



**ПАРНОВСЬКИЙ
Сергій Людомирович** —
доктор фізико-математичних
наук, професор, провідний
науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії
Київського національного
університету імені Тараса
Шевченка

НОБЕЛІВСЬКИЙ КОМІТЕТ ПРОДОВЖУЄ ВІДДАВАТИ БОРГИ

Деякі думки з приводу Нобелівської премії з фізики 2020 року

Нобелівську премію з фізики у 2020 р. присуджено відомому британському фізику, математику, філософу науки Роджеру Пенроузу (Roger Penrose) за «відкриття того, що утворення чорної діри є впевненим передбаченням загальної теорії відносності», а також німецькому астрофізику Райнгарду Генцелю (Reinhard Genzel) та американському астроному Андреа Гез (Andrea Ghez) — «за відкриття надмасивного компактного об'єкта в центрі нашої Галактики».

Думка, винесена у заголовок статті, виникла у мене одразу, щойно я дізнався, кому присудили Нобелівську премію з фізики за 2020 рік. Рішення Нобелівського комітету було одночасно і очікуваним, і несподіваним. Спробую пояснити, чому я так вважаю і про які борги йдеться. Насамперед маю на увазі борги Нобелівського комітету перед фахівцями із загальної теорії відносності (ЗТВ) та астрономами. Але почну по порядку.

У тому, що Нобелівською премією відзначили відразу трьох учених, немає нічого незвичайного, у наш час це стало майже стандартом. Як відомо, за заповітом померлого в 1896 р. Альфреда Нобеля, премії його імені за досягнення в галузі фізіології та медицини, фізики, хімії, літератури, а також за видатний внесок у зміцнення миру вручаються щороку, і в кожній з цих категорій нагорода може дістатися як одній людині (найчастіше так трапляється з преміями в галузі літератури), так і двом чи трьом ученим. Якщо їх троє, то можна також половину премії віддати одному лауреату, а другу половину розділити між двома іншими. Проте не можна присудити премію відразу чотирьом науковцям.

Востаннє Нобелівську премію з фізики одному вченому присуджували в далекому вже 1992 р. Цікаво, що ним був Жорж (Георгій) Шарпак — французький фізик єврейського походження, який народився на території нинішньої України, а тоді — Польщі, в містечку Дубровиця Рівненської області. Нобелівським лауреатом він став за відкриття і розвиток детек-

торів елементарних частинок, зокрема багатодротової пропорційної камери (MWPC), яку частіше називають камерою Шарпака.

З усіх «фізичних» Нобелівських премій, присуджених у ХХІ ст., тільки шість разів її отримали двоє вчених, у решті випадків лауреатів було троє. Причину такої тенденції пояснити легко. На момент смерті Альфреда Нобеля засновану ним премію було забезпечено без перебільшення величезною грошовою винагородою, особливо для рівня статків учених. І хоча з роками сума премії зростала, зараз це не такі вже й великі гроші. Сьогодні гольфіст чи тенісист, здобувши перемогу у великому турнірі, може заробити й більшу суму, а професійний боксер отримує її лише за участь у бою, навіть якщо він його програє. Куди важливішими в Нобелівській премії є слава і повага, що супроводжують лауреатів цієї найціннішої і найпрестижнішої наукової нагороди. Ось Нобелівський комітет і користується своїм правом роздавати цю славу.

Отже, розібравшись з кількістю лауреатів, подивимося, за що саме англійцю серу Роджеру Пенроузу дали половину Нобелівської премії з формулюванням: «за відкриття того, що утворення чорної діри є впевненим (або «надійним», «строгим» — в англійському тексті вжито слово *robust*, яке можна перекладати по-різному) передбаченням загальної теорії відносності». І тут криються цілих дві несподіванки.

Перша полягає в тому, що премія пов'язана із загальною теорією відносності. Всі знають, що цю теорію розробив Альберт Ейнштейн, але, можливо, не всім відомо, що Нобелівську премію за це він не отримав. Нобелівським лауреатом А. Ейнштейн став у 1921 р. «за заслуги перед теоретичною фізикою й особливо за відкриття закону фотоелектричного ефекту». При цьому всі розуміли, що хоча квантування світла, а саме це мається на увазі в офіційному формулюванні Нобелівського комітету, і важливе, загальна теорія відносності все ж набагато більш вагоме досягнення. Дійсно, на основі передбаченого Ейнштейном вимушеного випромінювання працюють лазери, які увійшли

в наше повсякденне життя, але ЗТВ — це одна з вершин теоретичної фізики. Тому всім було ясно, що премію Альберту Ейнштейну присудили саме за загальну теорію відносності, попри те, що формально вказали інше досягнення, адже їх у Ейнштейна вистачало. Колись у журналі Європейського фізичного товариства було надруковано статтю, в якій докладно розповідалося, хто з членів Нобелівського комітету «пробив» цю премію і як нелегко йому було це зробити.

