

TAJEMNICZA CIEMNA MATERIA: AKSJONY CORAZ TRUDNIEJSZE DO WYKRYCIA

The mysterious dark matter: axions becoming more and more difficult to detect

z dr hab. Adamem Kozelą z Instytutu Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego PAN rozmawia dr Małgorzata Nowina Konopka

Streszczenie: Ciemna materia stanowi relikty termiczny Wielkiego Wybuchu. Jej istnienie jest obecnie dominującym wytłumaczeniem obserwowanych anomalii w rotacji galaktyk oraz ruchu galaktyk w gromadach. Ciemnej materii poszukuje się obecnie w trzech kierunkach. Zgodnie z jedną koncepcją ciemna materia jest zwykłą materią barionową (złożoną z protonów i neutronów), takie obiekty nazywamy **MACHO**. Według drugiej to nieznanne cząstki elementarne zwane **WIMP**-ami. Ważną możliwością stanowią **aksjony** – neutralne cząstki ciemnej materii, o bardzo małej masie. Intensywne badania są prowadzone zarówno jako nowe eksperymenty jak i poprzez analizę dawnych danych. Wszystkie nowe wyniki elektryzują świat fizyków.

Abstract: Dark matter is the thermal relic of the Big Bang. Its existence is currently the dominant explanation for the observed anomalies in the rotation of galaxies and the movement of galaxies in clusters. Nowadays, dark matter is being sought in three directions. According to one concept, dark matter is ordinary baryon matter (composed of protons and neutrons), such objects are called MACHO. According to the second, these are unknown elementary particles called WIMPs. An important possibility are the axions - neutral particles of dark matter, with a very low mass. Intensive research is conducted as new experiments and analysis of old data. All new results electrify the world of physicists.

Słowa kluczowe: Wielki Wybuch, Model Standardowy, ruchy gwiazd, ciemna materia: aksjony.

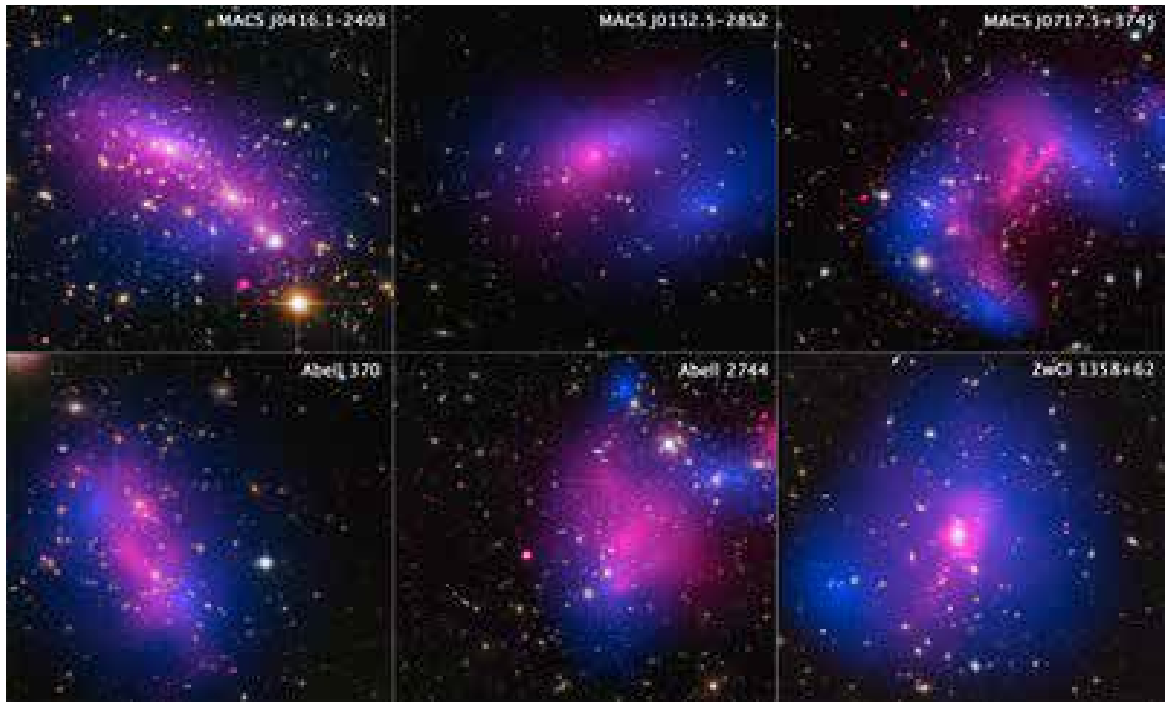
Keywords: Big Bang, Standard Model, star movements, dark matter: axions.

