

Pamela findet Antimaterie

Die Satellitenmissionen Pamela und Fermi, und das Gammastrahlen-Teleskop H.E.S.S. in Namibia haben Signale von Antiteilchen und Gammaquanten gefunden, die im Hinblick auf Dunkle Materie im Universum untersucht werden. Derzeit sind jedoch konventionelle Erklärungsmöglichkeiten wahrscheinlicher.

Von Georg Wolschin

Elektronen und ihre Antiteilchen, die von Paul Dirac 1931 vorhergesagt und im darauffolgenden Jahr von Carl Anderson in der Höhenstrahlung entdeckten Positronen, können – wie auch Antiprotonen, die Antiteilchen der Wasserstoffkerne – in ganz unterschiedlichen astrophysikalischen Prozessen entstehen. Da unsere Galaxis im wesentlichen aus normaler Materie aufgebaut ist, erscheint insbesondere der Nachweis von Antiprotonen zunächst ungewöhnlich.

Erhebliche Aufregung haben deshalb unter Wissenschaftlern und in der interessierten Öffentlichkeit kürzlich Spekulationen ausgelöst, ein vom internationalen Satellitenexperiment Pamela (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics, Bild 1) und einem Ballonexperiment ((ATIC)) gefundener Überschuss an diesen Teilchen in der kosmischen Strahlung könne ein Hinweis auf die elusive Dunkle Materie im Universum sein, für die uns ein direkter Nachweis immer noch fehlt, die aber dennoch etwa fünfmal häufiger als normale Materie sein muss.

Das geht jedenfalls aus zahlreichen indirekten Bestimmungen wie der Messung von Galaxien-Rotationsgeschwindigkeiten als Funktion des Abstandes vom Zentrum hervor. Trotz ihrer Häufigkeit wechselwirken die Teilchen der Dunklen Materie (DM) kaum mit solchen der gewöhnlichen Materie, denn sie sind nur auf die schwache und gravitative Wechselwirkung empfindlich, nicht auf die starke und elektromagnetische, die im Bereich normaler Materie dominieren. Man nennt sie deshalb Wimps, weakly interacting massive particles.

In den meisten theoretischen Modellen für diese Teilchen wird ihre Masse im Bereich des hundert- bis tausendfachen einer Protonenmasse angesetzt. Ein besonders interessanter Kandidat ist das leichteste der vier sogenannten Neutralinos, die in einer supersymmetrischen Erweiterung des bekannten und erfolgreichen Standardmodells der Teilchenphysik erscheinen.

Drei Wege zum Dunkle-Materie-Nachweis

Es gibt drei prinzipiell unterschiedliche Wege, sie aufzuspüren. Der unmittelbarste Weg ist ihre künstliche Erzeugung in Laborexperimenten, wie das mit hochenergetischen Proton-Proton Kollisionen im Large Hadron Collider LHC des europäischen Forschungszentrums Cern in Genf versucht werden wird – mit bisher unklaren Erfolgsaussichten.

Der zweite Weg ist der direkte Nachweis der DM-Teilchen aus der kosmischen Strahlung in Untergrund-Laboratorien. Dort sollten sie in hochempfindlichen

Detektoren an Kernen gestreut werden, und aus der Messung des sehr kleinen Rückstoßes könnte man auf sie schließen. Bisher hat nur eine der zahlreichen internationalen Kollaborationen, die auf dieses Verfahren setzen, positive Resultate, die jedoch noch auf unabhängige Bestätigung durch andere Experimente warten müssen.

In diesem Beitrag dreht es sich um den dritten Weg: den möglichen Nachweis von DM-Teilchen anhand der Produkte, die bei ihrer Vernichtung mit ihren eigenen Antiteilchen im Weltraum entstehen, und die dann mit Detektoren im All wie Pamela und dem Gammastrahlen-Satellitenteleskop Fermi, oder auf der Erde mit Experimenten wie dem Cherenkov-Detektorfeld H.E.S.S. in Namibia nachgewiesen werden.

Der Erklärung des Antiteilchen-Überschusses im Zusammenhang mit Dunkler Materie liegt demnach die Hypothese zugrunde, dass er bei der Vernichtung von Teilchen aus Dunkler Materie wie den Neutralinos entsteht. Dabei können Photonen, Elektronen, Positronen, Protonen und Antiprotonen mit Energien in der Größenordnung der DM-Masse entstehen. Beweisen lässt sich das jedoch nur schwer, denn bei genügend hohen Energien werden insbesondere Antiteilchen auch in Stößen zwischen normalen Materieteilchen erzeugt, so der Teilchen der hochenergetischen kosmischen Strahlung mit interstellarer Materie. Von solchen Prozessen erwartet man eine Verteilung von Elektronen und Positronen, die mit wachsender Energie monoton abfällt und kein lokales Maximum hat.