У чому ж причина такого «небажання» Нобелівського комітету? Річ у тім, що тоді Нобелівські премії давали не за теоретичні досягнення, а за щось конкретне, що можна було «помацати руками» і в чому не було жодних сумнівів. Наприклад, премію за попередній, 1920, рік було присуджено Шарлю Гійому з формулюванням: «як визнання його заслуг перед точними вимірами у фізиці — відкриття аномалій у нікелевих сталевих сплавах». Сплави — вони ось, лежать на столі, тоді як на користь справедливості загальної теорії відносності на початку 1920-х років було ще дуже мало аргументів, і навіть ті, які були, не можна було вважати незаперечними доказами. З іншого боку, з'явилися рекордні за точністю на той час вимірювання, пов'язані з фотоелектом. От і вирішили премію все ж дати, але за фотоелект.

Минали роки. У загальній теорії відносності з'явилися розв'язки, які описують чорні діри, виникнення Всесвіту, утворення елементів у перші хвилини його існування та багато іншого, але жодне з цих досягнень не було удостоєно Нобелівської премії, хоча загальна теорія відносності витримувала все нові й нові перевірки з точністю, яка постійно збільшувалася.

Першою Нобелівською премією, хоч якось пов'язаною із загальною теорією відносності, стала премія за 1978 р., половину якої присудили Арно Аллану Пензіасу і Роберту Вудро Вільсону «за відкриття мікрохвильового реліктового випромінювання». Як бачимо, в офіційному пресрелізі Нобелівського комітету не згадано ані загальну теорію відносності, ані космологію. Премію дали за конкретне від-

криття двом інженерам-практикам і нікому з теоретиків, які передбачили існування цього самого реліктового випромінювання. Щоправда, головний кандидат на цю роль — уродженець Одеси Георгій Гамов — на той час уже помер, а Нобелівську премію не дають посмертно, однак можна було включити когось з інших космологів, що займаються цією проблемою.

Так, зрештою, і сталося, коли в 2019 р. половину Нобелівської премії отримав відомий теоретик Джеймс Піблс з формулюванням «за теоретичні відкриття у фізичній космології», що стосувалося, зокрема, і реліктового випромінювання. Тобто борги космологам Нобелівський комітет почав віддавати ще минулого року. Чому ж тоді Георгій Гамов за життя не отримав Нобелівську премію, на яку він безсумнівно заслуговував? Ще в 1933 р. він з дружиною втекли з СРСР, ставши неперенесеними, а сваритися з Радянським Союзом у післявоєнні роки Нобелівський комітет не мав бажання. Крім того, експериментального підтвердження теорії не було до самого відкриття реліктового випромінювання.

Однак продовжимо вивчати список Нобелівських премій з фізики, шукаючи в ньому номінації, пов'язані із загальною теорією відносності. У 1993 р. премію було присуджено з формулюванням: «за відкриття нового типу пульсарів, що відкрило нові можливості у вивченні гравітації». Тут уперше згадано гравітацію, але не загальну теорію відносності, та й премію дали не за теоретичні дослідження, а за відкриття пульсарів. Проте це дуже вагомий аргумент на користь існування гравітаційних хвиль і справедливості формул загальної теорії відносності, що їх передбачила.

У ХХІ ст. ситуація кардинально змінилася. У 2006 р. Нобелівський комітет присудив премію «за відкриття анізотропії і чорнотільної структури енергетичного спектра космічного фонового випромінювання». Це інша назва того самого реліктового випромінювання, і знову премію дали за спостереження, а загальну теорію відносності не згадали.

Офіційне формулювання премії за 2011 р. — «за відкриття прискореного розширення Все-

світу за допомогою спостережень далеких наднових». Це відкриття безпосередньо пов'язане з космологією і загальною теорією відносності, хоча ці слова знову не прозвучали.

Премію 2017 р. присуджено «за вирішальний внесок у розроблення детектора LIGO та спостереження гравітаційних хвиль». Однак, як і в попередні роки, нагорода стосується експериментів та спостережень, пов'язаних з об'єктами та явищами, які пояснює загальна теорія відносності. Про премію 2019 р. Джеймсу Піблсу я вже згадував вище.

