

# 45 Ciemna materia

**Pomysł, że ponad 80% materii we Wszechświecie jest nie tylko ciemna, ale po prostu w ogóle nie wchodzi w interakcję ze światłem, jest jednym z najbardziej zastanawiających aspektów współczesnej kosmologii. Dowody na istnienie ciemnej materii są przytłaczające, ale informacje o jej rzeczywistym składzie pozostają frustrująco nieuchwytnie.**

W 1933 roku, niedługo po potwierdzeniu istnienia galaktyk poza Drogą Mleczną i początkowym rozpoznaniu gromad galaktyk jako struktur fizycznych (patrz s. 192), Fritz Zwicky podjął pierwszą dokładną próbę oszacowania masy galaktyk. Zbadał on różne metody, z których najbardziej intrygującą była technika matematyczna znana jako twierdzenie o wirale – sposób szacowania masy galaktyk w gromadzie na podstawie ich ruchu i położenia. Kiedy Zwicky zastosował to twierdzenie do znanej Gromady Coma, stwierdził, że jej galaktyki zachowują się tak, jakby miały 400-krotnie większą masę od masy sugerowanej przez ich światło widzialne. Przypisał tę różnicę tak zwanej *dunkle Materie*, czyli ciemnej materii.

Pomysł Zwicky'ego wiązał się z odkryciami Jana Oorta, który był zajęty pomiarami rotacji Drogi Mlecznej (patrz s. 168). Oort odkrył, że gdy prędkość obiektów krążących wokół centrum naszej Galaktyki spada wraz z odległością (podobnie jak bardziej odległe planety naszego własnego Układu Słonecznego wolniej krążą wokół Słońca), nie zwalniają one tak bardzo, jak można by się spodziewać, gdyby rozkład masy Drogi Mlecznej odpowiadał rozkładowi masy jej gwiazd. Oort zasugerował więc, że w rejonie halo Drogi Mlecznej, poza widocznymi ramionami spiralnymi, znajduje się duża ilość niewidocznej materii.

**Stosunek ciemnej do jasnej materii w galaktyce spiralnej to około dziesięciu. To prawdopodobnie dobra liczba jak na stosunek naszej ignorancji do wiedzy.**

Vera Rubin

Pomimo tych wczesnych badań, badania ciemnej materii były zakłócane przez kilkadziesiąt lat przez postępy w innych dziedzinach astronomii. Odkrycie ogromnych obłoków gazu międzygwiazdowego widocznych w falach radiowych – z których wiele zostało zmapowanych przez samego Oorta – zdawało się zgrabnie rozwiązywać problem. Galaktyki, co zostało udowodnione z całą pewnością, zawierają znacznie więcej materii, niż sugeruje samo światło widzialne. Kiedy od lat 50. XX wieku teleskopy umieszczone w rakietach i satelitach otworzyły się na jeszcze więcej niewidzialnego widma, odkryto więcej tej materii, od chmur pyłu podczerwonego pomiędzy gwiazdami do gorącego gazu rentgenowskiego otaczającego gromady galaktyk (patrz s. 193).

**Odkrywanie na nowo ciemnej materii** Problem ten był więc zaniedbywany aż do 1975 roku, kiedy to amerykańska astronom Vera Rubin opublikowała wyniki swoich żmudnych badań nad problemem rotacji galaktycznej. Stwierdziła ona, że po uwzględnieniu wszystkich gazów i pyłów międzygwiazdowych, orbity gwiazd nadal nie zachowywały się tak, jak powinny. Liczby Zwicky'ego były znacznie zawyżone, ale galaktyki zachowywały się tak, jakby ważyły około sześć razy więcej niż widoczna w nich materia.

Twierdzenia Rubin były, co jest zrozumiałe, kontrowersyjne, ale jej praca była skrupulatna, a gdy została potwierdzona niezależnie w 1978 roku, większość astronomów zwróciła uwagę już nie na to, czy istnieje ciemna materia, ale do czego może być zdolna i jak można ją badać.

Większość prób wyjaśnienia ciemnej materii dzieli się na dwie kategorie: albo jest to spowodowane dużą ilością zwykłej materii, której po prostu nie widzimy, ponieważ ledwo emituje promieniowanie

## LINIA CZASU

**1932**

Oort zarysowuje problemy z rotacją gwiazd wokół Drogi Mlecznej, które sugerują brakującą masę

**1933**

Zwicky wykorzystuje twierdzenie o wirale do ważenia Gromady Coma i odkrywa duże ilości ciemnej materii

**1975**

Rubin publikuje dowody na ciemną materię ze szczegółowych badań rotacji galaktycznej

(tzw. barionowa ciemna materia), albo jest to spowodowane jakąś nową i egzotyczną formą materii (niebarionowa ciemna materia). W latach 80. XX wieku badacze wymyślili chwytliwe akronimy dla dwóch najbardziej prawdopodobnych kandydatów – barionowych MACHO i niebarionowych WIMP-ów.

MACHO (*massive compact halo object* – masywne, zwarte obiekty halo) to małe, ale gęste skupiska normalnej materii, które orbitują w halo galaktyk. Mogą to być hipotetyczne zbłąkane planety, czarne dziury, martwe gwiazdy neutronowe i schłodzone białe karły. Takie obiekty mogły być w dużej mierze niewykryte przez starsze teleskopy i mogły stanowić dużą ilość masy. Jednak udoskonalenie technologii teleskopów i pomysłowe nowe techniki pozwoliły na intensywne badania galaktycznego regionu halo w latach 90. XX wieku. Podczas gdy niektóre zbłąkane obiekty zostały wykryte, naukowcy doszli do wniosku, że po prostu nie istnieją one w ilościach potrzebnych do tego, by wnieść znaczący wkład w ciemną materię.

