

Краят на света и големият адронен колайдер?

Майкъл Пескин¹

На 8. август големият адронен колайдер LHC (Large Hadron Collider) инжектира първите снопове и сложи начало на една експериментална програма, по която ще се осъществяват протон–протонни удари при енергия от 14 TeV. Специалистите по физика на елементарните частици са в очакване и надежда. Причината е, че Стандартният модел на силните, слабите и електромагнитните взаимодействия, независимо от неговите многобройни успехи, е очевидно непълен. Според теорията празнините в модела трябва да бъдат запълнени от новата физика, която ще се разкрие в областта на енергиите, които ще се изследват на LHC. Някои конкуриращи теории са просто несериозни дилеми, но най-интересните от тях включват нови представи за време-пространството, които очакват потвърждение.

Погледнете обаче в Wikipedia статията за LHC и ще установите, че значително внимание е посветено на безпокойствата за безопасността [1]. На LHC ние ще изследваме енергии, които надминават онези, достигани на досегашните ускорители и се надяваме да открием частици, които никога не са били наблюдавани. Бихме ли могли тогава да породим частици, които са опасни, такива, които, например, поглъщат нормалното вещество и евентуално биха унищожили Земята²? Да се спекулира с подобни неща е мрачна шега и вече са предложени кандидати за подобни опасни частици. Тези предложения са анализирани в една статия в *Reviews of Modern Physics* от Jaffe, Busza, Wilczek, и Sandweiss [2] и отхвърлени на основа на ограниченията, налагани от наблюдателните данни и от познатите физични закони. Тези заключения бяха подкрепени от по-сетнешните изследвания, проведени в ЦЕРН [3].

Въпреки това, има един случай, който е особено хитроумен: идеята, че LHC може да роди микроскопични черни дупки, които ще пораснат до макроскопични размери, постепенно превръщайки цялата Земя в черна дупка. Нека преди всичко подчертая, че не

¹ На 18.08. т.г., във връзка с предстоящото пускане в действие на LHC, авторът, чиито адрес е Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, 2575 Sand Hill Road, Menlo, Park, CA 94025, помещава настоящата статия на адрес <http://physics.aps.org/articles/v1/14>. Статията е предназначена за сп. Physics.

² Помня, че преди много години, когато в Тихия океан се провеждаха първите термоядрени взривове (опити с водородни бомби, както ги наричаха тогава), пресата бе пълна с опасения, че водата в целия океан може да се разложи на водород и кислород, които да се подпалят и да изгорим, че е възможно Земята да се разкъса на части и т.н., и т.н. (Бел. прев.)

съществува съвременна теория, която води до подобно заключение. За това можете да съдите например от факта, че всички мои добре запознати с въпроса колеги, планират да изкарат сабатична година в ЦЕРН – Женева и нито един от тях не се мести в Мелбърн. Проблемът би могъл да се породи само ако се направят поредица от предположения относно некоректността на нашите теории. В една статия, публикувана от Steven Giddings от University of California в Santa Barbara, и Michelangelo Mangano от ЦЕРН във *Physical Review D*, приемат предизвикателствата на тези предположения и ги използват като основа за нови и увлекателни изследвания [4]. Те поставят следния въпрос: ако всички тези предположения са правилни, не би ли трябвало тези черни дупки вече да са погълнали нещо във Вселената, чието отсъствие ние би трябвало да забележим? Техният аргумент е, че ако LHC можеше да произвежда опасни черни дупки, добре познатите ни астрофизични обекти би трябвало да бъдат разрушени отдавна.

