

Czy ciemna materia świeci?

Poruszany dzisiaj temat jest jak najbardziej aktualny, choć informacja ta mogła ukazać się w *Delcie* prawie dwa lata temu. Wiadomo od dawna, że świetnym kandydatem na ciemną materię są neutralina, hipotetyczne najlżejsze cząstki supersymetryczne. Kolejna analiza to potwierdzająca [1] nie wzbudziła mojej czujności. I to był błąd.

Ale po kolei. Supersymetria jest teorią, która może uzupełnić nasz detaliczny opis materii zebrany w standardowym modelu cząstek i oddziaływań fundamentalnych. Postuluje podwojenie liczby znanych cząstek. Każdemu fermionowi (o połówkowym spinie) miałyby odpowiadać bozon (o spinie całkowitym) i na odwrót. Gdyby supersymetria była nienaruszoną własnością materii, to masy partnera i superpartnera musiałyby być takie same. Ponieważ tego nie obserwujemy, to supersymetria musi być ukryta (żargonowo: złamana), a fakt ten objawia się dodatkową masą superpartnerów.

Na pierwszy rzut oka nie widać, po co komu taka teoria. Na drugi zresztą też nie, bo wprowadza ona dodatkowe sto kilkadziesiąt parametrów. Oczywiście, z doświadczalnego punktu widzenia propozycja jest atrakcyjna, bo byłoby co mierzyć przez następne kilkadziesiąt lat. Jednak nie to jest głównym powodem zainteresowania supersymetrią, tylko możliwość włączenia grawitacji do kwantowego opisu rzeczywistości poprzez rozszerzenie symetrii czasoprzestrzeni. Droga ta jest dość pokrewna i wiedzie do superstrun, czyli do rezygnacji z pojęcia cząstki elementarnej jako obiektu punktowego. Wątek ten musimy jednak zatrzymać, bo to ma być artykuł, a nie monografia.

Dodatkowo supersymetria może zapewnić rozwiązania wielu palących problemów. W szczególności daje kandydatów na trwałe, masywne, słabo oddziałujące cząstki (ang. WIMP), które idealnie nadają się do zrobienia z nich ciemnej materii. Termodynamika wczesnego Wszechświata nakłada ograniczenia na własności takich cząstek. Istotne są dwa parametry: masa i prawdopodobieństwo anihilacji. Od nich zależy, ile takich cząstek powinno być obecnie i jaki dają przyczynek do gęstości Wszechświata. Okazuje się, że jednym z rozwiązań są cząstki o masie kilkudziesięciu mas protonu i prawdopodobieństwie anihilacji odpowiadającym oddziaływaniom słabym. Sygnaturą tego rozwiązania jest właśnie anihilacja, która powoduje zamianę dwóch takich cząstek na dwie cząstki modelu standardowego, które, rozpadając się, ostatecznie produkują protony, elektrony (i ich antycząstki) oraz fotony (pochodzące głównie z rozpadów neutralnych pionów). Właśnie te ostatnie powinny dać się zaobserwować.

Sygnалу należałoby szukać w postaci nadmiaru promieniowania gamma wysokiej energii. Taki właśnie nadmiar został odkryty w danych zebranych w latach 1991–2000 przez EGRET (Energetic Gamma Ray Emission Telescope), jeden z czterech instrumentów Compton Gamma Ray Observatory. Na pierwszym rysunku kolorowe punkty odpowiadają zmierzonemu spektrum energetycznemu promieniowania gamma, jasne cieniowanie – standardowemu modelowi, a ciemne cieniowanie – wkładowi od anihilacji WIMPów o masie $60 \text{ GeV}/c^2$. Pośrednim cieniowaniem zaznaczono różnicę wkładu od anihilacji związaną ze zmianą masy w granicach $\pm 10 \text{ GeV}/c^2$.