**Poszukiwanie WIMP-ów** Po pozbyciu się problemu MACHO, astronomowie i kosmolodzy pozostają z niepokojącą ideą egzotycznych

## CIEMNA MATERIA A WIELKI WYBUCH

Inna ważna grupa dowodów – w tym sama teoria Wielkiego Wybuchu – wskazuje na istnienie niebarionowej ciemnej materii. Model nukleosyntezy Wielkiego Wybuchu tworzenia pierwiastków nie tylko zgrabnie przewiduje proporcje barionowej materii widzianej we wczesnym Wszechświecie (nie pozostawiając miejsca na MACHO), ale także potrzebna jest jakaś forma cząstek WIMP, aby wyjaśnić powstawanie struktury we Wszechświecie. Niewielkie zmiany w mikrofalowym promieniowaniu tła (patrz s. 218) sugerują, że skupiska materii i masy zaczęły się tworzyć już we wczesnym Wszechświecie, na długo przed tym jak stał się on przezroczysty. Wzajemne oddziaływania ze światłem spowodowałyby powstanie ciśnienia promieniowania, które uniemożliwiłoby łączenie materii barionowej aż do momentu oczyszczenia początkowej kuli ognia (patrz s. 204). Na szczęście ciemna materia była już w stanie zacząć budować szkielet, wokół którego później formowały się supergromady.

**1998**

Japońscy naukowcy potwierdzają, że neutrino mają masę, stanowiącą niewielki ułamek ciemnej materii

**2003**

Richard Massey i inni używają soczewek grawitacyjnych do pomiaru rozkładu ciemnej materii w tzw. Gromadzie Pocisk (Bullet)

## UDZIAŁ NEUTRINA

Właściwości hipotetycznych WIMP-ów bardzo dobrze odpowiadają właściwościom neutrin, pozornie pozbawionych masy cząstek emitowanych podczas pewnych reakcji jądrowych, które astronomowie wykorzystują do badania wnętrza gwiazd i jako wczesne ostrzeżenie przed powstającymi supernowymi (patrz s. 150). Neutrino najlepiej obserwować za pomocą detektorów głęboko pod ziemią, działających na bazie rzadkich oddziaływań między neutrinami a materią barionową, które dają wymierne rezultaty, takie jak słaby błysk światła. W 1998 roku naukowcy z japońskiego obserwatorium neutrin Super-Kamiokande wykorzystali tę technikę do zidentyfikowania zjawiska zwanego oscylacją, w którym neutrino różniące się między sobą trzema różnymi „zapachami” mogą zmieniać swój rodzaj. Zgodnie z fizyką cząstek elementarnych, może się to zdarzyć tylko wtedy, gdy neutrino rzeczywiście przenoszą niewielką ilość masy, choć jest to prawdopodobnie mniej niż 1 miliardowa część masy atomu wodoru.

WIMP-ów<sup>3</sup> – materii „duchów”, która jakoś istnieje w połączeniu z codzienną materią barionową, ale rzadko wchodzi z nią w oddziaływania. Cząstki WIMP nie pochłaniają, nie rozpraszają i nie emitują światła, a mogą przechodzić przez atomy normalnej materii tak, jakby ich nie było. Jedynym sposobem na ich „zobaczenie” jest wpływ ich grawitacji na inne obiekty.

Ważnym pierwszym krokiem do zrozumienia WIMP jest pomiar ich rozkładu w stosunku do materii normalnej: czy są one „zimne” i kręcą się w pobliżu obiektów świetlnych, czy „gorące”, odlatujące na duże odległości i utrzymujące tylko najluźniejsze połączenie z widzialnym Wszechświatem? Od lat 90. ubiegłego wieku astronomowie opracowują nową technikę ważenia, a nawet mapowania ciemnej materii z wykorzystaniem soczewkowania grawitacyjnego – sposobu, w jaki duże skupiska masy, takie jak gromady

galaktyk, zakrzywiają przestrzeń i zniekształcają światło z bardziej odległych obiektów (konsekwencja ogólnej teorii względności, patrz s. 233). Jak na ironię, Zwicky opowiadał się za stosowaniem soczewkowania grawitacyjnego do ważenia galaktyk już w 1937 roku, ponad 40 lat przed odkryciem pierwszych przykładów takich obiektów.

<sup>3</sup> WIMP, Weakly Interacting Massive Particles – słabo oddziałujące masywne cząstki (przyp. tłum.).

Porównując siłę efektów soczewkowania (zdominowanych przez ciemną materię) ze światłem z materii widzialnej, badacze odkryli, że obie mają podobne rozkłady, co sugeruje, że dominującym typem jest zimna ciemna materia. Gorąca ciemna materia, w tym neutrino (jedyna forma WIMP, która do tej pory została odkryta doświadczalnie – patrz ramka na stronie obok) ma stosunkowo niewielki udział. Jednak pomimo tych sukcesów, sama natura tajemnicy ciemnej materii sprawia, że ma ona większe szanse na rozwiązanie poprzez badania w akceleratorach cząstek, takich jak Wielki Zderzacz Hadronów, niż poprzez obserwacje teleskopowe.

## TEORIA W PIGUŁCE

*Osiemdziesiąt procent masy we Wszechświecie składa się z tajemniczej, niewidzialnej materii*