Защо би могло LHC, който работи при енергии от 10^4 GeV, да поражда силни гравитационни полета, които по начало не се очакват при енергии, по-ниски от Планковата енергия (10^{19} GeV)? Стандартният модел на слабите взаимодействия включва спонтанно нарушение на симетрията и нарушаващо симетрията основно състояние. Известно е, че мащабите на енергиите, при които настъпва това нарушаване на симетрията, са от порядъка на 100 GeV. Един от въпросите, които стоят пред Стандартния модел, е за произхода на този енергиен мащаб. Защо той не е голям колкото Планковата енергия? През 1998 г. Arkani-Hamed, Dimopoulos, и Dvali (ADD) [5] обърнаха този въпрос с главата надолу и запитаха дали мащабите на квантовата гравитация не биха могли да бъдат много по-ниски – до няколко стотин GeV, например. Те постулират съществуването на допълнителни пространствени измерения, така че гравитацията (изкривяването на пространството) може да се влияе от тяхното наличие, докато кварките, лептоните, фотоните и другите частици на Стандартния модел са ограничени от двумерна стена вътре в това пространство. Доколкото при наличие на n допълнителни пространствени измерения гравитационната сила расте като $\frac{1}{r^{2+n}}$, т.е. по-бързо от познатото $\frac{1}{r^2}$ в тримерното пространство, квантовите гравитационни ефекти стават достатъчно силни при по-големи разстояния, или при по-ниски енергии.

Ударите между частици при енергии над Планковия мащаб трябва да раждат черни дупки, понеже те съсредоточават голямо количество енергия в достатъчно малка област (т.нар. радиус на Шварцшилд). Giddings и Thomas [6] и Dimopoulos и Landsberg [7] осъзнават, че тази логика, приложена към модела ADD, води до заключение, че високоенергетични удари при енергии от порядъка на TeV, могат да пораждат черни дупки. Те разглеждат тази възможност не като опасност, а по-скоро като интересна възможност. Те си представят, че по силата на механизма на Хокинг [8] черната дупка ще свети с температура около $1 \text{ TeV}/k_B$, ще излъчва голям брой кварки, лептони и бозони, и след 10^{-26} s ще се изпари. Този процес ще бъде източник на уникални и ясно забележими събития, които биха могли да бъдат регистрирани в експериментите на LHC.

Какво би станало обаче, ако предсказанието на Хокинг, че черните дупки излъчват, се окаже некоректно? Няма пряко доказателство за наличието на лъчение на Хокинг. Единствените черни дупки, които сме наблюдавали в природата са с размерите на звезди или галактики и тяхното Хокингово лъчение е невидимо. При тази хипотеза, предсказаните от модела ADD черни дупки биха били стабилни и може да бъдат захванати от Земята с катастрофални последствия. Доколкото нямаме пълна теория на квантовата гравитация, подобна спекулация не може да се отхвърли. Теоретичното доказателство за съществуване на излъчване на Хокинг обаче е много силно. Многочислени пресмятания от различни гледни точки са в съгласие с подробните формули за Хокинговата температура и спектър. Един свързан ефект, ефектът на Unruh [9] за излъчване от ускорено тяло, се демонстрира от квантовата електродинамика. Предложени са модели, включително един от самия Unruh [10], в които черните дупки не излъчват. Моделът обаче изисква нарушаване на Лоренцовата инвариантност, което е приемливо за енергии от 10^{19} GeV , но е абсолютно изключено за енергии от порядъка на TeV.

Ако пренебрегнем тези силни теоретични аргументи, бихме могли да тръгнем по друг път. За времето на съществуване на Земята върху нея са падали огромен брой високоенергетични космични лъчи. По такъв начин, бихме могли да разсъждаваме ние, природата вече е провеждала многократно LHC-експериментите и тъй като ние все още сме тук, самият LHC трябва да е безопасен. Това е едно стандартно разсъждение, което бе проработено детайлно от Jaffe *et al.* [2]. Фигура 1 показва броя на високо енергетичните

протонни удари (с енергия спрямо центъра на масите над една определена стойност) върху Земята и върху Слънцето за един милиард години, получени вследствие обстрелването с космически лъчи. Този аргумент е достатъчно силен, за да изключи опасностите от всяка хипотетична частица, която е захваната от Земята. Черните дупки обаче може да заобиколят този аргумент. Една безструктурна, неутрална черна дупка от модела ADD има радиус една хилядна от размерите на атомното ядро. Подобна “опасна” черна дупка може да се роди в LHC, да се спре и остане на Земята. Обаче, подобна черна дупка, родена от космичните лъчи, би пронизала Земята със скоростта на светлината, претърпявайки само няколко удара. От тази гледна точка аргументът за космичните лъчи като че ли губи силата си.

