ARCHIVIERT
DLR

Endlich zur richtigen Zeit am richtigen Ort

Donnerstag, 1. Dezember 2011

Kann die Existenz von Antimaterie und Dunkler Materie nachgewiesen werden? Und muss man dafür auf die ISS? Ein Interview mit Stefan Schael, deutscher Projektleiter des Alpha-Magnet-Spektrometer-Experiments.

Von Marco Trovatello

Mit dem Alpha-Magnet-Spektrometer (AMS), einem auf der Internationalen Raumstation ISS montierten sieben Tonnen schweren und vier Meter hohen Teilchendetektor, versucht ein auf den ganzen Erdball verteiltes Wissenschaftlerteam der Lösung des Rätsels um unser Universum - und damit um unsere Existenz - ein Stück näher zu kommen. Im Fokus stehen dabei Fragen rund um die mögliche Existenz von Antimaterie und Dunkler Materie. Hinter AMS steht ein Experiment, dessen Erkenntnisse bahnbrechend sein könnten. Professor Stefan Schael, Experimentalphysiker und deutscher Projektleiter von AMS, beschreibt im Gespräch nicht nur Funktionsweise, Einsatz und mögliche zukünftige Erkenntnisse, sondern auch den langen Weg zu Start und Inbetriebnahme des Spektrometers.

Herr Schael, könnten Sie zunächst in einfachen Worten das Funktionsprinzip des Alpha-Magnet-Spektrometers und das Ziel des Experiments beschreiben? Oft ist ja auch von einer Kamera für Dunkle Materie die Rede, doch um eine Kamera im eigentlichen Sinn geht es ja wohl nicht …

Allein zu dieser Frage könnte ich einen zweistündigen Vortrag halten. Ich beginne einmal mit ein paar grundsätzlichen Überlegungen, die zum AMS-Experiment geführt haben: Eines der Probleme in der Physik heutzutage ist, dass einige kosmologische Beobachtungen der jüngeren Zeit mit keiner Theorie verträglich sind. Das heißt, es gibt Dinge in unserer Natur beziehungsweise im Universum, die wir nicht verstehen. Eine grundlegende Frage der Physik lautet: Warum existieren wir überhaupt? Warum hat sich nach dem Urknall nicht genauso viel Materie wie Antimaterie gebildet? Warum besteht das Universum nicht nur aus Licht? Warum gibt es uns?

"Uns" bedeutet hier Materie?

Ja, richtig. Es geht erstmal gar nicht um die Frage, warum es denkende Wesen wie uns im Universum gibt. Denn damit wir entstehen konnten, bedurfte es Materie. Doch wir verstehen nicht, warum es im Universum Materie gibt!

Eine zweite, grundlegende Feststellung lautet: Wir beobachten, dass unsere Sonne und mit ihr unsere Planeten auf einer stabilen Bahn um das Zentrum unserer Galaxie, der Milchstraße, kreisen. Wir können sogar die Geschwindigkeit messen, mit der das Sonnensystem diese Rotation ausführt. Wenn wir allerdings nachrechnen, ob die Gravitationskraft unserer Galaxie ausreicht, um unser Sonnensystem auf seiner Bahn zu halten, kommen wir zu dem Schluss, dass die Sonne eigentlich aus der Galaxie herausfliegen müsste. Würde Sie das tun, dann gäbe es auf der Erde kein Leben. Was wiederum die Frage aufwirft: Warum gibt es die Erde und andere Planeten?

Und nun hoffen Sie, diese Fragen mit Hilfe des AMS-Experiments klären zu können?

Genau. Wir haben ein physikalisches Modell, das dieses Phänomen erklären könnte. In diesem Modell spielt die sogenannte Dunkle Materie eine wichtige Rolle. Nach unserer Vermutung müsste das eine neue Art von Elementarteilchen sein, die wir aber bisher nicht nachgewiesen

haben. Wenn wir sie finden würden, dann könnten wir verstehen, warum die Sonne in einer stabilen Bahn um das Zentrum der Galaxie kreist.

AMS soll also helfen, diese Dunkle Materie zu finden?

