

### *Wpływ nieekstensywnych entropii na czarne dziury i hologafię.*

Dwa największe odkrycia ostatniej dekady to odkrycie czarnej dziury w centrum Naszej Galaktyki oraz odkrycie fal grawitacyjnych emitowanych podczas zderzenia czarnych dziur w odległym Wszechświecie. Oba te odkrycia potwierdziły, że czarne dziury są rzeczywistymi obiektami, pomimo faktu, że posiadają bardzo osobliwą właściwość, jaką jest horyzont zdarzeń - kulista powierzchnia otaczająca czarną dziurę, z której nawet światło nie może uciec, gdy raz już zostanie uwięzione. Te i inne teoretyczne właściwości czarnych dziur były badane wiele lat przed ich odkryciem, prowadząc również do nagrody Nobla w dziedzinie fizyki przyznanej dla Sir Rogera Penrose'a w 2020 r. Formalnie czarna dziura posiada osobliwość w swoim centrum, która charakteryzuje się nieskończoną gęstością. Ciekawe jest to, że bez względu na to, co w nią wpada i jakie są tego właściwości fizyczne w końcowym stadium ewolucji, czarną dziurę charakteryzuje jedynie masa, rotacja i ładunek elektryczny. W tym sensie traci się całą informację o spadających przedmiotach.

Jednak niektórzy fizycy zauważyli, że czarne dziury mają właściwości analogiczne do układów wymieniających ciepło. Takie układy w fizyce standardowej podlegają termodynamice, w której pojawiają się pojęcia ciepła i temperatury. Okazało się, iż można sformułować prawa termodynamiki dla czarnych dziur w pełnej analogii do zwykłych układów znanych nam w życiu codziennym, takich jak silniki samochodowe. Bardzo ważną cechą takich układów jest entropia, która mierzy stopień nieuporządkowania układu. Im większa entropia, tym mniejszy jest porządek w układzie (mniej informacji o układzie w analogii do naszych nieuporządkowanych plików na biurku) i zgodnie z drugą zasadą termodynamiki uporządkowanie zawsze maleje w procesach naturalnych (np. rozbita szklanka nigdy spontanicznie się nie skleja) bez dodatkowej pracy. Było wielkim odkryciem Jakoba Bekensteina, że entropia czarnej dziury może być powiązana z obszarem jej horyzontu, który ma tę właściwość, że nigdy nie zmniejsza się spontanicznie, czyli dokładnie tak, jak ma się to w przypadku układów naturalnych. W termodynamice istnieje pojęcie równowagi termicznej, które określa temperaturę. Jak udowodnił Stephen Hawking, który wziął pod uwagę efekty kwantowe, czarne dziury mogą mieć niezerową temperaturę, która jest odwrotnie proporcjonalna do ich mas. Dzięki czemu mogą one wypromieniowywać ciepło do otoczenia - nazywa się to temperaturą Hawkinga.

Według Bekensteina i Hawkinga, czarne dziury oddziałują ze środowiskiem, co powoduje ich parowanie w wyniku emisji promieniowania Hawkinga. W rzeczywistości entropia Bekensteina dąży do zera, a temperatura Hawkinga wzrasta do nieskończoności, gdy masa czarnej dziury zbliża się do zera podczas procesu parowania Hawkinga, co oznacza, że czarna dziura całkowicie wyparowuje z powodu emisji promieniowania Hawkinga. Jest to tzw. paradoksu utraty informacji.

Z drugiej strony, cały Wszechświat można potraktować jako rodzaj czarnej dziury z horyzontem zajmującym pewien sferyczny obszar i przypisać entropię do takiego obszaru. Wynika to z faktu, że sygnał z odległych obiektów nie może podróżować szybciej niż światło, a więc obserwator na Ziemi nie może zaobserwować sygnałów dalej niż z powierzchni kuli o pewnym promieniu znanym promieniem Hubble'a. Ten kosmologiczny horyzont może mieć określony wpływ na ogólną ewolucję Wszechświata, która ma z z kolei niewyjaśnioną własność znaną jako ciemna energia, która sprawia, że ewolucja Wszechświata przyspiesza.

Głównym celem projektu będzie badanie kilku nowych propozycji uogólnienia entropii Bekensteina, które mają specyficzną właściwość termodynamiczną znaną jako nieaddytywność, co oznacza, że składowe entropie dwóch różnych układów nie sumują się w prosty sposób. Te nowe entropie to entropie Renyi, Tsallisa i Barrowa. Wszystkie z nich zmieniają właściwości termodynamiczne czarnej dziury lub Wszechświata. W szczególności mogą zmienić ewolucję promieniowania Hawkinga czarnej dziury, pozostawiając relikw, w którym nadal zachowana jest pewna informacja. Od strony kosmologicznej mogą one mieć właściwości dające lepszą zgodność z danymi astronomicznymi niż obecnie uznawany model ewolucji Wszechświata znany jako model  $\Lambda$ CDM (Lambda zimna ciemna materia). Wśród wielu wątków badań należy wspomnieć, iż nieaddytywne entropie będą również badane w powiązaniu z niektórymi efektami kwantowej grawitacji, które są związane z fenomenologicznymi uogólnieniami zasady nieoznaczoności Heisenberga w mechanice kwantowej: Uogólnioną Zasadą Nieoznaczoności (GUP) i Rozszerzoną Zasadą Nieoznaczoności (EUP).