Das Pamela-Experiment auf einem Satelliten der Europäischen Weltraumagentur Esa hat Elektronen und Positronen mit Energien im Bereich 1,5 bis hundert Milliarden Elektronenvolt (GeV) gemessen (Nature Band 458, Seite 607, 2009), sowie das Antiproton- zu Protonen Verhältnis (Physical Review Letters, Band 102, Artikel 051101, 2009). Das frühere ATIC- Ballonexperiment hatte bei zwei Flügen am Südpol den gesamten Fluss von Elektronen und Positronen im Bereich von 50 bis 700 GeV gemessen – es kann positive und negative Ladungen nicht unterscheiden – und zwischen 300 und 600 GeV ein Maximum gefunden, das bereits zu Hoffnungen Anlass gab, die aber von den jetzigen Fermi-Messungen nicht bestätigt wurden.

Pamelas Magnetspektrometer kann Elektronen und Positronen unterscheiden und deshalb den Anteil der Positronen relativ zu Elektronen plus Positronen als Funktion der Energie bestimmen, Bild 2. Man findet tatsächlich bis etwa fünf GeV den aus sekundären Erzeugungsprozessen erwarteten starken Abfall; die durchgezogene Linie ist eine theoretische Rechnung für die Sekundärprozesse, die in guter Übereinstimmung mit älteren Messungen ist. Die Abweichung der Pamela-Messpunkte von dieser Linie und den früheren Messungen bei niedrigen Energien lässt sich durch den schwankenden Einfluss der Sonnenaktivität (“solare Modulation”) auf die Sekundärprozesse recht genau erklären.

Ein rätselhafter starker Anstieg

Jenseits von fünf GeV findet Pamela jedoch den in Bild 2 sichtbaren starken Anstieg der Positronen, der mit den sekundären Erzeugungsmechanismen nicht ohne weiteres in Übereinstimmung gebracht werden kann und demnach vermutlich auf primäre

Prozesse hinweist: Beiträge von nahegelegenen astrophysikalischen Quellen wie Pulsaren, oder eben Positronen aus DM-Vernichtungsprozessen.

Pulsar-Magnetosphären sind den Astrophysikern wohlbekannt als hochwirksame Teilchenbeschleuniger. Zwar sind die genauen Details des Beschleunigungsprozesses noch nicht völlig klar, aber man vermutet, dass Elektronen in der Magnetosphäre beschleunigt werden und eine elektromagnetische Kaskade auslösen, in deren Verlauf Elektronen und Positronen erzeugt werden, die ins interstellare Medium entweichen. Das Energiespektrum dieser Teilchen ist härter als das der sekundär erzeugten, so dass sie wahrscheinlich den hochenergetischen Bereich des Positronenspektrums dominieren. Wegen der Energieverluste bei der Ausbreitung der Teilchenstrahlung können jedoch wohl nur einige relativ nahe gelegene Pulsare zum Positronen-Energiespektrum beitragen.

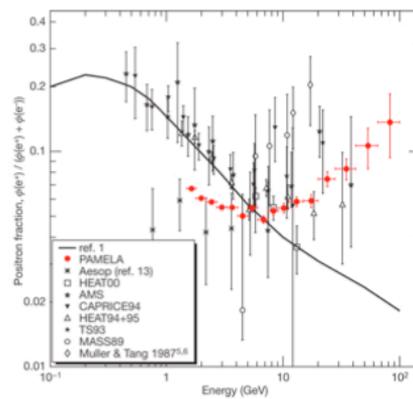
Die bisher präsentierten Daten reichen nicht aus, um zwischen astrophysikalischen Primärquellen und DM-Annihilation als Quelle der Positronen zu unterscheiden. Erst die zukünftige Messung genauer Energiespektren der primären kosmischen Strahlung – Elektronen, Protonen und schwerere Kerne – wird dies ermöglichen. Ausserdem wird Pamela mit verbesserter Statistik Daten bis zu Energien von 300 GeV nehmen, so dass die Entscheidung zwischen Pulsar- und möglichen DM-Ursachen leichter wird.

Neue und wichtige Informationen kommen ferner vom Fermi-Satelliten, der ausser Punktquellen wie Pulsaren auch das diffuse galaktische Gammaskpektrum untersucht. Pulsare sind hauptsächlich längs der galaktischen Ebene verteilt (Bild 3), während Dunkle Materie vermutlich sphärisch verteilt und im galaktischen Zentrum konzentriert ist. Das diffuse Gammaskpektrum ist auf diese unterschiedlichen Geometrien sehr empfindlich. Derzeit stehen die Chancen gut, dass die konventionelle astrophysikalische Erklärung für die Positronendaten ausreicht.



