



Kraków, 6 sierpnia 2026

Dwie dekady obserwacji blazara, zagadek coraz więcej

Z jąder aktywnych galaktyk, odległych o miliardy lat świetlnych, mogą być ku Ziemi emitowane wąskie strugi świecącej materii. Galaktyka wygląda wówczas jak obiekt punktowy i jest nazywana blazarem. Polsko-niemiecki zespół naukowców po raz pierwszy przeanalizował aktywność jednego z blazarów w długim przedziale czasowym i... zamiast wyjaśnień pojawiły się coraz ciekawsze pytania.

Odległe, aktywne galaktyki, emitujące pod małymi kątami ku Ziemi strugi materii – czyli blazary – przysparzają astronomom wielu problemów obserwacyjnych i interpretacyjnych. Ich ogromna odległość i specyficzna orientacja w połączeniu z dużą zmiennością emitowanego promieniowania, na dodatek generowanego w bardzo szerokim zakresie energii, to główne przyczyny, z których powodu zrozumienie zjawisk odpowiedzialnych za właściwości blazarów jest szczególnie trudne. Czy obecne interpretacje natury tych obiektów, bazujące na krótkotrwałych i dość sporadycznych obserwacjach, są poprawne? Na to pytanie postanowiła odpowiedzieć grupa naukowców z Uniwersytetu w Heidelbergu i Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Badania po stronie polskiej, sfinansowane z grantu Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej, koncentrowały się wokół odległego o półtora miliarda lat świetlnych blazara PKS 2155-304. Znajduje się on na południowej półkuli nieba, w tle gwiazdozbioru Ryby Południowej.

W obrębie obserwowalnego Wszechświata odkryto już setki miliardów galaktyk. Część z nich okazała się wytwarzać wielkie ilości promieniowania elektromagnetycznego, prawdopodobnie wskutek gwałtownych procesów zachodzących podczas opadania materii na centralną, supermasywną czarną dziurę. Aktywność niektórych takich galaktyk przybiera szczególnie spektakularną formę: z okolic biegunów czarnej dziury wybiegają dżety, czyli wąskie strugi zjonizowanej, świecącej materii, rozciągające się niekiedy nawet na dziesiątki milionów lat świetlnych. Galaktyki aktywne o dżetach skierowanych ku Ziemi astronomowie nazywają blazarami. Blazary generują promieniowanie w bardzo szerokim zakresie energii, od fal radiowych przez część optyczną i ultrafioletową po promieniowanie rentgenowskie i gamma.

„Zmienność blazarów jest ich charakterystyczną, od dawna znaną cechą. Blazary potrafią emitować promieniowanie nie tylko w różny sposób podczas różnych obserwacji, ale nawet w ramach tej samej obserwacji, kiedy to w jednych zakresach energii zmiany mogą wyglądać inaczej niż w innych”, zauważa dr hab. Alicja Wierzholska (IFJ PAN), główna autorka długookresowych analiz obserwacji blazara PKS 2155-304.

Obserwacje blazarów są prowadzone od kilkudziesięciu lat, trudno je jednak nazwać precyzyjnym monitoringiem. W przypadku tak zmiennych obiektów należałoby używać wielu instrumentów zdolnych rejestrować promieniowanie elektromagnetyczne w praktycznie całym zakresie energetycznym i najlepiej w sposób ciągły przynajmniej dla wybranych obiektów. Tymczasem takich obserwatoriów na razie po prostu nie ma. Realia wyglądają więc tak, że poszczególne blazary zazwyczaj są obserwowane co parę miesięcy bądź lat, w ramach kampanii trwających nie więcej niż kilka-kilkanaście dni, a zebrane dane dotyczą ich aktywności tylko w wąskich przedziałach energii promieniowania rejestrowanych przez konkretny instrument.

Obecną analizą objęto pomiary ze znacznie dłuższego przedziału czasu – niemal dwóch dekad. Komplementarne pod względem zakresów energii dane pochodziły z amerykańskich obserwatoriów satelitarnych Neil Gehrels Swift Observatory (w zakresie optycznym, ultrafioletowym i rentgenowskim) oraz Fermi Gamma-ray Space Telescope (w zakresie promieniowania gamma).