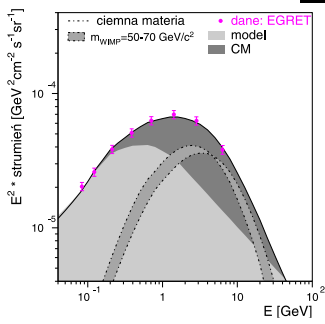
Naprawdę ciekawe jest dopiero to, co przedstawiają pozostałe cztery rysunki. EGRET wykonał dokładną mapę intensywności promieniowania gamma docierającego do Ziemi. Daje to możliwość odtworzenia przestrzennego rozkładu obserwowanej nadwyżki, ponieważ intensywność anihilacji zależy od przestrzennego rozkładu gęstości. Dopasowanie, przeprowadzone jednocześnie dla 180 kierunków w ośmiu przedziałach energetycznych, pozwoliło stwierdzić, że obserwowany nadmiar jest zgodny z rozkładem ciemnej materii, w którym oprócz spodziewanego, sferycznie-symetrycznego halo, występują: dysk o promieniu 4,2 kpc i grubości 0,2 kpc oraz toroid o promieniu 14 kpc, dyspersji promienia 3,3 kpc i grubości 1,7 kpc.

Rysunek 2 pokazuje brak dobrego dopasowania zależności intensywności od długości galaktycznej l , bez uwzględnienia dodatkowej struktury, a rysunek 3 poprawę takiego dopasowania po dopuszczeniu jej obecności. Z kolei rysunki 4 i 5 pokazują dopasowanie do krzywej rotacyjnej Naszej Galaktyki przed i po uwzględnieniu obecności dysku i toroidu. Jest to pierwsze zadowalające wyjaśnienie skokowego wzrostu powyżej promienia 11 kpc.

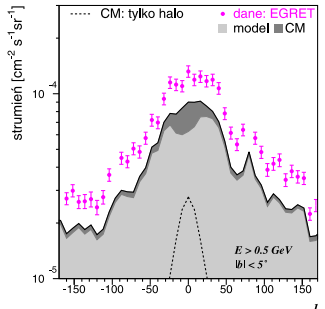
Czy w ten sposób po raz pierwszy zaobserwowaliśmy (nie całkiem) ciemną materię? Jeżeli tak, to potwierdzenie powinien przynieść uruchamiany w tym roku w CERN Wielki Zderzacz Hadronów LHC.

Piotr ZALEWSKI

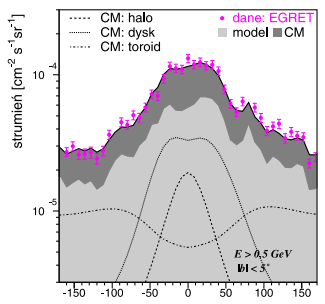
[1] W. de Boer, C. Sander, V. Zhukov, A.V. Gladyshev, D.I. Kazakov, *EGRET excess of diffuse galactic gamma rays as tracer of dark matter*, *Astronomy and Astrophysics*, **444**(2005)51-67



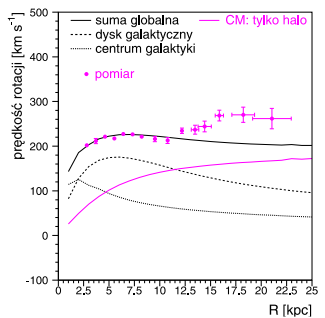
Rys. 1. Rozkład energii kosmicznego promieniowania gamma.



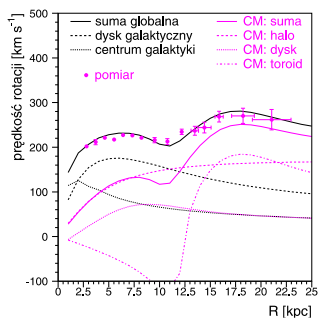
Rys. 2. Zależność intensywności od l (dopasowanie bez struktury).



Rys. 3. Zależność intensywności od l (dopasowanie ze strukturą).



Rys. 4. Kształt krzywej rotacyjnej (dopasowanie bez struktury).



Rys. 5. Kształt krzywej rotacyjnej (dopasowanie ze strukturą).