Ja, richtig. Lassen Sie mich aber kurz noch etwas zur Antimaterie und zu Ihrer Eingangsfrage sagen. Ein derzeit für möglich gehaltenes Modell geht davon aus, dass nach dem Urknall Antimaterie übrig blieb. Dann könnte es Galaxien aus Antimaterie geben, die genauso aussehen würden wie unsere Milchstraße. Es würden dort genauso die Sterne leuchten, die wir auch aus den uns bekannten Materie-Galaxien kennen und die ab und zu in einer Supernova, einer gewaltigen kurzen Explosion, vergehen. Dabei würden Antimaterie-Teilchen auf hohe Energien beschleunigt und - schließlich ist das Universum ja ein perfektes Vakuum – bis zu uns gelangen, durch unser Spektrometer fliegen und wir könnten sie beobachten. Würden wir diese Teilchen also finden, dann wüssten wir, dass das Universum aus genauso viel Materie wie Antimaterie besteht und hätten dieses Rätsel gelöst.

Wieso müssen die Teilchen im All oder besser gesagt auf der Internationalen Raumstation ISS in 350 Kilometer Höhe über der Erde gemessen werden? Versucht man der Frage nach der Antimaterie nicht schon seit Längerem mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern, beispielsweise im CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, auf die Spur zu kommen?

Ja. Tatsächlich suchen wir bereits seit 50 Jahren nach dieser Asymmetrie zwischen Antimaterie und Materie, finden sie aber nicht in ausreichendem Maße in den Experimenten, die wir auf der Erde machen. AMS ist insofern eines der Pionierexperimente, da es die Messempfindlichkeit um mehr als das Tausendfache steigern wird. Und das ist nur im Weltall möglich ...

Warum?

Wir wollen geladene Teilchen messen, und das ist auf der Erde nicht möglich, denn hier kann man nur neutrale Teilchen wie beispielsweise die Photonen, also Lichtteilchen, messen. Das hat damit zu tun, dass Erdatmosphäre und Erdmagnetfeld uns vor diesen für den Menschen schädlichen geladenen Teilchen, die Bestandteil der kosmischen Strahlung sind, schützen - sonst würde es kein Leben auf der Erde geben. Wir müssen also in den Weltraum, auf die Raumstation.

Kommen wir noch einmal auf die Antimaterie zurück: Glauben Sie, diese nachweisen zu können?

Wenn wir keine Antimaterie finden, können wir mit guter Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass es im gesamten Universum keine gibt. Unter uns gesagt: Nicht nur ich wäre sehr überrascht, wenn wir tatsächlich Antimaterie finden würden. Als Wissenschaftler sollte man mit solchen Aussagen allerdings vorsichtig sein. Ein Experiment mit dieser Sensitivität hat noch niemand gemacht.

So oder so wird dann doch die Erkenntnis, die Sie zum Missionsende von AMS ziehen werden, bahnbrechend sein. Finden Sie keine Antimaterie, so müssen die Physik-Lehrbücher umgeschrieben werden...

Nicht wirklich umgeschrieben, allerdings versuchen wir seit mehr als 30 Jahren die dem Standardmodell der Teilchenphysik zugrunde liegenden, unvollständigen Theorien zu erweitern. Es gelingt uns aber nicht, anhand dieser Theorien die Rätsel des Universums und die Frage unserer Existenz zu erklären. Völlig klar ist allerdings, dass wir momentan mit theoretischen Überlegungen nicht weiterkommen, sondern neue Experimente und neue Beobachtungen brauchen ...

... und neue Daten von Experimenten wie AMS?

Ja, wir brauchen neue experimentelle Daten. Das ist genau das, was wir als Experimentalphysiker tun können: Messinstrumente entwickeln und bauen, die eine viel höhere Messgenauigkeit besitzen als all das, was vorher da war - und dann hoffen, dass wir die nächsten Geheimnisse lüften oder zumindest der nächste Schritt dazu in Reichweite dieser Experimente liegt.

Wie funktioniert dieses hochsensible Spektrometer?