Повечето от черните дупки, произведени от LHC според модела ADD, би трябвало да са опасни в този смисъл. Протонът представлява свързано състояние на други частици. Елементарните процеси в протон–протонните колайдери са удари между отделните съставлящи ги кварки и глюони. Раждането на черна дупка, което изисква най-високите възможни енергии, често ще бъде резултат от удар между два кварка или между кварк и глюон. Тези реакции раждат черни дупки, които са електрически заредени и участват в силните взаимодействия. Те ще взаимодействат с веществото като адрони и дори онези от тях, които имат релативистични скорости, ще се забавят и спират на разстояния от порядъка на няколко дециметра. Възможно е някои от тези черни дупки да погълне друг кварк, да се неутрализира и да стани опасна. Процесът на поглъщане на кварк е свързан [11] с процеса, при който един кварк се излъчва по механизма на Хокинг, така че ако не съществува излъчване на Хокинг, ние не очакваме и неутрализация.

Но доколкото ние вече сме в областта на спекулациите, аз ще добавя и хипотезата, че всички черни дупки, получени на LHC са опасни.

Сега ние сме изправени пред проблем. За да се занимаят с него, Giddings и Mangano започват анализ в две нови посоки. Първо, вместо обикновени тела като Земята и Луната, те разглеждат получаването на черни дупки в бели джуджета и неутронни звезди. Тези обекти са по-плътни от скалите съответно 10^9 и 10^{15} пъти, така че дори и най-опасните черни дупки могат да спрат и да получат възможност да причинят вреда. Сигурно е, че съществуват голям брой бели джуджета и неутронни звезди. Охлаждането на белите джуджета е добре разбран процес, така че възрастта им може да се определи от

температурата. Възрастта на една неутронна звезда, която е член на двойна система, излъчваща рентгенови лъчи, може да се определи от радиуса и периода на системата и от свойствата на звездата–компаньон. Познати са много примери на звезди от всеки от двата типа, които са по-стари от милиард години.

На второ място Giddings и Mangano анализират внимателно процеса на акреция на вещество върху микроскопична черна дупка. Скоростта на акрецията зависи от детайлите на модела на допълнителните измерения [12]. В някои случаи гравитационното влияние на черната дупка е нищожно. Една спряла черна дупка евентуално би погълнала Земята атом по атом, но този процес би продължил 100 милиарда години. В други случаи на модела ADD обаче по-силното гравитационно поле, дължащо се на допълнителните измерения, може да се усеща в радиус, който е голям в сравнение с вътрешно атомните разстояния. В този случай трябва да се използва различно, хидродинамично описание. Giddings и Mangano анализират този случай като използват класическата теория на Bondi [13] и намират, че са възможни и по-кратки времена на акреция – от порядъка на хиляди години. Но притежаващите огромна плътност бели джуджета и неутронни звезди биха били разрушени по-бързо от захванати черни дупки. За белите джуджета времето за акреция е 10 000 пъти по-кратко. Неутронните звезди пък са толкова плътни, че те по начало се намират на границата на пълен гравитационен колапс. Това предполага, че даже една единствена микроскопична черна дупка може да ускори бързото колапсиране на цялата неутронна звезда. Колкото и лесно да е разрушаването на Земята, тези звезди са много по-уязвими. Следователно по отношение на черните дупки от LHC съществуването на свръхплътни звезди играе ролята на всеизвестните канарчета в каменовъглените мини: дотогава, докато пулсарите продължават да излъчват, Земята е в безопасност.

