



ЩО СПІЛЬНОГО МІЖ ЧОРНОЮ ДІРОЮ І ПРОГНОЗОМ ПОГОДИ?

Відомий британський фізик-теоретик Стивен Хокінг, один із засновників сучасної теорії чорних дір, опублікував препринт своєї статті, в якій пропонує переглянути одне з основних положень цієї теорії, а саме: замінити горизонт події чорної діри, через який ані матерія, ані енергія не можуть повернутися назовні, на так званий уявний горизонт (*apparent horizon*), здатний затримувати матерію та енергію лише на деякий час.

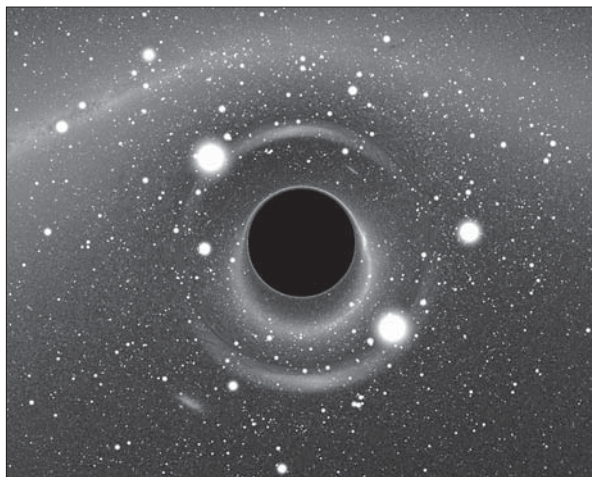
«Більшість фізиків, достатньо ексцентричних, щоб написати у своїй статті: «чорних дір не існує» (принаймні у тому вигляді, як ми їх зазвичай уявляємо), знають напевне — такий матеріал не опублікують, а їх пошлють у дурні. Проте, коли до пересмислення ключових понять закликає Стивен Хокінг (*Stephen Hawking*), то на це варто звернути увагу», — пише журнал *Nature*¹.

Справа в тому, що 22 січня 2014 р. відомий фізик-теоретик з Кембриджського університету (Велика Британія), один із творців сучасної теорії чорних дір Стивен Хокінг виклав у онлайн-доступі препринт статті з досить незвичною назвою «Збереження інформації та прогноз погоди для чорних дір»², в якій пропонує відмовитися від основного поняття цієї теорії, так званого *горизонту подій* — невидимої межі, яка, як вважають, оточує будь-яку чорну діру і через яку ніщо, ані матерія, ані енергія, навіть інформація, не може прорватися. Замість цього він пропонує м'якший варіант *уявного горизонту* (*apparent horizon*), який лише тимчасово утримує матерію та енергію в полоні, врешті-решт звільняючи їх, хоча й у дуже спотвореному вигляді. Статтю написано за матеріалами лекції, яку С. Хокінг прочитав під час інтернет-конференції в Інституті теоретичної фізики ім. Ф. Кавлі (Каліфорнія) в серпні 2013 р.³

¹ <http://www.nature.com/news/stephen-hawking-there-are-no-black-holes-1.14583>.

² *Hawking S.W.* Information preservation and weather forecasting for black holes. — <http://arxiv.org/abs/1401.5761>.

³ http://online.kitp.ucsb.edu/online/fuzzorfire_m13/hawking/.



Чорна діра (комп'ютерна графіка)

Згідно з традиційними уявленнями, якщо щільність матерії досягає деякої критичної величини, під впливом власної гравітації вона колапсує в чорну діру — частину простору, де гравітаційні сили настільки великі, що навіть світло не може її покинути. Чорна діра відділена від решти Всесвіту горизонтом подій — умовним бар'єром, проникним лише в один бік.

У класичній теорії відносності чорна діра не може нічого випромінювати, однак у середині 70-х років С. Хокінг показав, що квантові ефекти поблизу горизонту подій призводять до того, що діра все ж таки випромінює, причому спектр цього випромінювання є аналогічним до спектра випромінювання абсолютно чорного тіла. З погляду квантової механіки, це означає, що чорна діра втрачає інформацію про те, що вона поглинула. Цей ефект суперечить постулату про збереження інформації (у певному сенсі узагальненню закону збереження енергії) і тому дістав назву *інформаційного парадоксу* чорних дір.

Розвиваючи ідеї С. Хокінга і намагаючись розв'язати цей парадокс, фізик-теоретик Дж. Полчинські (Joseph Polchinski) з колегами в 2012 р. описали ефект так званої *вогняної стіни* (*firewall paradox*), суть якого полягає в тому, що за законами квантової механіки межа горизонту подій має бути настільки насиченою енергією, що будь-який об'єкт, який потрапляє

до неї, буде знищено. Цей результат, у свою чергу, суперечить теорії відносності, згідно з якою горизонт подій з погляду фізичних законів нічим не відрізняється від решти регіонів простору.