І ось нарешті цього року премію присудили з формулюванням, яке я повторю ще раз: «за відкриття того, що утворення чорної діри є впевненим передбаченням загальної теорії відносності». У цих словах багато незвичайного. Передусім уперше названо загальну теорію відносності, а також чорні діри. І це при тому, що існування самих чорних дір доведено ще не на сто відсотків. Швидше за все вони існують, але раніше подібний рівень аргументів на користь існування будь-чого для Нобелівського комітету вважався недостатнім. Крім того, премію вперше дали за чисту теорію. Минулорічна премія теоретика Джеймса Піблса все ж таки була пов'язана не лише з теорією, а й з обробкою спостережень.

Після такого довгого вступу я переходжу до того, за що ж саме Роджера Пенроуза було удостоєно Нобелівської премії з фізики. Спочатку слід сказати кілька слів про чорні діри. Загалом про них можна розповідати довго і багато, навіть на популярному рівні, але я просто процитую один фрагмент з книги «Як влаштовано Всесвіт. Вступ до сучасної космології»*: «Чорна діра — це об'єкт, густина якого є настільки високою, що кривина простору-часу та припливні сили в її центрі стають нескінченно великими. Така ситуація називається просторово-часовою сингулярністю, спрощено — просто сингулярністю. Ця сингулярність оточена горизонтом подій, який є певним аналогом «поверхні»

* Парновський С., Парновський О. *Як влаштовано Всесвіт. Вступ до сучасної космології*. Львів: Вид-во Старого лева, 2019.



Рис. 1. Фотографія ділянки неба з чорними дірами, зроблена американським рентгенівським супутником «Чандра»

чорної діри. Будь-яке тіло, зокрема світло, що проходить крізь горизонт подій, не може вийти назовні і мусить рухатися в напрямку до центральної сингулярності. <...> Відстань від сингулярності до горизонту подій називається радіусом Шварцшильда, який є пропорційним до маси чорної діри. Він є достатньо малим: радіус Шварцшильда Сонця становить приблизно 3 км, а радіус Шварцшильда Землі — 9 мм <...>.

Упродовж тривалого часу, з отримання перших розв'язків до перших спостережень чорних дір, ставлення до них серед астрономів змінювалося від цілковитого заперечення до проголошення будь-якого незрозумілого об'єкта чорною дірою. Проблема з їх спостереженням полягає в тому, що саму чорну діру неможливо побачити, адже вона випромінює лише надзвичайно слабке квантове випромінювання Гокінга. Більш-менш прямі спостереження можливі лише у двох випадках: або це надмасивна чорна діра, і ми можемо спостерігати орбітальний рух довоколишніх зірок навколо неї (так було відкрито чорну діру Стрілець А* в центрі нашої Галактики), або ця чорна діра є компонентом подвійної зоряної системи, і ми можемо спо-

стерігати випромінювання матерії, що падає на неї (так званий акреційний диск)».

Додам, що астрономи знайшли на небі багато об'єктів, які скоріш за все є чорними дірами. Так, на фото, зробленому американською космічною рентгенівською обсерваторією «Чандра» (рис. 1), можна побачити безліч таких об'єктів. Для отримання цього зображення знадобилося понад 7 мільйонів секунд експозиції, адже на знімку є дуже далекі і слабкі джерела рентгенівського випромінювання. Концентрація чорних дір на ньому величезна: на ділянці неба, яку займає повний Місяць, помістилося б близько 5000 чорних дір.

До речі, у згаданій вище книзі окремих і досить великий розділ присвячено властивостям чорних дір, ефектам поблизу них, опису падіння матеріального об'єкта на діру тощо. І це тільки основні відомості про ці об'єкти. Не буду тут вдаватися в подробиці, хоча ці поки що загадкові об'єкти, без сумніву, заслуговують на ближче знайомство, проте відзначу дві найважливіші деталі. По-перше, чорні діри описуються точними розв'язками рівнянь загальної теорії відносності, виведених А. Ейнштейном більш як століття тому. Ці розв'язки отримали різні науковці, такі як Карл Шварцшильд, Рой Керр, Ганс Райснер, Гуннар Нордстрьом, Езра Ньюмен. По-друге, в космосі є багато масивних компактних об'єктів, які за всіма ознаками можуть бути чорними дірами. Їх знайшли та досліджили астрономи у різних країнах світу.

