-

\* Превод на статия от рубриката *Popular science background*, публикувана на страницата на Нобеловия комитет. Повече информация по въпроса може да се намери на адрес <http://nobelprize.org>. Илюстрации на фигурите: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences (бел. прев.).

<sup>1</sup> [http://web.mit.edu/physics/people/faculty/weiss\\_rainer.html](http://web.mit.edu/physics/people/faculty/weiss_rainer.html) B\_

<sup>2</sup> <https://labcit.ligo.caltech.edu/~BCBAct/K>

<sup>3</sup> <https://www.its.caltech.edu/~kip/index.html/>

<sup>4</sup> Буквален превод на английския термин chirp – чуруликане, цвъртене, т.е. отнася се за кратък, рязък високочестотен звук. Той обикновено се използва в популярната литература, посветена на гравитационните вълни, тъй като такъв е и характерът на регистрираните сигнали (бел. прев.).

никнали при жестокия сблъсък между две черни дупки преди повече от хиляди милиона години. Алберт Айнщайн отново се оказа прав. От момента, когато Общата теория на относителността

предсказа съществуването на гравитационни вълни, измина цял век, а Айнщайн винаги се съмняваше дали въобще някога ще бъдат регистрирани (Фигура 1).



Фигура 1. Първата гравитационна вълна, регистрирана някога

**LIGO (the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory** – лазерна интерферометрична обсерватория за гравитационни вълни) е съвместен проект на хиляда учени от повече от двадесет страни. Заедно те осъществиха едно почти петдесет годишно прозрение. Със своя ентузиазъм и решителност, неоценими за успеха на LIGO, Нобеловите лауреати за 2017 г., пионерите **Райнер Вайс** и **Кип Торн**, заедно с **Бари Бариш**, ученият и ръководителят, който доведе проекта до завършеност, осигуриха успеха на повече от четири десетилетните усилия за наблюдаване на гравитационните вълни.

Слуховете започнаха да се разпространяват приблизително пет месеца преди интернационалната група от учени да се реши на 11 февруари 2016 г. да обяви за откритието си – време, което бе използвано за уточняване на пресмятанията. Със своето първоначално откритие учените от LIGO поставиха няколко рекорда: освен първото наблюдение на гравитационни вълни, те получиха първите признаци за съществуването на черни дупки със среден размер между 30 и 60 слънчеви маси и че те могат да се сливат. За един кратък момент гравитационното лъчение от сблъскащите се черни дупки се оказва много по-мощно от светлината, стигаща до нас от всички звезди на видимата Вселена.

### Пространство–времето трепти

Била абсолютна тъмнина. Но не и абсолютна тишина. Цялото пространство–време се разтърсва от сблъсъка на две черни дупки. Подобно на вълничките от хвърлено във водата камъче, в Космоса се разпространяват предизвиканите от удара гравитационни вълни. На тях им е необходимо определено време, за да стигнат до нас. Въпреки че се движат със скоростта на светлината – най-голямата възможна скорост, изминават повече от хиляда милиона години, докато пристигнат тук, на Земя-

та. На 14 септември 2015 г. в 11 часа и 51 минути централноевропейско време едно леко притрепване на картината от светли и тъмни ивици в американските LIGO-лаборатории разкри драмата, разиграла се много отдавна и много далече, на 1,3 млрд. светлинни години от Земята.

LIGO не е като обикновените телескопи, които улавят светлина и друго електромагнитно лъчение, идващо от пространството. Той е инструмент за прослушване на гравитационните вълни, разпространяващи се в пространството. Макар че гравитационните вълни представляват трептения на самото пространство–време, а не звукови вълни, тяхната честота е като на тези, които можем да чуем с ушите си.

От десетилетия физиците се мъчат да регистрират тези гравитационни вълни, които, както предсказа преди сто години Алберт Айнщайн, пронизват Вселената. Според неговата теория в четиримерното пространство–време могат да се разпространяват гравитационни вълни, които възникват винаги, когато някаква маса се движи с ускорение – както когато един скиор се спуска слалом, когато една звезда от далечна галактика експлодира или двойка черни дупки обикалят една около друга.