У своїй новій роботі С. Хокінг запропонував інший, неймовірно простий варіант. Квантова механіка і загальна теорія відносності залишаються справедливими, але у чорних дір просто немає горизонту подій. Його версія спирається на те, що квантові ефекти довкола чорної діри примушують простір-час закручуватися так, наче чіткої поверхневої межі не існує. Замість горизонту подій він пропонує поняття уявного горизонту — поверхні, яка утримує матерію та енергію, але тимчасово, надаючи їм врешті-решт можливість вирватися з поля дії чорної діри. У теорії загальної відносності ці два горизонти є ідентичними, однак насправді вони дещо відрізняються. Якщо чорна діра поглинає дедалі більше матерії, то її горизонт подій має розбухати і розростатися за межі уявного горизонту. «Відсутність горизонту подій означає, що не існує чорних дір у тому сенсі, що є такий стан, звідки світло ніколи не зможе вирватися», — пише С. Хокінг.

Учений зауважує також, що випромінювання чорної діри матиме хаотичний, у математичному сенсі, характер. Це означає, що, незважаючи на принципове збереження інформації, витягти її з випромінювання неможливо. У своїй роботі С. Хокінг порівнює завдання вилучення інформації з випромінювання чорної діри з прогнозуванням погоди на віддалене майбутнє: теоретично це можливо, але практично, з достатнім ступенем точності — не вдається. Хаотичність у цьому випадку означає таку залежність від початкових умов, що найменша неточність у їх визначенні призводить до принципово різних розв'язків задачі. «У класичній теорії з чорної діри немає виходу, однак квантова теорія дозволяє енергії та інформації вирватися за її межі», — пояснив С. Хокінг в інтерв'ю журналу Nature. Учений погоджується, що для повного з'ясування процесу потрібно створити теорію, яка б успішно поєднала гравітацію з іншими фундаменталь-

ними силами природи, над чим фізики б'ються вже майже століття. «Правильне трактування, — підсумував С. Хокінг, — залишається загадкою».

«Змальована С. Хокінгом картина виглядає правдоподібною, — коментує препринт Дон Пейдж (Don Page), фізик та експерт з чорних дір з Університету Альберта (Канада), який співпрацював із С. Хокінгом у 70-х роках. — Припущення про відсутність горизонту подій може здаватися надто радикальним, але це суто квантові умови і неоднозначність залишається навіть у тлумаченні самого простору-часу, не кажучи вже про реальність горизонту подій». І хоча Д. Пейдж поділяє нову ідею С. Хокінга, він висловлює сумнів, що одного цього факту буде достатньо, щоб подолати парадокс вогняної стіни. Навіть наявність ефемерного уявного горизонту, попереджає він, може спричинити такі самі проблеми, як і в разі горизонту подій.

На відміну від горизонту подій, уявний горизонт з часом може зникати. Д. Пейдж зазначає, що С. Хокінг підводить нас до надзвичайного сценарію, «за яким в принципі все може вийти за межі чорної діри». Щоправда, С. Хокінг не вказує у своїй статті, як саме має зникати уявний горизонт, і Д. Пейдж зробив припущення, що це може статися, коли чорна діра зменшиться до певного розміру, за якого ефекти квантової механіки та гравітації об'єднуються. У цю мить усе, що колись потрапило в чорну діру, звільниться, хоча й у дуже спотвореному стані.

Якщо С. Хокінг правий, то, можливо, у центрі чорної діри немає і сингулярності. Матерія лише тимчасово утримується в межах уявного

горизонту, який із часом зміщується всередину внаслідок тяжіння чорної діри, однак ніколи не впаде в її центр. Інформація про цю матерію збережеться, проте вона настільки зміниться, що, потрапивши назовні у вигляді променів Хокінга, не дасть жодної можливості довідатися, чим саме були колись поглинуті об'єкти. «Це буде складніше, аніж намагатися відтворити з попелу книгу, спалену дощенту», — каже Д. Пейдж.

Утім Дж. Полчинські висловлює сумніви щодо існування чорної діри без горизонту подій, оскільки певний тип жорстких флуктуацій, потрібних для його зникнення, — це надто рідкісне явище у Всесвіті. «У гравітаційній теорії Ейнштейна горизонт чорної діри не дуже відрізняється від будь-якої іншої частини космосу, — зазначає він. — Ми ніколи не побачимо флуктуацію простору-часу навколо себе: це дуже рідко трапляється на великих масштабах».

Рафаель Буссо (Raphael Bousso), фізик-теоретик з Каліфорнійського університету в Берклі, колишній студент С. Хокінга, наголошує, що ця стаття зайвий раз підкреслила, наскільки суперечливою є ідея вогняної стіни. Проте він також з обережністю ставиться до розв'язку Хокінга. «Думка про те, що у чорній дірі немає такої точки, з якої неможливо було б вирватися, певною мірою навіть радикальніша за ідею вогняної стіни і ставить перед фізиками ще більше проблем, — каже він. — Однак той факт, що ми й досі обговорюємо ці питання, хоча після публікації перших робіт С. Хокінга щодо чорних дір минуло вже 40 років, свідчить про їх величезне значення».