Тепер детальніше про внесок Роджера Пенроуза. Я пишу цю статтю наступного дня після оголошення нобелівських лауреатів з фізики і мав можливість прочитати, що пишуть про це в різних ЗМІ. Практично ніхто з тих, хто торкався цієї теми, так і не спромігся чітко сформулювати, що саме зробив Р. Пенроуз, бо не він знайшов розв'язки, не він виявив їх фізичний зміст. Це зробили його попередники. Деякі засоби масової інформації натякають або прямо пишуть, що він довів, що чорні діри утворюються при колапсі зір. Колапс — це стискання матерії до купи, своєрідний «вибух навпаки», коли речовина летить до центра і якась її частина може утворити чорну діру. Таке час від

часу трапляється при спалахах наднових зір. На жаль, це твердження (що саме Р. Пенроуз довів, що чорні діри утворюються при колапсі) також невірне. Роджер Пенроуз не вивчав деталі колапсу зорі, але він зробив дещо більш загальне.

Р. Пенроуз займався математичними аспектами загальної теорії відносності і довів, що всередині горизонту будь-якої чорної діри завжди має бути сингулярність. Теорему про це він оприлюднив ще у 1965 р. Тоді фізики вивчили поведінку простору-часу зовні та всередині горизонту (або горизонтів, бо їх може бути декілька) чорних дір, яка описується одним із відомих розв'язків загальної теорії відносності, і у всіх випадках виявили там сингулярність. Але ніщо не заважає припустити, що в інших розв'язках її може не бути. Роджер Пенроуз спростував таку можливість. Сингулярність є невід'ємною ознакою кожної чорної діри.

Практично одночасно подібну теорему довів Стівен Гокінг. Тільки за його висновками сингулярність мала існувати не всередині діри, а в минулому або майбутньому будь-якого Всесвіту.

Зрозуміло, що внесок Роджера Пенроуза у загальну теорію відносності не обмежується лише цією теоремою, він зробив багато чого іншого, але Нобелівську премію здобув саме за це. З інших його результатів та припущень хочу згадати гіпотезу, яка дістала назву «принцип космічної цензури Пенроуза». Серед точних розв'язків загальної теорії відносності є такі, що описують об'єкти, ще більш загадкові, ніж чорні діри. Вони звуться голими сингулярностями, оскільки мають сингулярність, але не мають горизонту подій, що її оточує.

Наведу ще одну цитату з книги «Як влаштувано Всесвіт. Вступ до сучасної космології»: «Гола сингулярність є своєрідним краєм світу, оскільки ми можемо наблизитися до неї як завгодно близько та повернутися, якщо не згадувати про припливні сили, які намагатимуться роздерти нас на шматки. Це також означає, що будь-що — НЛО чи космічні мацальця циклопічних пропорцій — можуть так само вилізти

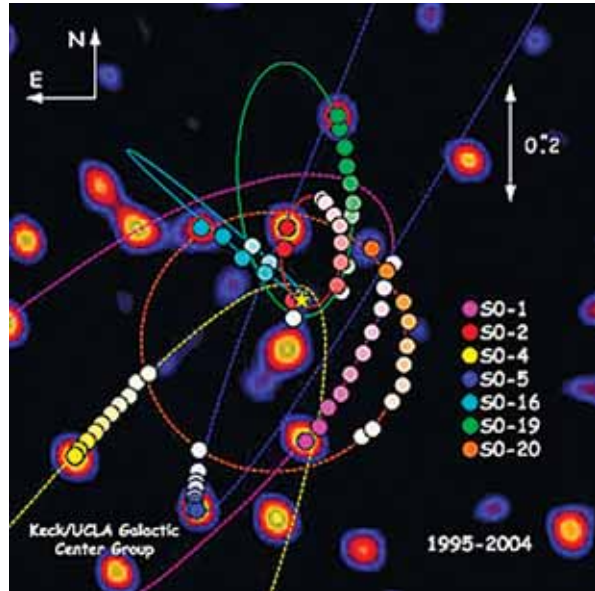


Рис. 2. Орбіти зір, що обертаються навколо надмасивного компактного об'єкта Стрілець A^* з періодом порядку десяти років

звідти. На щастя для нас, припливні сили пошматують будь-яких прибульців, так що звідти виходитимуть насамперед фотони та інші елементарні частинки. Звідки вони беруться, якщо взагалі беруться? Ніхто не знає. Романтично кажучи, голі сингулярності є дверми, чи принаймні кватиркою, між нашим світом і якимось іншим, тобто вони є двобічними порталами в інший світ, на відміну від однібічних чорних дір або кротячих нір.

Існування хоча б однієї голої сингулярності становить фундаментальну проблему для сучасної фізики. По-перше, ми не впевнені, що відомі нам закони фізики працюють в їхньому okolí. По-друге, енергія та інформація, що передаються з голих сингулярностей, можуть впливати на еволюцію нашого Всесвіту, що унеможливує прогнозування його майбутнього. Для уникнення цієї проблеми Р. Пенроуз запропонував так званий принцип «космічної цензури», згідно з яким, кожна сингулярність, що утворилася під час колапсу, має бути щільно прикрита горизонтом подій».