Zunächst einmal: AMS arbeitet hervorragend, genauso wie wir es uns überlegt hatten. Die Messergebnisse, die wir bekommen, sind enorm präzise, noch viel besser als erwartet. Das konnten wir mit dieser Genauigkeit auf der Erde mit Teilchenbeschleunigern vorher nicht überprüfen. Ich finde das fantastisch. Wir sind bei 100 Prozent, es hat alles funktioniert. Eine enorme technische und ingenieurwissenschaftliche Leistung! - Allerdings befinden wir uns auch in einem Dilemma: Die Daten, die wir aufzeichnen, sind so genau, dass es der Qualität unserer bisherigen Arbeit nicht gerecht werden würde, sie vorzeitig, etwa mit einer noch nicht genauestens geprüften Kalibration zu veröffentlichen. Wir müssen also unser Instrument erst noch genauer verstehen, als ursprünglich erwartet. Hier liegt jetzt noch sehr viel Arbeit im Detail vor uns.

Haben Sie schon etwas von Bedeutung finden können?

Bevor man mit irgendwelchen Sensationen kommt, muss man erstmal zeigen, dass das Messinstrument - wir sagen, die Brot- und Butter-Physik - funktioniert. Und dabei sind wir auf einem guten Weg, sodass wir erste Veröffentlichungen für 2012/13 erwarten können. Ich kann Ihnen heute nicht sagen, ob wir dann Dunkle Materie oder Antimaterie oder etwas völlig anderes gefunden haben werden. Aber ich kann Ihnen sagen, dass uns ausgezeichnete Messergebnisse vorliegen werden. Die Erwartung, dass wir zu 1.000- bis 10.000-mal besseren Messergebnissen kommen als mit Vorgänger-Experimenten, werden wir wohl erfüllen können. Momentan sind wir allerdings ganz und gar damit befasst, Betrieb und Funktion von AMS sicherzustellen. Hier haben wir uns gerade mit dem DLR-Raumfahrtmanagement auf die Finanzierung für die nächsten drei Jahre einigen können. An dieser Stelle muss ich einmal sagen, dass die DLR-Kollegen hier einen tollen Job gemacht haben. AMS war und ist kein einfaches Projekt - es gab wirklich schwierige Entscheidungen zu treffen und bisher lag das DLR mit seinen Einschätzungen richtig. Wir hatten so optimale Bedingungen, um so ein tolles Instrument zu bauen und sind jetzt hervorragend aufgestellt, um damit auf internationalem Niveau exzellente Forschung zu betreiben.

Sprechen wir über die Missionsdauer. Ist es richtig, dass Ihnen elf Jahre am liebsten wären? So könnten Sie über einen kompletten solaren Zyklus messen.

Eine schwierige Frage. Wir haben uns natürlich gefragt, wie lange AMS überhaupt messen kann - die aktuelle Prognose lautet: etwa 20 Jahre. Die Raumfahrtagenturen der anderen beteiligten Länder haben zugesagt, die ISS mindestens bis zum Jahr 2020 zu betreiben und es gibt die Absichtserklärung, die ISS eventuell sogar bis 2028 im Orbit zu lassen. Wir würden zum einen aufgrund des solaren Zyklus sicher gern länger als elf Jahre messen. Zum anderen messen wir in einer völlig unbekannten Umgebung. Die Beschleunigungsmechanismen, die dafür sorgen, dass Teilchen zu uns kommen, kontrollieren wir nicht. Wir messen alles, was es im Universum gibt, und es gibt einige seltene Ereignisse, die dazu führen können, dass wir etwas völlig Neues finden. Zum Beispiel eine Supernova in unserer Milchstraße - so etwas lässt sich nicht vorhersagen. Aber wenn so etwas passiert, wäre es wirklich bedauerlich, wenn dieses einzigartige Messinstrument gerade dann nicht mehr da wäre. Meine Meinung dazu ist: Wir täten gut daran, AMS so lange wie möglich in Betrieb zu lassen, denn im Vergleich zu den Bauund Installationskosten sind die Betriebskosten gering. Wenn alles planmäßig läuft, haben wir nach zehn bis zwölf Jahren Daten, die unter dem Aspekt des statistischen Mittels von ausgezeichneter Präzision sein werden.

Nochmal der Blick auf die Technik: Was war die besondere Herausforderung beim Bau des Messinstruments AMS?