Както и гравитационните вълни, черните дупки също се описват от създадената през 1915 г. от Айнщайн Обща теория на относителността. Повече от 50 години мнозинството учени бяха убедени, че черните дупки съществуват само като решения на уравненията на Айнщайн, но не и в действителност. Теорията на относителността обяснява гравитацията като изкривяване на пространство–времето. Там, където гравитацията е изключително силна, кривината става толкова голяма, че се образува черна дупка. Черните дупки са най-странните обекти в пространство–времето – нищо не може да напусне една черна дупка, дори и светлината.

Поради тази причина те са постоянен източник на мистерии във физиката.

Гравитационните вълни са свързани с надеждата за наблюдаване на нещо неочаквано, но дълго време не беше ясно дали мистериите на пространство–времето някога ще бъдат разгадани. В продължение на много години Айнщайн бе убеден, че няма да бъде възможно да се изучават гравитационните вълни и не бе сигурен дали вълните са реални или представляват само една математическа илюзия. Неговият съвременник и колега Артур Едингтън бе дори още по-скептичен и изтъкваше, че изглежда, гравитационните вълни „се разпространяват със скоростта на мисълта“.

Съществуването на гравитационни вълни стана по-приемливо към края на 50-те години на миналия век, когато новите изчисления показаха, че всъщност те пренасят енергия и по принцип би трябвало да бъдат наблюдаеми. Едно частично непряко доказателство за съществуването им се появи през 70-те години, когато американските астрономи Джозеф Тейлър и Ръсел Хълс използваха голям радиотелескоп за наблюдаване на двойка изключително плътни звезди, един двоен пулсар. Те успяха да покажат, че звездите обикалят една около друга с нарастваща скорост и губейки енергия, се сближават. Количеството на загубите бе в съгласие с теоретичните пресмятания за отнесената от гравитационните вълни енергия. Джозеф Тейлър и Ръсел Хълс получиха Нобелова награда по физика през 1993 г.

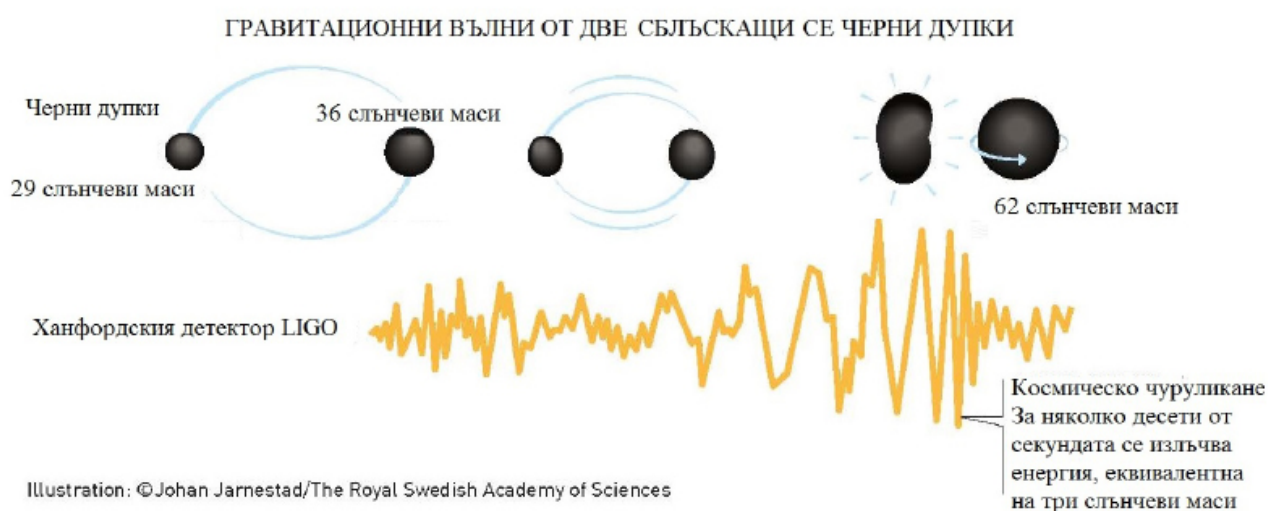
Пряко доказателство за съществуването на гравитационните вълни обаче би било наблюдава-