Однак повернемося до боргу, який нібито сплачує Нобелівський комітет. Це своєрід-



Рис. 3. Зображення надмасивної чорної діри в галактиці Мессьє 87

ний борг перед фахівцями із загальної теорії відносності, які не отримували премій майже сторіччя, а саму ЗТВ не згадували в офіційних формулюваннях. Борг перед тими самими чорними дірами, про які науковці багато чого вже дізналися. У певному сенсі можна говорити і про борг перед Стівеном Гокінгом, який безперечно заслуговував на Нобелівську премію не менше, ніж Роджер Пенроуз, але так і не отримав її.

Тепер настав час згадати і про другу половину цьогогорічної Нобелівської премії з фізики. І тут також можна вести мову про борг, але вже перед астрономами. У своєму заповіті Альфред Нобель подбав про те, щоб премію не давали за роботи з математики та астрономії. Є поширена легенда про причини такого рішення, хоча шведські математики і наполягають на її хибності. Як би там не було, впродовж століття астрономи залишалися без Нобелівських премій (за винятком згаданої раніше премії за відкриття нового виду пульсарів, пов'язаної з гравітаційними хвилями). Відкриття квазарів, звичайних пульсарів, магнетарів, нейтронних зір та іншої «екзотики» не розтопило лід у серцях членів Нобелівського комітету, які поважали і неухильно виконували волю засновника премії.

Однак, чим далі розвивалася наука, тим тоншою ставала грань між фізикою та астрономією. Скажіть, до якої з цих галузей слід від-

носити астрофізиків або космологів? А в останнє десятиліття почав активно розвиватися напрям, який пов'язує астрономію з фізикою полів і фізикою елементарних частинок. Англійською він називається *astroparticle physics*, а у нас з легкої руки Андрія Сахарова — космомікрофізикою. І досягнення астрофізики, космології та космомікрофізики вже не можна було ігнорувати. Саме за них і було присуджено згадані мною премії. А минулого року справа дійшла вже до чистої астрономії. Частину Нобелівської премії з фізики 2019 р. дали за розроблення деяких методів дослідження екзопланет, тобто планет в інших зоряних системах.

Цьогоріч також відзначили астрономів. Половину премії розділили між двома дослідниками — Райнгардом Генцелем з Німеччини та Андреа Гез зі Сполучених Штатів Америки з формулюванням: «за відкриття надмасивного компактного об'єкта в центрі нашої Галактики». Цей об'єкт зветься Стрілець A*, або Sagittarius A*. Скоріш за все, це надмасивна чорна діра з масою 4,15 мільйона мас Сонця, розташована справді в центрі Молочного (або Чумацького) Шляху, де світло швидко поглинається газом і пилом. Тому спостереження слід проводити в інфрачервоному або радіодіапазоні. Відповідне випромінювання з центра Галактики було виявлено давно, але групи, в які входили лауреати, змогли виявити зорі, що обертаються за еліптичними орбітами на-

вколо центрального компактного масивного об'єкта (рис. 2), і впродовж десятиліть вивчали їх рух. Аналізуючи параметри орбіти та період обертання, вони встановили масу об'єкта Sagittarius A*.

Подібні та набагато масивніші об'єкти є в центрах багатьох галактик. Нещодавно група астрономів досліджувала два з них — Стрілець A* та надмасивну чорну діру в галактиці Мессьє 87 (Messier 87). Зображення останньої (рис. 3) засоби масової інформації поширили як «фото чорної діри», хоча це зовсім не фото, а результат опрацювання даних з радіотелес-

копів, об'єднаних в єдину мережу як частини величезного радіоінтерферометра.

Втім, важлива не назва, а те, що зображення є додатковим аргументом на користь того, що в галактиці Мессьє 87 є надмасивна чорна діра, а не, припустимо, гола сингулярність.

Однак, що б то не було, цей космічний об'єкт неможливо описати без загальної теорії відносності та досліджувати без використання астрономічних методів. А коли чорна діра, особливо надмасивна, пропонує кандидатів на чергову премію, Нобелівський комітет схильний дослухатися до цих натяків.