Diese hatte in der Hauptsache mit dem Magnetfeld zu tun, das benötigt wird. AMS ist ein Detektor, der geladene Teilchen nachweisen kann und er muss in den Weltraum - soweit die Anforderung. Zur Beantwortung der Frage, ob die Teilchen positiv oder negativ geladen sind, brauchen wir einen Magneten, der die Teilchen entsprechend auf eine positiv oder negativ gekrümmte Kreisbahn ablenkt. Wenn dieser Magnet nun mit dem Spaceshuttle oder der ISS im erdnahen Orbit fliegt, dann wechselwirkt sein Magnetfeld mit dem Erdmagnetfeld. Folglich muss man sich mit dem Design des Magneten sehr große Mühe geben, ansonsten sind die Wechselwirkungen dieser Kräfte so groß, dass man die Lagekontrolle verliert und die ISS ins Trudeln gerät. Und hier haben NASA und DLR natürlich erst einmal gesagt: Zeigt uns, dass das funktioniert. Das haben wir mit AMS-01, dem Vorläuferexperiment, das 1998 zehn Tage an Bord des Spaceshuttle Discovery ins Weltall flog, getan - und dabei nicht nur gezeigt, dass wir ein Instrument beziehungsweise einen Magneten gebaut haben, dessen Wechselwirkung mit dem

Erdmagnetfeld sich nicht auf die Steuerung des Shuttles oder der Raumstation auswirkt, sondern auch noch so robust und mechanisch so stabil ist, dass es einen Shuttlestart und die Montage an der ISS übersteht und anschließend mit hoher Präzision misst.

Warum bezeichnet man AMS denn auch als Kamera für Dunkle Materie?

Weil es sich um einen Halbleiterdetektor handelt, im Grunde genauso, wie man ihn in einem digitalen Fotoapparat findet. Und was wir eigentlich machen, sind Fotografien von geladenen Teilchen, die durch unser Messinstrument fliegen.

Der Vergleich ist also gar nicht so abwegig?

Nein, er ist sogar ziemlich gut. Nur dass wir bis zu 6.000 Bilder pro Sekunde machen und dies eben von der kosmi hen Höhenstrahlung. Diese messen wir mit 300.000 einzelnen Kanälen.

Sprechen wir ein wenig über den Anteil Deutschlands anAMS. An der RWTH Aachen befassen Sie sich ja nicht nur mit der Wissenschaft, sondern wie schon angesprochen auch mit Entwicklung und Bau entsprechender Instrumente wie beispielsweise AMS.

Ja, richtig, das macht gut 50 Prozent meiner Arbeit als Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik aus. Wenn wir auf diesem Gebiet etwas Neues entdecken wollen, brauchen wir ein neues, noch präziseres Messinstrument. Das zu entwerfen und zu bauen, ist die erste Aufgabe. Schauen Sie Hubble an. Man baut ein Teleskop, bringt es in den Weltraum und misst außerhalb der Erdatmosphäre die tollsten Sachen. Und das neue Instrument, das wir für diese Aufgabe brauchen, kann uns auch sonst niemand bauen, wir müssen das selber nach unseren speziellen Anforderungen tun. So etwas gibt es nicht von der Stange.

Welche Komponenten von AMS wurden in Deutschland entwickelt und gebaut?

In Deutschland wurde an zwei Standorten entwickelt, an der RWTH Aachen und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Bei AMS-01 hatten wir bereits zwei wichtige Komponenten an Bord, das Laser-Alignment-System und den Antikoinszidenzzähler - beides wichtige Bestandteile des Spurendetektors, der die eintreffenden Teilchen analysiert. Bei AMS-02 haben wir dann zusätzlich zu diesen Komponenten noch den Übergangsstrahlungsdetektor TRD, kurz für Transition Radiation Detector, gebaut. Der sitzt sozusagen oben auf AMS drauf und wiegt etwa 500 Kilogramm. Diesen Detektor haben wir komplett selber gebaut. Hierzu hat das KIT das Datenerfassungssystem beigetragen.