нето на самите вълни. Но тъй като пространство–времето трудно се поддава на деформации, само най-бурните космически процеси могат да предизвикат достатъчно големи гравитационни вълни, за да могат да бъдат регистрирани. И все пак тяхната амплитуда е нищожна: регистрирането им е равносилно на измерване на разстоянието до отстояща на десет светлинни години звезда с точност, равна на дебелината на косъм. Освен това, дори ако цялата Вселена постоянно е изпълнена с гравитационни вълни, най-мощните събития рядко се случват именно в нашата Галактика. Ето защо за целта ние трябва да погледнем по-надалече.

### Гравитационните вълни разкриват миналото

Сега това се случи – гравитационните вълни бяха хванати в капана на LIGO. Двете черни дупки, които се сблъскват, обикалят една около друга от момента на раждането си в ранните мигове от историята на Вселената. С всяка обиколка те се сближават спираловидно и това нарушение на пространство–времето по-нататък се разпространява все по-далече и по-далече в пространството под формата на гравитационни вълни.

Вълните отнасят със себе си енергия, което предизвиква сближаване на черните дупки. Колкото повече ги сближава тяхното движение по спирала, толкова по-бързо обикалят черните дупки и толкова повече енергия се излъчва при ускорения им танц, който продължава много милиони години. В самия му край, за части от секундата, двата хоризонта на черните дупки се допират и дупките са понасят към своя фатален край със скорост,



Фигура 2. В продължение на милиони години двете черни дупки, обикаляйки една около друга, излъчват гравитационни вълни. При това те се доближават все повече и повече една към друга, докато накрая в рамките на няколко десети от секундата се слейт, образувайки една черна дупка. В този момент вълните достигат максимален интензитет, което за нас тук, на Земята, на разстояние от 1,3 млрд. години, звучи като някакво космическо чуруликане, което спира рязко.

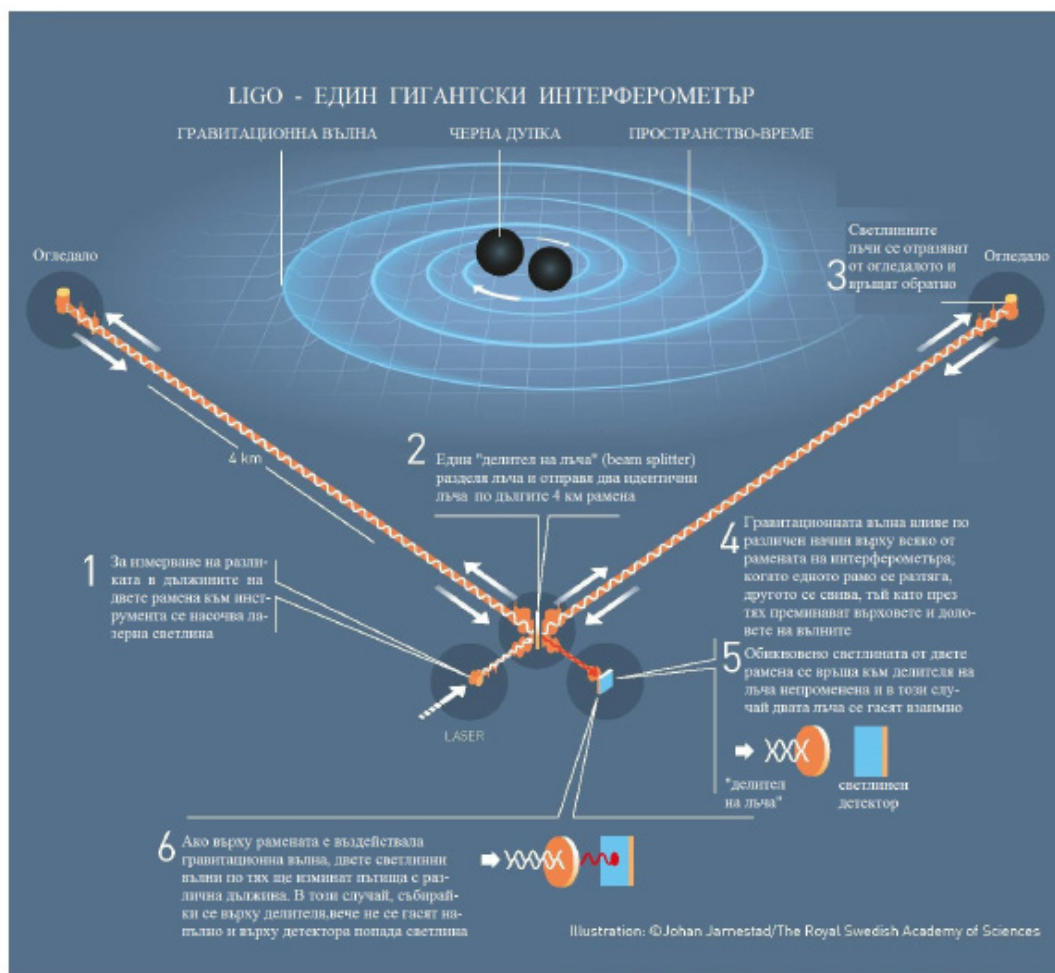
близка до скоростта на светлината. След тяхното сливане всички трептения затихват и остава една-единствена въртяща се черна дупка, по която няма следи от нейното драматично минало.