MNK: – Z oszacowań wynika, co jest niesamowite, że ciemna materia stanowi aż 25% składników całego Wszechświata czyli masy/energii oraz ponad 80% oddziałującej grawitacyjnie masy. **Ciemna materia** (ang. dark matter) – hipotetyczna **materia** nie świeci, czyli nie emituje i nie odbija promieniowania elektromagnetycznego. Jej istnienie zdradzają jedynie wywierane przez nią efekty grawitacyjne. Jak zauważono istnienie ciemnej materii?

Dr hab. Adam Kozela: – Na pierwsze ślady ciemnej materii natrafiono podczas analiz ruchów gwiazd w galaktykach i galaktyk w gromadach galaktyk. Pionierem statystycznych badań ruchów gwiazd był polski astronom Marian Kowalski. Już w 1859 r. zauważył on, że ruchów bliskich nam gwiazd nie da się wytłumaczyć samym ruchem Słońca. Była to pierwsza przesłanka obserwacyjna sugerująca obrót Drogi Mlecznej. Kowalski jest więc tym człowiekiem, który „ruszył z posad” galaktykę! W 1933 r. Szwajcar Fritz Zwicky poszedł o krok dalej. Kilkoma metodami przeanalizował ruchy obiektów w gromadzie galaktyk Coma. Zauważył wtedy, że poruszają się one tak, jakby w ich otoczeniu znajdowała się znacznie większa ilość materii niż dostrzegana przez astronomów.

Mimo dekad poszukiwań, do dziś nie jest znana natura ciemnej materii, której we Wszechświecie (jak sugerują pomiary mikrofalowego promieniowania tła) powinno być niemal 5,5 razy więcej niż zwykłej materii.

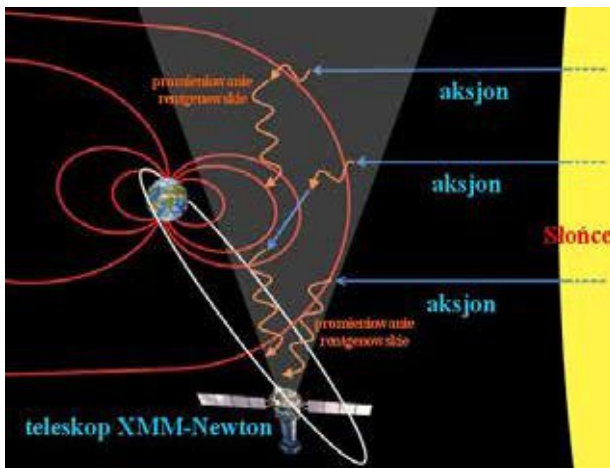
MNK: – Aby pogodzić teorię z rzeczywistością, konieczne było uzupełnienie kompletu podstawowych cegiełek materii opisanych w Modelu Standardowym o jakieś nowe, egzotyczne cząstki mogące odpowiadać za istnienie ciemnej materii. Teoretycy zaproponowali ich całą galerię. Jednymi z zasugerowanych cząstek są aksjony – hipotetyczne cząstki o małej masie, powstałe w wielkiej ilości po Wielkim Wybuchu oraz, jak sądzą fizycy ciągle wytwarzane w jądrach gwiazd w czasie reakcji termojądrowej. Założono, że aksjony, jak wszystkie inne cząstki, mogłyby oddziaływać grawitacyjnie, ale muszą być neutralne (pozbawione ładunku elektrycznego), bardzo lekkie, a ich masa musiałaby być miliony czy nawet miliardy razy mniejsza od masy elektronów. Dodatkowo mają bardzo słabo wchodzić w reakcje ze zwykłą materią. Przy takich warunkach będzie bardzo trudno je wykryć...