Bild 1: Der PAMELA-Satellit
(Quelle: Pamela- Kollab.)

PAMELA positron fraction with other experimental data and with secondary production model.



O Adriani *et al.* *Nature* 458, 607-609 (2009) doi:10.1038/nature07942

nature

Bild 2: Pamela-Ergebnisse für den Anteil gemessener Positronen relativ zu Elektronen plus Positronen als Funktion der Energie. Die durchgezogene Linie ist

eine Rechnung für die rein sekundäre Erzeugung von Positronen bei der Wechselwirkung kosmischer Strahlung mit interstellarer Materie.
(Quelle: O. Adriani et al., Pamela Kollab., Nature Band 458, Seite 607, 2. April 2009)

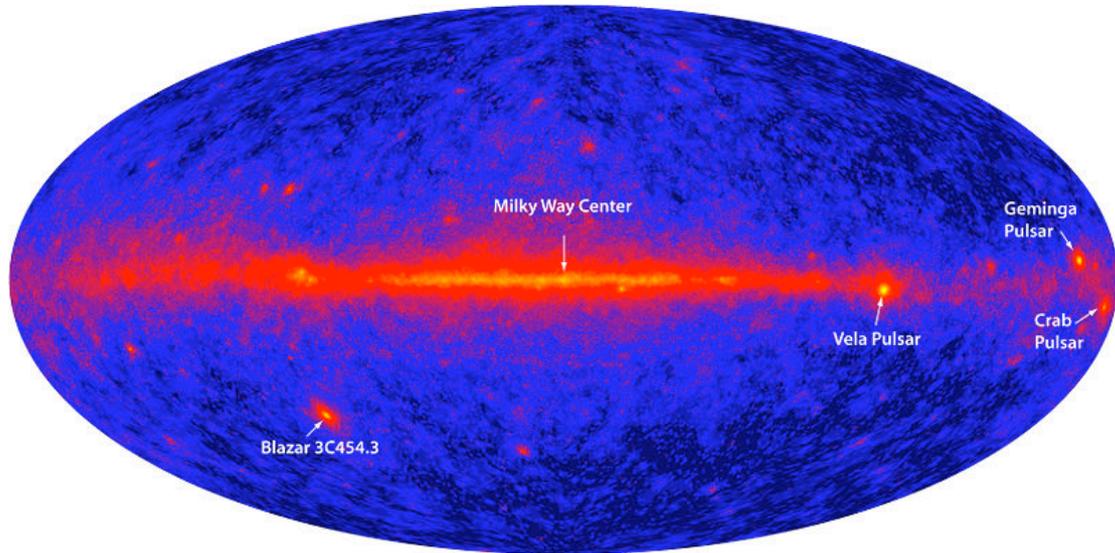


Bild 3: Vom Fermi-Satelliten aufgenommene Himmelskarte im Gammalicht, mit der Position von Pulsaren und Blazaren.
(Quelle: Fermi-Kollaboration/Nasa)

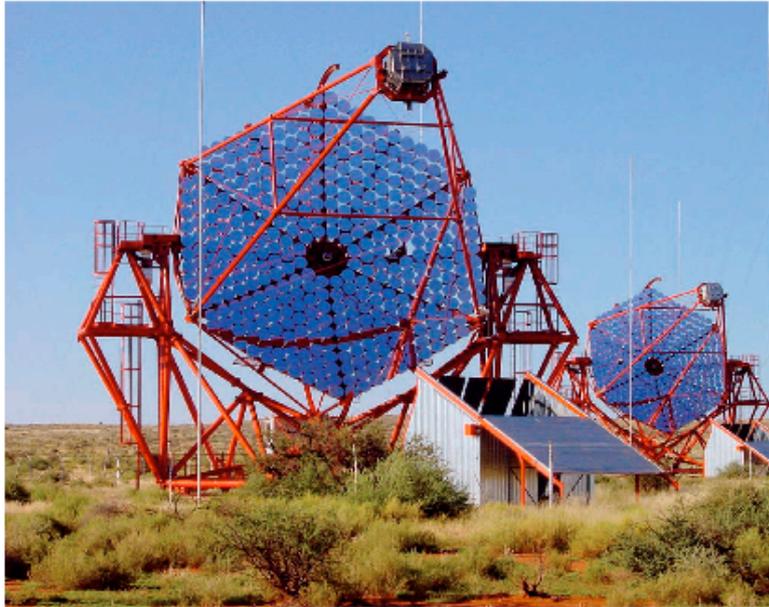


Bild 4: Cherenkov-Teleskope der H.E.S.S. Kollaboration in Namibia.

(Quelle: H.E.S.S.- Kollaboration, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg.)