Споменът за сливането на дупките обаче не е напълно загубен – историята остава записана във вълните на пространство–времето. Гравитационните вълни, ритмично разтягайки и свивайки пространството, променят височината на тона си с промените в посланието, което носят. Ако бихме могли да чуем всички вълни, а не само най-силните от тях, цялата Вселена би била изпълнена с музика, подобно на чуруликането на птиците, изпълващо гората с по-силни звуци тук и по-тихи – там. Милиарди години след като дуетът от черни дупки се е приближавал ускорено към своя финален хаотичен удар, се чува едно кресцендо, преди звуците да изчезнат и да настъпи тишина, която не ни разкрива нищо.

Сега ние можем да чуем само няколко финални трели. Защо те са толкова тихи? Причината е в огромното разстояние до източника на гравитационните вълни, които, подобно на светлинните, отслабват с увеличаване на разстоянието. По такъв начин, когато гравитационните вълни пристигнат тук, тяхната интензивност е намаляла значително – деформацията на пространство–времето, която трябва да регистрира детекторът на LIGO при преминаване на вълната край Земята, бе хиляди пъти по-малка от размерите на атомното ядро.

### LIGO – един гигантски интерферометър

Мечтата витаеше наоколо повече от петдесет години, но пътят към успеха бе дълъг, изпълнен с неочаквани завои и понякога труден за много от учените, които го следваха. Един от първите детектори, предназначени да регистрират гравитационни вълни, приличаше на камертон, чувствителен



Фигура 3. Как да уловим една гравитационна вълна. Първите регистрирани гравитационни вълни са родени при един бурен удар между две черни дупки, протекъл на разстояние 1,3 млрд. светлинни години от нас. Когато 1,3 млрд. години по-късно тези вълни преминават през Земята, те са значително отслабнали: промените в пространство–времето, които измерва LIGO, са хиляди пъти по-малки от размерите на атомното ядро.

телен към вълни с точно определена честота. Но Джозеф Вебер от университета на Мериленд във Вашингтон би могъл само да гадае каква е честотата, на която черните дупки ще изпеят своята лебедова песен. Първия детектор той построи през 60-те години на миналия век, по времето, когато много хора изобщо се съмняваха в самото съществуване на гравитационни вълни и на черни дупки. Ето защо през 70-те години бе сензация, когато Вебер обяви, че е чул тези финални звуци. И тъй като никой не бе в състояние да повтори неговите резултати, наблюденията му се разглеждаха като фалшива тревога.

В средата на 70-те години, въпреки широко разпространения скептицизъм, Кип Торн и Райнер Вайс бяха твърдо убедени, че гравитационните вълни могат да бъдат регистрирани и да предизвикат революция в нашите познания за Вселената. Райнер Вайс вече бе анализирал възможните източници на фонов шум, който би смущавал техните измервания. Той също така бе проектирал детектор – един лазерен интерферометър, който би преодолял този шум.