„Podstawowy wniosek płynący z naszych analiz to spostrzeżenie, że obecnie najpopularniejsze modele teoretyczne, zakładające emisję promieniowania w obrębie jednej strefy dżetu przez jedną populację elektronów, potrafią opisywać zmienność naszego blazara tylko w małych przedziałach czasowych. Jednak w tym obiekcie najwyraźniej dzieje się coś bardziej skomplikowanego, czego krótkie kampanie obserwacyjne nie są w stanie uchwycić”, mówi dr Wiercholska.

Przykład? Intuicja podpowiada, że gdyby źródłem emisji w zakresach optycznym i rentgenowskim była ta sama populacja elektronów, zmiany w jednej części widma powinny być skorelowane ze zmianami w drugiej, być może z jakimś niewielkim przesunięciem czasowym. Tymczasem w analizowanych danych nie udało się uchwycić żadnej długookresowej korelacji między zdarzeniami w różnych zakresach promieniowania.

Gdy blazary gwałtownie jaśnieją w zakresie rentgenowskim, zwykle sprawdza się zasada, że wzrost jasności jest wyraźniejszy w bardziej energetycznej części widma. Innymi słowy, w trakcie rozbłysku obserwuje się więcej fotonów twardego promieniowania X w stosunku do tego, co widzimy przy niskiej aktywności blazara. W przypadku PKS 2155-304 takiego zachowania nie zaobserwowano przez 20 lat obserwacji. Korelacja taka jest widoczna w przypadku krótszych okresów obserwacji, ale ma odmienny charakter (krzywe obrazujące zmiany rozkładu mają różne współczynniki nachylenia). Fakt ten sugeruje, że za przebieg każdego rozbłysku blazara PKS 2155-304 muszą odpowiadać nieco inne mechanizmy fizyczne.

Nie był to koniec niespodzianek. Wykresy przedstawiające pełne spektrum energetyczne blazarów mają ciekawą cechę: widać na nich dwie „górkę” rozdzielone łukowatym zagłębieniem. Za maksimum niskoenergetyczne wydają się odpowiadać elektrony i emitowane przez nie promieniowanie synchrotronowe, natomiast w przypadku maksimum wysokoenergetycznego jednoznacznego wyjaśnienia nie ma. Może być to efekt zderzeń elektronów z fotonami o niskich energiach, skutkujący wzrostem energii fotonów (czyli odwrotne rozpraszanie comptonowskie), ale nie można wykluczyć, że jest to pochodna zjawisk z udziałem hadronów, czyli takich zlepeków kwarków jak protony bądź neutrony. Jednak w przypadku dwóch obserwacji z 2012 roku w widmie blazara PKS 2155-304 pojawiło się coś szczególnie dziwnego: dodatkowe, statystycznie znaczące przegięcie.

„Obecność nowego przegięcia w widmie blazara mówi nam, że w trakcie dwóch obserwacji musiał działać jakiś dodatkowy mechanizm fizyczny – i to w czasie, gdy nie było żadnego rozbłysku! Z różnych rozważań teoretycznych można wyciągnąć wniosek, że mechanizm ten najprawdopodobniej miał charakter hadronowy. To niezwykle ciekawe, ponieważ teoretycy coraz częściej przekonują, że w takich sytuacjach możliwa jest produkcja neutrin”, wyjaśnia dr Wiercholska.

Neutrino to cząstki o bardzo małych masach, licznie wypełniające Wszechświat. Ich obecność trudno jednak zauważyć, ponieważ bardzo słabo oddziałują ze zwykłą materią. W ziemskim środowisku obserwuje się neutrino produkowane podczas rozpadów promieniotwórczych we wnętrzu Ziemi, docierające ze Słońca oraz wysokoenergetyczne neutrino nadlatujące z głębi kosmosu. Pochodzenie tych ostatnich nie jest dla astrofizyków w pełni jasne. Istnieją przesłanki teoretyczne jak i obserwacyjne – w szczególności wykrycie neutrin nadlatujących z kierunku blazara TXS 0506+056 podczas silnego rozbłysku tego źródła – że to właśnie blazary mogą odpowiadać za emisję kosmicznych neutrin.

Część obliczeniową opisywanych badań zrealizowano dzięki Akademickiemu Centrum Komputerowemu Cyfronet AGH.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię

KONTAKT:

PUBLIKACJE NAUKOWE:

POWIAZANE STRONY WWW:

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ260806b_fot01s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/08/06/IFJ260806b_fot01.jpg
 Artystyczna wizja blazara – aktywnej galaktyki emitującej strugi promieniowania i materii w kierunku Ziemi. (Źródło: NASA/JPL-Caltech)