Resümierend kann man sagen, dass wir es in Deutschland mit vergleichsweise geringen finanziellen Ressourcen hinbekommen haben, einen eigenständigen Detektor in diesem Messinstrument zu haben - eine enorme Leistung im internationalen Vergleich, für die mein Vorgänger, Klaus Lübelsmeyer, und das DLR die Grundlagen gelegt haben. Damit spielen wir heute eine führende Rolle in diesem Projekt, denn es hat sich herausgestellt, dass unser Transition Radiation Detector für die physikalische Untersuchung der Frage nach der Natur der Dunklen Materie eines der Schlüsselinstrumente ist. So etwas kann man auch in der Wissenschaft nicht vollständig planen, dazu gehört auch Glück.Wir haben offenbar das große Glück - in unserem Fall zur richtigen Zeit am richtigen Ort das passende Instrument zu haben.

Lassen Sie uns noch über die Geschichte des Projekts reden. Nach dem Start am 16. Mai 2011 ging alles ganzschnell. Bereits nach zwei Stunden wurde AMS erstmals in der Shuttle-Ladebucht eingeschaltet, am 19. Mai war es auf der ISS installiert und begann mit der Datenaufzeichnung, die, wie Sie bereits sagten, hervorragend funktioniert. Der Weg dorthin war allerdings sehr langwierig ...

Das stimmt. Samuel Ting, Nobelpreisträger und sozusagen der Vater von AMS, trat 1996 an Daniel Goldin, den damaligen NASA-Chef, heran und überzeugte ihn von der Notwendigkeit, auf der ISS Grundlagenforschung zu betreiben. Goldin verstand das sofort, die Raumfahrtagenturen andererLänder, darunter das DLR, schlossen sich an und heute ist AMS auf der Raumstation - mit Abstand das größte und sichtbarste Experiment zur Grundlagenforschung auf der ISS. Es liefert aus meiner Sicht einen Teil der Legitimation dafür, solch eine Struktur dort oben aufzubauen. Grundlagenforschung, das hat auch ein anderer Nobelpreisträger, Steven Weinberg, gesagt, das sind Erkenntnisse, die die Welt verändern können. AMS hat das Potenzial, mit seinen Erkenntnissen die Welt zu verändern.

In Deutschland ist das Projekt von Professor Lübelsmeyer 1996 auf den Weg gebracht worden und wird von mir seit 2000 geleitet. Das DLR hat dann in seiner Funktion als Raumfahrtagentur der Bundesregierung die Mittel für AMS-01 bereitgestellt. Das war ebenfalls 1996, und zwei Jahre später flog AMS-01dann als Technologiedemonstrator zehn Tage an Bord des Spaceshuttle. 1999 sagte das DLR dann die Mittel für AMS-02 zu und der Starttermin war für 2003 vorgeshen. Es kam dann aber alles ganz anders, denn wir hatten ja für viele Jahre keinen Shuttle-Start. 2005, nachdem sich die Probleme rund um das Spaceshuttle-Programm der NASA bereits verschärft hatten, wurde uns schließlich mitgeteilt, dass es für AMS keine Fluggelegenheit mehr gäbe ...

… das war der Tiefpunkt des Projekts, Sie hatten Jahre Arbeit investiert …

… mehr als fünf Jahre, das Instrument war fertig. Hinzu kam, dass auch die Raumfahrtagenturen anderer beteiligter Länder entschieden, die Unterstützung für das Projekt zu reduzieren. Samuel Ting und führende europäische Politiker waren es dann, die die amerikanische Regierung davon überzeugten, die NASA-Entscheidung rückgängig zu machen. Und auch das DLR entschied im Namen der deutschen Bundesregierung positiv und ermöglichte es uns, weiterzumachen. Dabei haben sich Staatssekretär Hintze und Herr Wörner persönlich stark engagiert.

Haben Sie auch einmal darüber nachgedacht, AMS als eigenständigen Satelliten mit einer europäischen Ariane- Schwerlastrakete ins All zu bringen?