Докато Райнер Вайс разработваше своя детектор в MIT в Кеймбридж, извън Бостон, Кип Торн

също започна работа с Роналд Древър, който построи своите първи прототипи в Глазгоу, Шотландия. В крайна сметка Древър се премести в Калтех в Лос Анжелис, за да се присъедини към Торн. Вайс, Торн и Древър заедно образуваха триото, проправящо пътя в продължение на много години. Древър в крайна сметка напусна работата си по проекта, но успя да види откритието, преди да почине в дома си в Шотландия през март 2017 г.

Вместо проекта на Вебер, работещ като камертон, Вайс, Торн и Древър разработиха друг инструмент, който представлява лазерен интерферометър. Неговият принцип е известен отдавна: интерферометърът се състои от две взаимно перпендикулярни рамена. Там, където рамената се свързват, както и в краищата им, по специален начин са окачени масивни огледала. Една преминаваща гравитационна вълна действа по различен начин на рамената, когато под нейно влияние едното рамо се скъсява, другото се удължава.

Промените на дължините на рамената се измерват с помощта на лазерни лъчи, които сноват между огледалата. Ако не се е случило нищо, лъчите, разпространяващи се по двете рамена, при срещата си в общия им край взаимно се гасят. Ко-



Фигура 4. LIGO се състои от два еднакви гигантски интерферометъра. Гравитационната вълна е минала първо през интерферометъра в Ливингстон и след 7 милисекунди – през отдалечения на 3000 км негов близък в Ханфорд. Двата сигнала са почти еднакви и са в добро съгласие с предсказания вид сигнал от гравитационна вълна. Като се използват сигналите, върху южното небе може да се очертае една област, в която се е намирал източникът на вълните.

гато обаче някое от рамената промени дължината си, двата лъча изминават по рамената различен път, техните светлинни вълни губят синхрон и когато лъчите се срещнат, общият интензитет на светлината вече се променя – не е нула.

Идеята бе сравнително проста, но както обикновено, Дяволът се крие в подробностите, така че бяха необходими повече от 40 години за реализацията ѝ. Изискваха се едромащабни инструменти за да измерват микроскопични промени на дължини, по-малки от размера на атомното ядро. Планът предвиждаше да се построят два интерферометъра, всеки от тях с рамена, дълги по четири км, по които лазерният лъч да снове многократно, като по такъв начин удължава пътят на светлината и се увеличава вероятността за регистриране и на най-малките деформации на пространство-времето. LIGO е разположен в степите на американския северозапад, извън Ханфорд, щата Вашингтон, като едно също такова съоръжение е разположено на три хиляди км на юг, в мочурищата на Ливингстън, щата Луизиана.

Години бяха необходими, за да се разработи най-чувствителният за всички времена инструмент, способен да направи разлика между гравитационните вълни и фоновия шум. Това изискваше сложен анализ и съвременна теория – области, в които специалистът бе Кип Торн. Но за да се построи сложният инструментариум, бяха необходими творческа инженерна мисъл и майсторска изработка, където пък бе пионерският принос на Райнер Вайс. Дължината на вълната на лазерната светлина и нейният интензитет трябва да бъдат колкото е възможно по-стабилни, а лъчът трябва да достига окачените огледала изключително точно. Те не би трябвало да потрепват, дори когато падне листо от намиращите се наоколо дървета, когато някое дете тича или минава камион по отдалеченото шосе. В същото време тези висящи огледала трябва свободно да се разлюлюват от преминаващите гравитационни вълни. Трябваше да се компенсират топлинното движение на атомите от повърхността на огледалата, а така също и квантовите ефекти в лазера. Наложиха се да се разработи нова лазерна технология и да се създават нови материали, както и да се конструират гигантски вакуумни тръби, антисейсмична изолация и други жизнено важни технологии, които далече надминават предишните постижения.

Невъзможно бе да се реализира подобен проект в малки мащаби – бе нужен нов подход. Когато

през 1994 г. Бари Бариш пое ръководството на проекта, той преобразува малката група, състояща се от около 40 души, в голямо международно сътрудничество с повече от хиляда участници. Той търсеше хора с необходимия опит, привлече за работа многобройни групи от много страни. Невъзможната мечта можеше да се сбъдне само чрез съвместните усилия на голямата наука.