БІОГРАФІЇ ЛАУРЕАТІВ



Сер Роджер Пенроуз
Sir Roger Penrose

Роджер Пенроуз народився 8 серпня 1931 р. в англійському місті Колчестер у графстві Ессекс. Його батько, Лайонел Пенроуз, був відомим генетиком, психіатром, чий внесок у розвиток математичної генетики і генетичного аналізу багатьох спадкових захворювань, зокрема синдрому Дауна, відзначено премією Ласкера (1960). Мати, Маргарет Літс, також мала медичну освіту і працювала лікарем. Цікаво, що в одному з інтерв'ю Роджер Пенроуз згадав, що його бабка по материнській лінії, Сара Натансон, у 1880-х роках переїхала в Англію з Санкт-Петербурга. Вона була піаністкою, походила з єврейської родини, але розірвала зв'язки з родичами після знайомства з майбутнім чоловіком — британським фізіологом, одним з перших біохіміків Джоном Бересфордом Літсом.

Шкільні роки Роджера пройшли в Канаді, де наприкінці 1930-х — на початку 1940-х років працював його батько. Там юнак під впливом батька та свого шкіль-

ного вчителя серйозно захопився математикою і після повернення до Великої Британії блискуче закінчив Університетський коледж Лондона, здобувши там ступінь бакалавра.

У 1956–1957 рр. Р. Пенроуз був асистентом лектора в Бедфорд-коледжі в Лондоні, потім науковим співробітником у коледжі Святого Іоанна в Кембриджі. Згодом він перейшов до Кембриджського університету, де в 1958 р. захистив дисертацію, присвячену застосуванню тензорних методів в алгебраїчній геометрії. Потім отримав стипендію НАТО на дослідження і в 1959–1961 рр. працював у США, спочатку в Принстоні, а потім у Сіракузькому університеті (штат Нью-Йорк). Повернувшись до Лондона, з 1961 по 1963 р. обіймав посаду дослідника в Королівському коледжі в Лондоні, а потім ще на рік поїхав до США як запрошений ад'юнкт-професор у Техаському університеті в Остіні.

У 1964 р. Р. Пенроуз перейшов у коледж Беркбека в Лондоні, де спочатку був лектором, а за два роки став професором прикладної математики. У 1973 р. обійняв посаду професора математики в Оксфордському університеті і працював на ній до 1998 р., після чого й донині залишається почесним професором. У 1998–2001 рр. був професором геометрії у Грешемському коледжі в Лондоні.

Одного разу, ще під час навчання в Кембриджі, Р. Пенроуз відвідав виставку відомого художника-графіка Мауріца Ешера і, захопившись його роботами, розробив дві нині широко відомі топологічні абстракції, так звані неможливі фігури — трикутник Пенроуза і нескінченні сходи Пенроуза. Разом з батьком вони опублікували їх опис у журналі з психології, а копію статті надіслали Ешеру. Ці зображення надихнули майстра оптичних ілюзій на створення знаменитих літографій «Водоспад» і «Сходження та спуск».

У Кембриджському університеті Роджер Пенроуз близько зійшовся з молодим космологом Деннісом

Шіамою. Це знайомство без перебільшення стало для нього доленосним, оскільки часті розмови з Д. Шіамою змістили інтерес Р. Пенроуза від чистої математики до астрофізики. Річ у тім, що вже в перших космологічних моделях на основі загальної теорії відносності для окремих ідеально впорядкованих об'єктів з'являлася сингулярність, тобто ситуація, коли коефіцієнти в метриці простору-часу стають нескінченними. Однак їх вважали ідеалізованими об'єктами, які навряд чи могли б існувати в реальності. Роджер Пенроуз застосував для вирішення цієї проблеми нові на той час підходи, зокрема топологічні інструменти, і показав, що сингулярність виникає в результаті гравітаційного колапсу масивних об'єктів незалежно від симетрії, тобто вона є загальною ситуацією, а не просто властивістю якогось конкретного розв'язку. У 1965 р. в журналі *Physical Review Letters* вийшла його стаття «Гравітаційний колапс і просторово-часові сингулярності» (*Gravitational Collapse and Space-Time Singularities*), яка стала класичною і вважається однією з найважливіших фундаментальних робіт, що вплинули на подальше дослідження проблеми сингулярності в загальній теорії відносності, вивчення чорних дір та розвиток астрофізики.

Наступні кілька років Роджер Пенроуз тісно співпрацював зі Стівеном Гокінгом — мабуть, найвідомішим учнем Д. Шіамою. Результатом їхньої роботи стали теореми Пенроуза–Гокінга в загальній теорії відносності, які намагаються дати відповідь на запитання, як саме гравітація породжує сингулярності.

У 1969 р. Р. Пенроуз сформулював принцип так званої слабкої космічної цензури, який полягає в тому, що властивості Всесвіту не допускають спостереження голої сингулярності. Десять років потому він запропонував гіпотезу сильної космічної цензури.