AMS hat hohe Anforderungen bezüglich Stromversorgungund Kommunikation, das heißt bezüglich Daten-Down- und -Uplink. Was nicht heißen soll, dass man nicht eine entsprechend aufwändige Plattform hätte konstruieren können, um AMS als frei fliegenden Satelliten zu betreiben. Doch warum sollte man das tun, wenn man mit der ISS bereits die Infrastruktur für solch ein aufwändiges Projekt hat? Aus meiner Sicht ist die ISS die idealePlattform, um Experimente wie AMS im Weltraum durchzuführen.

Zurück zum langen Weg von AMS ins All ...

Nun, es dauerte letztlich bis 2009, bis die Mission STS-134zur ISS für August 2010 genehmigt wurde und damit der Mitflug von AMS zur ISS stattfinden konnte.

Kurz vor dem geplanten Start haben Sie AMS noch einmal umgebaut, warum?

Ursprünglich sollte AMS nur drei Jahre auf der Raumstation betrieben und dann wieder zur Erde gebracht werden. Durch die Einstellung des Shuttle-Programms wurde das natürlich unwahrscheinlich, sodass wir Magnet und Detektorkomponenten an eine nun längere Missionsdauer anpassen wollten, um die wissenschaftliche Ausbeute zu optimieren.

Die Ergebnisse des AMS-Experiments sollen der Allgmeinheit zur Verfügung stehen. Wie genau geschieht das?

Wenn wir forschen, um zu verstehen, wie das Universum entstanden ist, dann glaube ich schon, dass viele Leute wissen möchten, was für neue Erkenntnisse wir gewonnen haben - nicht die technischen Details, aber sicher die Ergebnisse und welche Auswirkungen diese für den Einzelnen haben. Welche Auswirkungen sind das? Zunächt einmal ist die Erkenntnis ein Wert an sich, denn sie bedeutet letztlich intellektuelle Freiheit. Man muss sich nicht zwischen Glauben A, B oder C entscheiden, sondern die Wissenschaft sagt, im besten Fall, zum Beispiel wie das Universum entstandenist. Das gibt einer Gesellschaft Freiheit, sie ist weniger leicht zu manipulieren. Genauso wie es der Gesellschaft Freiheit gegeben hat, zu verstehen, dass die Erde sich um die Sonne dreht und nicht umgekehrt. Wir sind nicht die Krönung der Schöpfung, die Erde nicht der Mittelpunkt des Universums. Ergebnisse wie diese sind die Grundlage einer offenen und freien Gesellschaft und verändern damit unser aller Leben.

Mittelfristig führen die Erkenntnisse der Grundlagenforschung in der Physik zu neuen Technologien. Denken Sie 100 Jahre zurück an die Quantenmechanik, aus der sich dann Halbleiter, Transistoren, Laser, Solarzellen, Computer, Internet, Smartphones etc. entwickelten.

Auch ein Plädoyer für die Wissenschaftskommunikation?

Wenn Sie so wollen, ja. Teil meines Berufs ist es auch, den aktuellen Wissensstand zu kommunizieren. Das mache ich in allgemeinverständlichen Vorträgen und Artikeln. Wenn wir spannende neue Ergebnisse haben, dann sehe ich es auch als meine Aufgabe an, geeignete

Formen zu finden, die interessierte Öffentlichkeit zu informieren. Grundlage dafür sind jedoch immer Publikationen mit allen technischen Details in anerkannten internationalen Fachmagazinen.

Herr Schael, haben Sie vielen Dank für dieses Gespräch.

Zur Person

Prof. Dr. Stefan Schael, geboren 1961 in Leverkusen, ist Leiter des I. Physikalischen Instituts B der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Er studierte Physik in Bonn und Heidelberg, promovierte an der Universität Karlsruhe und habilitierte an der Ludwig-Maximlians-Universität München. Nach einem Forschungsaufenthalt am CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, und seiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Angestellter am Max-Planck-Institut für Physik in München wechselte er Anfang 2000 schließlich an die RWTH. Sein Forschungsinteresse gilt der Teilchen- und Astroteilchenphysik. Neben dem AMS-Experiment ist er an verschiedenen anderen internationalen Forschungsprojekten wie CMS, einem Detektor des Teilchenbeschleunigers Large Hadron Collider (LHC) des CERN, beteiligt. Schael ist verheiratet und hat zwei Kinder.