Fot. 1. Rozmieszczenie ciemnej materii (w kolorze niebieskim) w sześciu gromadach galaktyk, odtworzone na podstawie zdjęć z kosmicznego teleskopu Hubble'a. (Źródło: NASA, ESA, STScI, and CXC)

Photo 1. The distribution of dark matter (in blue) in six clusters of galaxies, recreated based on images from the Hubble space telescope (origin: NASA, ESA, STScI, and CXC)

AK: – Gdyby istniały, aksjony – jedne z kandydatów na cząstki zagadkowej ciemnej materii – mogłyby oddziaływać z materią tworzącą nasz świat, jednak musiałyby to robić znacznie, znacznie słabiej niż się dotychczas wydawało. Nowe, rygorystyczne ograniczenia na właściwości aksjonów narzucił międzynarodowy zespół naukowców odpowiedzialnych za eksperyment nEDM (Electric Dipole Moment of Neutron). Te ekstremalnie lekkie cząstki oddziaływałyby ze zwykłą materią niemal wyłącznie grawitacyjnie.



Fot. 2. Najprawdopodobniej wylatujące ze Słońca aksjony (niebieskie linie) uderzają w ziemskie pole magnetyczne (czerwone linie) i zamieniają się w promieniowanie Roentgena (pomarańczowe linie)

Photo 2. Most probably, the axions that fall out of the Sun (blue lines) hit the Earth's magnetic field (red lines) and turn into X-rays (orange lines)

MNK: – Co przyniosły najnowsze wyniki badań?

AK: – Do zaskakujących wniosków doprowadziła najnowsza analiza pomiarów właściwości elektrycznych ultrazimnych neutronów, opublikowana w czasopiśmie naukowym „Physical Review X”. Na podstawie danych zebranych w eksperymencie nEDM międzynarodowa grupa fizyków wykazała, że aksjony, hipotetyczne cząstki mogące tworzyć zimną ciemną materię, gdyby istniały, musiałyby spełniać znacznie bardziej rygorystyczne niż dotychczas sądzono ograniczenia dotyczące ich masy i sposobów oddziaływania ze zwykłą materią. Zaprezentowane wyniki są pierwszymi danymi laboratoryjnymi narzucającymi limity na potencjalne oddziaływania aksjonów z nukleonami (czyli protonami bądź neutronami) i gluonami (cząstkami spajającymi kwarki w nukleonach).

MNK: – Czy w tym eksperymencie uczestniczyli Polacy?

AK: – Między innymi krakowscy naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) i Uniwersytetu Jagiellońskiego. Pomiar elektrycznego momentu dipolowego neutronów są prowadzone przez naszą międzynarodową grupę od dobrych kilkunastu lat. Przez większość tego czasu nikt z nas nie przypuszczał, że w zgromadzonych danych mogłyby się kryć jakiegokolwiek ślady związane z potencjalnymi cząstkami ciemnej materii. Dopiero niedawno teoretycy zasugerowali taką możliwość – a my skwapliwie skorzystaliśmy z okazji do zweryfikowania hipotez o właściwościach aksjonów”.

MNK: – Na czym polegały eksperymenty?

AK: – Dotychczasowe modele przewidywały, że w pewnych sytuacjach foton mógłby się zamienić w aksjon, a ten po pewnym czasie przekształcałby się z powrotem w foton. To hipotetyczne zjawisko było i jest podstawą słynnych eksperymentów „świecenia przez ścianę”. W ich trakcie naukowcy kierują intensywną wiązkę światła laserowego na grubą przeszkodę licząc, że przynajmniej niektóre fotony zmienią się w aksjony, które przeniknęłyby przez ścianę bez większych problemów. Po przejściu przez ścianę niektóre aksjony mogłyby z powrotem stać się fotonami o cechach dokładnie takich jak fotony pierwotnie padające na ścianę.

Eksperymenty związane z pomiarem elektrycznego momentu dipolowego neutronów, prowadzone przez grupę naukowców z Australii, Belgii, Francji, Niemiec, Polski, Szwajcarii i Wielkiej Brytanii, nie mają nic wspólnego z fotonami. Aparatura pomiarowa początkowo znajdowała się w Instytucie Lauego-Langevina (ILL) w Grenoble (Francja), obecnie funkcjonuje w Laboratorium Fizyki Cząstek w Instytucie Paula Scherera (PSI) w Villigen (Szwajcaria). W prowadzonych od kilkunastu lat eksperymentach naukowcy mierzą względne zmiany częstotliwości magnetycznego rezonansu jądrowego (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) neutronów oraz atomów rtęci znajdujących się w komorze próżniowej, w obecności równoległych pól elektrycznego, magnetycznego i grawitacyjnego. Pomiar dla różnych konfiguracji pola elektrycznego i magnetycznego pozwalają wyciągać wnioski o częstościach precesji neutronów i atomów rtęci, a w konsekwencji – o ich dipolowych momentach elektrycznych.