У 1967 р. Р. Пенроуз розробив теорію твісторів, у 1971 р. винайшов спінові мережі (*spin network*) які широко використовують для опису геометрії простору-часу в петльовій квантовій гравітації, в 1974 р. запропонував відому мозаїку Пенроуза, що дозволяє за допомогою всього двох видів плиток досить простої форми замостити нескінченну площину неперіодичним самоподібним візерунком. У 1984 р. такі структури було знайдено в розміщенні атомів у квазікристалах (Нобелівська премія з хімії 2011 р). У 1990-х роках спільно зі Стюартом Гамероффом (*Stuart Hameroff*) Р. Пенроуз розробив теорію квантового нейрокомп'ютингу, в якій активність мозку розглядається як переважно квантовий процес.

Як і Стівен Гокінг, Роджер Пенроуз став відомим широкому загалу завдяки своїм науково-популярним книжкам. Якщо С. Гокінга у засобах масової інформації прославила книга «Коротка історія часу» (1988), то Р. Пенроуза — «Новий розум імператора» (1989),

в якій він стверджує, що відомі нам закони фізики не можуть пояснити феномен свідомості. Ці ідеї він розвинув надалі в книзі «Тіні розуму. У пошуках науки про свідомість» (1994). У співавторстві зі С. Гокінгом вийшли книги «Природа простору і часу» (1996) та «Велике, мале і людський розум» (1997). У книзі «Шлях до реальності» (2004) Р. Пенроуз виклав свої погляди на фізичні закони Всесвіту.

Роджер Пенроуз є почесним професором багатьох зарубіжних університетів і академій. У 1994 р. за видатні заслуги в розвитку науки королева Великої Британії присвоїла йому лицарський титул. Його наукові здобутки відзначено численними нагородами:

- премія Денні Хайнемана в галузі математичної фізики від Американського фізичного товариства та Американського інституту фізики (1971);
- медаль Еддінгтона Британського королівського астрономічного товариства (спільно зі Стівеном Гокінгом, 1975);
- Королівська медаль Лондонського королівського товариства (1985);
- премія Вольфа з фізики (1988);
- медаль Дірака від британського Інституту фізики (1988);
- медаль Альберта Ейнштейна (1990);
- медаль Гельмгольца (1998);
- медаль Карла Шварцшильда (2000);
- орден Співдружності «За заслуги» (2000);
- медаль де Моргана Лондонського математичного товариства (2004);
- медаль Коплі (2008).



Райнгард Генцель
Reinhard Genzel

Райнгард Генцель народився 24 березня 1952 р. у німецькому місті Бад-Гомбург, розташованому в землі Гессен, у родині професора фізики твердого тіла Людвіга Генцеля та Єви-Марії Генцель.

Після закінчення гімназії у Фрайбурзі Райнгард вивчав фізику в Рейнському університеті Фрідріха

Вільгельма в Бонні, де в 1978 р. захистив дисертацію з фізики. Того самого року в Інституті радіоастрономії Макса Планка він захистив ще одну PhD-дисертацію з радіоастрономії. Потім переїхав до США: спочатку працював у Гарвардсько-Смітсонівському центрі астрофізики в Кембриджі (штат Массачусетс), а потім у Каліфорнійському університеті в Берклі (штат Каліфорнія) в групі під керівництвом відомого фізика, лауреата Нобелівської премії (1964), винахідника лазерів Чарльза Таунса. Згодом став професором кафедри фізики в Берклі.

У 1986 р. Р. Генцель повернувся до Німеччини, оскільки прийняв запрошення очолити Інститут позаземної фізики Макса Планка в Гархінзі поблизу Мюнхена. З 1988 р. як почесний професор читає лекції в університеті Людвіга–Максиміліана в Мюнхені. З 1999 р. за сумісництвом обіймає посаду повного професора в Каліфорнійському університеті в Берклі.

Райнгард Генцель — відомий у світі фахівець з субміліметрової та інфрачервоної астрономії, а також у галузі галактичної астрофізики. Крім керівництва проектами свого Інституту, він зробив значний внесок у розроблення розміщеної на телескопах і космічних платформах апаратури для спостережень у цих ділянках електромагнітного спектра, зокрема на Дуже Великому Телескопі (Very Large Telescope), розташованому в Чилі, на Інфрачервоній космічній обсерваторії (ISO), а також на космічній обсерваторії Гершель. У середині 1990-х років його група використовувала ці інструменти для відстеження руху зір у центрі Чумацького Шляху, навколо Стрільця A* і показала, що зорі обертаються навколо дуже масивного об'єкта, який зараз відомий як чорна діра. Р. Генцель також бере активну участь у дослідженнях, пов'язаних з вивченням процесів формування та еволюції галактик.