### **Сигналят пристигна веднага**

През септември 2015 г. след усъвършенстване, отнело няколко години, LIGO отново бе готов да започне търсенето. Сега, снабден с десетократно по-мощни лазери, с 40-килограмови огледала, с високоефективно филтриране на шумовете и с една от най-големите вакуумни системи в света, той регистрира сигнал от вълните няколко дни преди официалното начало на експеримента. Вълната премина първо през устройството в Ливингстън и след това 7 милисекунди по-късно – движейки се със скоростта на светлината, се появи в отстоящия на три хиляди км Ханфорд.

В ранната утрин на 14 септември 2015 г. компютризираната система изпрати едно съобщение. В САЩ всички още спяха, но в Германия, в Ханوفر беше 11:15 ч. и Марко Драго, един млад физик в Института „Макс Планк за гравитационна физика“, се канеше да обядва. Кривите, на които той хвърли бегъл поглед, изглеждаха точно така, както онези, които той многократно се упражняваше да разпознава. Възможно ли бе той да е първият човек на света, който вижда регистрирани гравитационни вълни? Или това бе само фалшива тревога, една от случайните проверки, за които знаеха само малцина?

Формата на вълната бе точно както предсказаната и това не бе проверка. Всичко пасваше идеално. Първопроходците, които вече бяха осемдесетгодишни, както и техните колеги от LIGO, бяха най-накрая в състояние да „чуят“ мечтаната от тях музика, подобна на глисандо или на песента на птица, чуруликаща своята самотна песен. Бе твърде хубаво, за да е вярно, и затова едва през февруари следващата година им бе разрешено да разкрият новините пред всички, включително и на семействата си.

Добре пазената тайна, наречена GW 150914, отговаряше на всички техни очаквания. От сигнала изследователите можаха да установят, че масите на двете черни дупки са съответно 29 и 36 пъти по-големи от масата на Слънцето, а диаметрите им – не по-големи от 200 км. Сливайки се, те образуват черна дупка с около 62 слънчеви маси,

така че в процеса на сливане, за няколко десети части от секундата те излъчват под формата на гравитационни вълни енергия, еквивалентна на три слънчеви маси. Така за този кратък времеви интервал GW 150914 се превръща в най-мощния излъчващ обект във Вселената. Сигналят посочва също областта от южното небе, където е протекло бурното събитие, и разстоянието до него – 1,3 млрд. светлинни години. Това означава, че сливането е станало преди 1,3 млрд. години, т.е. по времето, когато животът тук, на Земята, е правил крачката от едноклетъчни към многоклетъчни организми.

След първото откритие LIGO регистрира още две подобни събития. Подобното европейско устройство, наречено VIRGO, което се намира в Италия, близо до Пиза, през август 2017 г. се присъедини към LIGO и на 27 септември те обявиха за своето първо съвместно откритие: на 14 август и трите космически детектора регистрираха едни и същи гравитационни вълни, излъчени при сливането на две черни дупки със средни размери, протекло преди 1,8 млрд. години.

Досега детекторите са регистрирали четири пъти разтърсване на Вселената и се очакват още

много подобни открития. Индия и Япония също строят нови обсерватории за гравитационни вълни. Когато разполагат с повече експериментални данни от разположени далече едно от друго съоръжения, учените ще могат да установят по-точно откъде идват сигналите. Това ще позволи по-нататък обектите да бъдат изследвани с оптични телескопи, с рентгенови телескопи или друг тип телескопи.

До откриването на гравитационните вълни всички наши знания за Вселената дължим на наблюдения на лъчения от целия електромагнитен спектър, както и на космически лъчи и неутрино. Гравитационните вълни обаче са пряко свидетелство за смущенията на самото пространство–време. Това вече е нещо съвсем ново и различно, разкриващо невиджани светове. Голямо изобилие от открития очаква онези, които успеят да регистрират гравитационни вълни и да разчетат техните послания.

Превод от английски език:

**проф. д.п.н. Христо Попов**

Физически факултет на

СУ „Св. Климент Охридски“