Ku zaskoczeniu wielu fizyków, w ostatnich latach pojawiły się prace teoretyczne przewidujące możliwość dodatkowego oddziaływania aksjonów: z gluonami i nukleonami. W zależności od masy aksjonów, oddziaływania te mogłyby skutkować mniejszymi lub większymi zaburzeniami o charakterze oscylacji dipo-

lowych momentów elektrycznych neutronów. Przewidywania teoretyków oznaczały, że eksperymenty prowadzone w ramach współpracy nEDM mogą zawierać wartościowe informacje dotyczące istnienia i właściwości potencjalnych cząstek ciemnej materii.

MNK: – Jaka była rola polskich fizyków w eksperymentach PSI?

AK: – W danych z eksperymentów w PSI nasi koledzy prowadzący analizę szukali zmian częstotliwości o okresach rzędu minut, a w wynikach z ILL – rzędu dni. Te ostatnie pojawiłyby się, gdyby istniał wiatr aksjonów, czyli gdyby aksjony w przestrzeni wokółziemskiej poruszały się w określonym kierunku. Skoro bowiem Ziemia wiruje, nasz sprzęt pomiarowy o różnych porach dnia zmieniałby swoją orientację względem wiatru aksjonów, a to powinno skutkować cyklicznymi, dobowymi zmianami w rejestrowanych przez nas oscylacjach. Główną rolę w przeprowadzeniu analizy odegrali Michał Rawlik doktorant z UJ, obecnie na ETH Zurich oraz Nicholas Ayres z Sussex.

MNK: – Czy znaleziono jakieś ślady aksjonów?

AK: – Wyniki poszukiwań okazały się negatywne: nie natrafiono na żaden ślad istnienia aksjonów o masach między 10^{-24} a 10^{-17} elektronowolta (dla porównania: masa elektronu wynosi ponad pół miliona elektronowoltów). Dodatkowo naukowcom udało się 40-krotnie zostrzyć ograniczenia narzucane przez teorię na oddziaływanie aksjonów z nukleonami. W przypadku potencjalnych oddziaływań z gluonami obostrzenia wzrosły jeszcze bardziej, ponad tysiąc razy. Jeśli więc aksjony istnieją, w obecnych modelach teoretycznych mają coraz mniej miejsc, w których mogłyby się skrywać.

wywiad z dr hab. Adamem Kozelą przeprowadziła dr Małgorzata Nowina Konopka, Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN, Kraków

IV Warszawska Konferencja Onkologiczna

7 marca br. w warszawskim Centrum Onkologii – Instytucie im. Marii Skłodowskiej-Curie odbyła się IV Warszawska Konferencja Onkologiczna, w której uczestniczyli przedstawiciele Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie. Organizatorami było Polskie Towarzystwo Onkologiczne, Centrum Onkologii-Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie, przy wsparciu Fundacji im. Jakuba hr. Potockiego. Przewodniczący Komitetu Naukowego:

- **prof. dr hab. n. med. Jacek Fijuth,**
- **dr hab. n. med. Paweł Wiechno, prof. nadzw.**

Konferencja podzielona została na trzy sesje, z których w pierwszą można określić jako bardziej historyczną; znalazły się tu wystąpienia na temat cza-

sopisma „Nowotwory” z okazji jego 95-lecia istnienia, Krajowego Rejestru Nowotworów z okazji 65-lecia istnienia, spojrzenie na 25 lat badań i praktyki klinicznej w zakresie gastroenterologii, wykład z okazji 120 lat od odkrycia radu — Maria Skłodowska-Curie i jej dziedzictwo. Początki, rozwój i perspektywy radioterapii.

W sesji tej zaprezentowano także osiągnięcia naukowe i wyzwania stojące przed Instytutem Onkologii w roku 2018. Kolejne sesje poświęcono już ściśle tematyce medycznej i onkologicznej.

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak, prezes Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, Warszawa