Kontakte

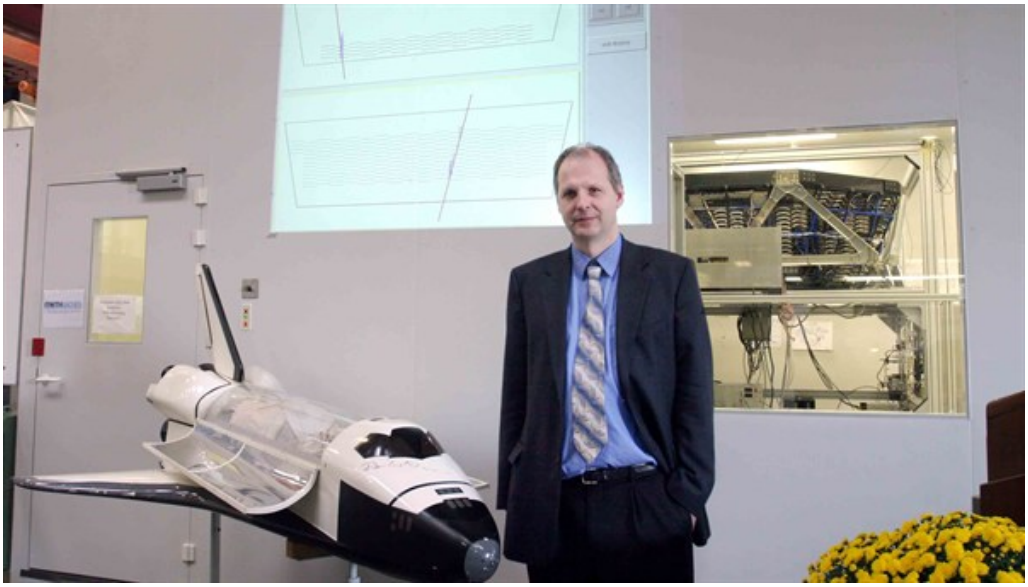
Prof. Dr. Stefan Schael
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Tel.: +49 241 802-7159

AMS-02 nach der Installation an der ISS

AMS-02 nach Installation auf dem sogenannten Starboard Truss, einer Gitterstruktur der Internationalen Raumstation ISS. Rechts ist das angedockte Spaceshuttle Endeavour zu erkennen, das AMS-02 in den Erdorbit beförderte.

Quelle: NASA.

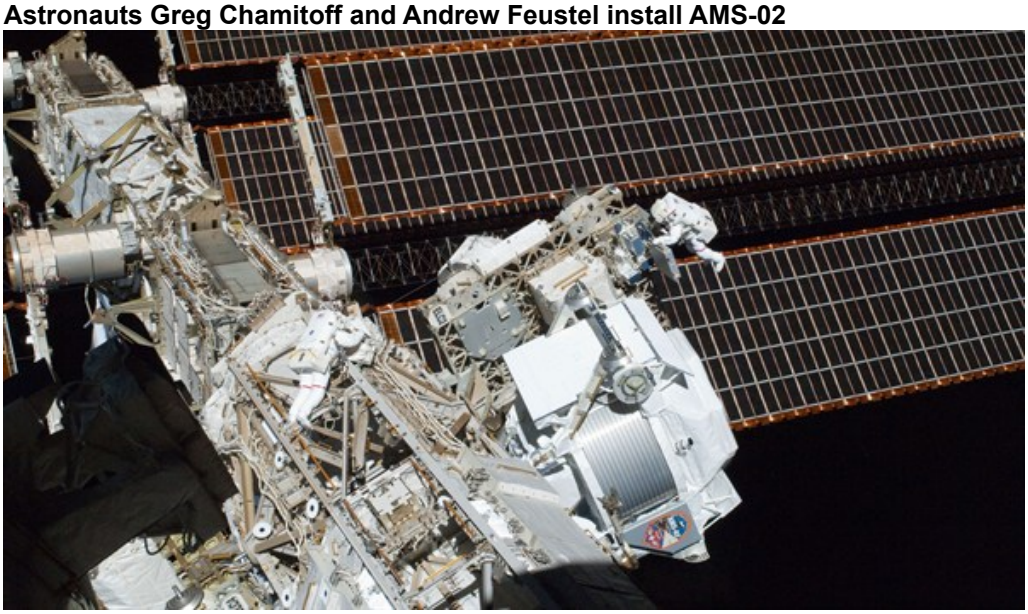
Stefan Schael



Stefan Schael, deutscher Projektleiter des Alpha-Magnetic-Spektrometer-Experiments.