Райнгард Генцель є членом багатьох академій і наукових товариств, зокрема Американського фізичного товариства, Французької академії наук, Національної академії наук США, Академії Леопольдіна, Європейської академії, Баварської академії наук, Лондонського королівського товариства. Його наукові здобутки відзначено численними нагородами:

- премія Ньютона Лейсі Пірса Американського астрономічного товариства для молодих науковців (1986);
- премія Лейбніца Німецького науково-дослідного товариства DFG (1990);
- премія Жуля Жансена Французького астрономічного товариства (2000);
- премія Бальцана (2003);
- медаль Штерна–Герлаха Німецького фізичного товариства DPG (2003);
- медаль Альберта Ейнштейна швейцарського Товариства Альберта Ейнштейна (2007);

- премія Шао (2008);
- медаль Отто Гана (2008);
- медаль Карла Шварцшильда Німецького астрономічного товариства (2011);
- премія Крафорда Шведської королівської академії наук (2012);
- премія Тіхо Браге Європейського астрономічного товариства (2012);
- орден «Pour le Mérite» Федерального президента Німеччини (2013);
- премія Гарві Техніону (Ізраїль) (2014);
- медаль Гершеля Британського королівського астрономічного товариства (2014);
- великий хрест ордену «За заслуги перед Федеративною Республікою Німеччина» (2014).



Андреа Міа Гез
Andrea Mia Ghez

Андреа Гез народилася 16 червня 1965 р. в Нью-Йорку (США). Її батько, Гілберт Гез, походив з єврейської родини, яка емігрувала в Сполучені Штати з Європи. Мати, Сюзанна Гайтон, була з ірландської католицької родини зі штату Массачусетс. У ранньому дитинстві її сім'я переїхала до Чикаго, де Андреа відвідувала Лабораторну школу при Чиказькому університеті. Посадка на Місяць космічної місії «Аполлон» дала їй дитячу мрію стати першою жінкою-астронавтом. У коледжі вона спочатку спеціалізувалася з математики, але згодом перейшла на фізику.

У 1987 р. Андреа Гез здобула ступінь бакалавра з фізики в Массачусетському технологічному інституті, а в 1992 р. в Каліфорнійському технологічному інституті захистила дисертацію під керівництвом відомого астронома, одного із засновників напрямку інфрачервоної астрономії Джеррі Нойгебауера (Jerry Neugebauer). Нині Андреа Гез — професор кафедри фізики та астрономії Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі.

У 1998 р. в Обсерваторії Кека, розташованій на Гаваях, група астрофізиків під керівництвом Андреа Гез розпочала дослідження кінематики зірок поблизу центру Чумацького Шляху для визначення меж надмасивного об'єкта, відомого як Стрілець А*. Андреа Гез проводила спостереження незалежно від групи Райнгарда Генцеля, яка працювала на Європейській південній обсерваторії (ESO) Ла-Сілья в Чилі, і також отримала незаперечні докази давно висловленого припущення про наявність у центрі нашої галактики надмасивної чорної діри та максимально точну на сьогодні оцінку її маси.

У 2004 р. Андреа Гез було обрано членом Національної академії наук США. У 2000 р. вона увійшла до двадцятки найперспективніших молодих учених США за версією журналу «Discover».

Внесок Андреа Гез у розвиток астрономії відзначено багатьма нагородами:

- премія Енні Кеннон — єдина жіноча нагорода в астрономії, яка щороку присуджується Американським астрономічним товариством (1994);
- стипендія Паккарда (1996);
- премія Ньютона Лейсі Пірса Американського астрономічного товариства для молодих науковців (1998);
- премія Марії Гепперт-Маєр Американського фізичного товариства (1999);
- премія Секлера Тель-Авівського університету (2004);
- стипендія МакАртура (2008);
- премія Краффорда Шведської королівської академії наук (2012).

Serge L. Parnovsky

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1855-1404>

Astronomical observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv

THE NOBEL COMMITTEE CONTINUES TO PAY ITS DEBTS

Some thoughts on the Nobel Prize in Physics for 2020

The Nobel Prize in Physics in 2020 was awarded to the famous British physicist, mathematician, philosopher of science Roger Penrose “for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity” as well as German astrophysicist Reinhard Genzel and American astronomer Andrea Ghez “for the discovery of a supermassive compact object at the center of our galaxy.”

Keywords: Nobel Prize in Physics, Roger Penrose, Reinhard Genzel, Andrea Ghez, black hole, general theory of relativity.