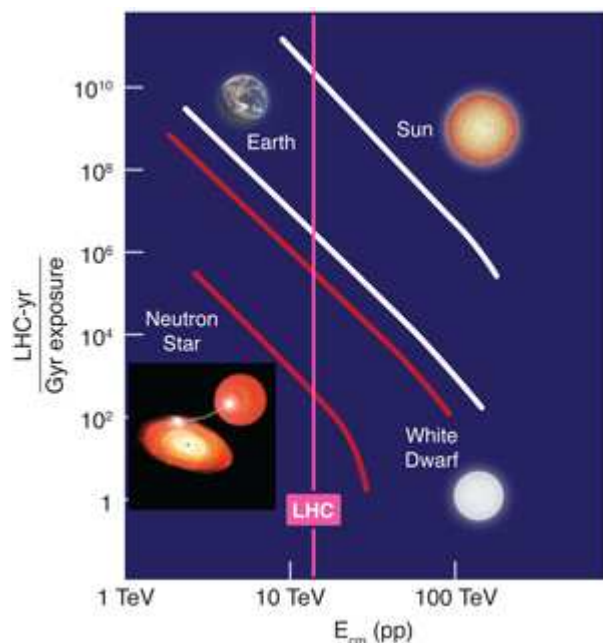
В началото на тази статия аз поставих ударение върху увереността на специалистите по физика на високите енергии в безопасността на LHC, увереност, основаваща се на разбирането ни за физиката на TeV-енергиите. Аргументите в тази посока се усилват, когато използваме опита си по изследване на високо енергетичните космични лъчи. Този опит е много по-разбираем за широката публика. Както показват числата обаче, енергетичния спектър на космичните лъчи спада рязко, така че опитът ни с удари при енергии над 100 TeV е твърде малък. За да оправдаем още по-големите ускорители на бъдещето, ние ще трябва да обясним по-добре на обществеността

познанията, които сме получили от изследване на високо енергетични частици и да я ангажираме чрез обаянието на нашите търсения на нови физични закони. Надявам се, че чрез вълнуващите открития, които ще бъдат направени с ЛНС, ще постигнем напредък в постигането и на двете тези цели.

Превод: Хр. Димитров

Литература

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Safety_of_the_Large_Hadron_Collider.
2. R. L. Jaffe, W. Busza, F. Wilczek, and J. Sandweiss, *Rev. Mod. Phys.* **72**, 1125 (2000).
3. J. P. Blaizot *et al.*, CERN report CERN.2003.001; J. Ellis *et al.*, CERN report ERNPH.TH.2008.135, [arXiv:0806.3414](https://arxiv.org/abs/0806.3414).
4. S. B. Giddings and M. L. Mangano <http://physics.aps.org/articles/v1/14> (8 of 11)8/26/2008 9:55:02 AM Physics - The end of the world at the Large Hadron Collider?, *Phys. Rev. D* **78**, 035009 (2008).
5. N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, and G. Dvali, *Physics Letters B* **429**, 263.
6. S. B. Giddings and S. Thomas, *Phys. Rev. D* **65**, 056010 (2002).
7. S. Dimopoulos and G. Landsberg, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 161602 (2001).
8. S. W. Hawking, *Commun. Math. Phys.* **43**, 199 (1975); **46**, 206(E) (1976).
9. W. G. Unruh, *Phys. Rev. D* **14**, 870 (1976).
10. W. G. Unruh <http://physics.aps.org/articles/v1/14> (9 of 11)8/26/2008 9:55:02 AM Physics - The end of the world at the Large Hadron Collider? and R. Schützhold, *Phys. Rev. D* **71**, 024028 (2005).
11. See, e.g., M. E. Peskin and D. R. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory* (Westview Press, 1995), section 5.4[[Amazon](#)][[WorldCat](#)].
12. Although, for clarity, I discuss only the ADD model, Giddings and Mangano [4] analyze this issue in general models of TeV-scale gravity.
13. See, e.g., S. L. Shapiro and S. A. Teukolsky, *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars* (Wiley, 1983), section 14.3[[Amazon](#)][[WorldCat](#)].



Фиг. 1: Белите линии илюстрират следващите от космичните лъчи ограничения върху опасните частици, които спират върху Земята или Слънцето. По абсцисата са нанесени енергиите на протон–нуклонните удари в система на центъра на масите, а по ординатата – броят на ударите с енергия над определена стойност, изпитани от една звезда или планета за милиард години бомбардирана от космични лъчи, сравнен с броя на ударите, очаквани на LHC за една година при планираната мощност на снопа. Червените линии илюстрират моите оценки за разположението върху тази графика на новите ограничения на Giddings и Mangano, конкретно приложени за “опасните” черни дупки, описани в текста. Пълният анализ е сложен; за точни резултати и преценки виж оригиналната статия [4].

Бележка за предпечатната подготовка:

Тъй като при черно-бял печат белите и червените линии ще загубят цвета си, номерирайте ги върху фигурата с 1, 2, 3 и 4 и направете съответните промени в текста към фигурата – напр. вместо червени – 1 и 2, а вместо бели – 3 и 4.