Quelle: DLR (CC-BY 3.0).

Astronauts Greg Chamitoff and Andrew Feustel install AMS-02



Die NASA-Astronauten und STS-134-Missionsspezialisten Greg Chamitoff (links) und Andrew Feustel (rechts) installieren AMS-02 auf der ISS-Außenstruktur.

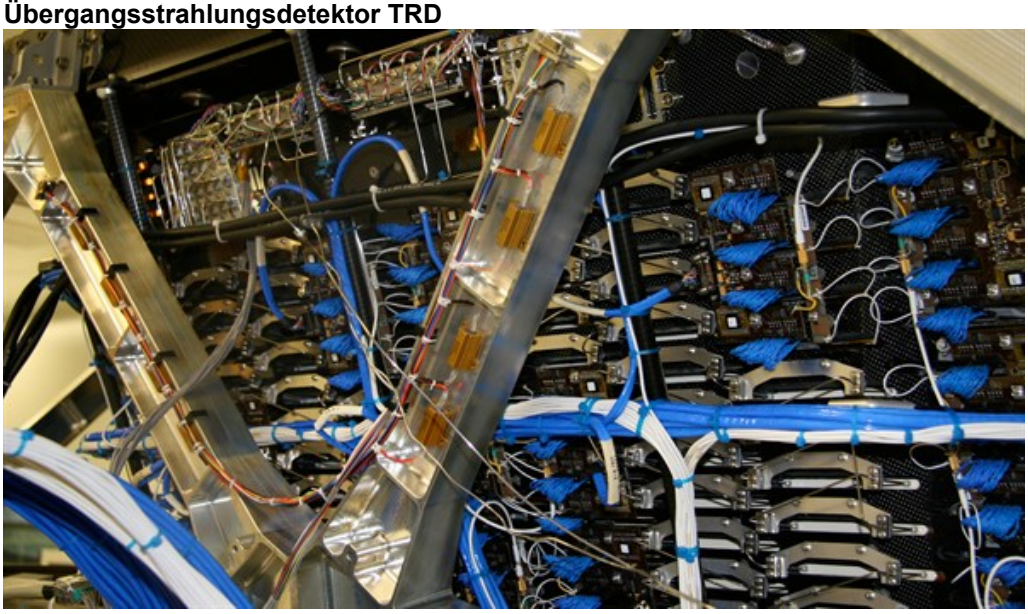
Quelle: NASA.

AMS-02-Team bereitet das Experiment für den Start vor

Samuel Ting (Mitte), Stephan Schael (fünfter von rechts) und weitere Mitglieder des AMS-02-Teams im Payload Changeout Room, in dem AMS-02 für den Start an Bord des Spaceshuttle Endeavour vorbereitet wurde.

Quelle: Stephan Schael.

Übergangsstrahlungsdetektor TRD



Detailaufnahme des in Deutschland gebauten Übergangsstrahlungsdetektors TRD (Transition Radiation Detector). Dem TRD kommt für die physikalische Untersuchung der Frage nach Dunkler Materie eine Schlüsselrolle zu.

Quelle: Stephan Schael.

Mitglieder des deutschen AMS-02 Teams

Ein Teil des deutschen AMS-02 Teams im Reinraum des I. physikalischen Instituts RWTH Aachen. Im Hintergrund ist der Übergangsstrahlungsdetektor zu sehen.

Quelle: RWTH Aachen.

Spaceshuttle Endeavour

Spaceshuttle Endeavour mit geöffneter Ladebucht. Inliegend: das Spektrometer AMS-02.

Quelle: NASA.

Kontaktdaten für Bild- und Videoanfragen sowie Informationen zu den DLR-Nutzungsbedingungen finden Sie im Impressum der Website des DLR.