

Zwei gewaltige Mächte prägen das Universum: Die Dunkle Materie hält Galaxien zusammen, die Dunkle Energie treibt das All auseinander. Die Physikerin Laura Baudis erklärt, was Forscher über diese Kräfte wissen – und wie komplexe Experimente ihre rätselhaften Eigenschaften aufdecken sollen

INTERVIEW: RAINER HARF UND MARIA KIRADY

FOTOS: DANIEL AUF DER MAUER

130

DIE VERBORGENEN KRÄFTE IM KOSMOS

Prof. Laura Baudis in ihrem Labor an der Universität Zürich: Die Forschungsgruppe der gebürtigen Rumänin gehört zu den weltweit führenden Teams bei Versuchen, Partikel der mysteriösen Dunklen Materie nachzuweisen

GEOkompakt: Frau Professor Baudis, Sie beschäftigen sich mit einem der großen Rätsel des Universums, der Dunklen Materie. Warum?

Prof. Laura Baudis: Die Dunkle Materie ist eine ganz besondere Form von Materie: Wir können sie nicht sehen, da sie nicht leuchtet. Weder strahlt sie Licht ab – im Gegensatz zur sichtbaren Materie eines Sterns. Noch reflektiert sie Licht – anders als die sichtbare Materie, aus der zum Beispiel Steine, Wolken oder unser Körper bestehen. Die Dunkle Materie ist mithin völlig durchsichtig und für uns gänzlich unsichtbar.

Wir gehen davon aus, dass sie wie die sichtbare Materie auch aus dem Urknall hervorgegangen ist und somit die Entwicklung des Weltalls von Anfang an mit geprägt hat. Doch im Gegensatz zur sichtbaren Materie kennen wir ihre Zusammensetzung nicht. Wir können anhand komplizierter Messungen zwar Rückschlüsse darauf ziehen, welche Masse die Dunkle Materie im Universum einnimmt und wie sie verteilt ist. Ob sie aber aus einer Sorte von Teilchen besteht oder aus unterschiedlichen, lässt sich noch nicht mit Gewissheit sagen.

Und zur Lösung dieses Rätsels beizutragen, das reizt mich ungemein.

Weshalb haben sich keine Sterne aus der Dunklen Materie gebildet?

Das liegt unter anderem daran, dass sich deren Teilchen offenbar ganz anders verhalten als die der sichtbaren Materie. In der uns bekannten Welt treten die kleinsten Teilchen – etwa Quarks – in vielfache Wechselwirkung miteinander. Ein Beispiel: Mehrere Quarks schließen sich zu größeren Partikeln, den Protonen und Neutronen, zusammen. Die wiederum bilden die Kerne von Atomen, in deren Hülle winzige Elektronen schwirren. Und die Kerne können unter hohem Druck miteinander verschmelzen – das geschieht in Sternen. So werden andere Elemente gebacken. Aus Wasserstoff wird Helium, dann Lithium, später Kohlenstoff, Sauerstoff und Eisen. Und verschiedene Elemente können schließlich Verbindungen eingehen – Wasserstoff und Sauerstoff etwa bilden Wasser.

Die Partikel der Dunklen Materie dagegen treten kaum in Wechselwirkung miteinander; sie bilden wahrscheinlich

131

schon auf der Ebene der Teilchen keine komplexeren Strukturen. Sie schwirren eher einzeln und frei umher, wie die Teilchen in einem idealen Gas.

Was ist noch über die mysteriösen Teilchen der Dunklen Materie bekannt?

Erstauulich wenig. Obwohl sie mehr als 80 Prozent der Materie im Universum ausmachen und es zahlreiche Projekte gibt, die einen Nachweis zum Ziel haben, ist es bisher nicht gelungen, auch nur ein einziges Teilchen der Dunklen Materie direkt mithilfe eines Detektors aufzuspüren.

Eine Zeit lang dachten die Forscher, dass es sich bei der Dunklen Materie in Wahrheit um Neutrinos handeln könnte, winzige Elementarteilchen, die sich mit annähernder Lichtgeschwindigkeit fortbewegen und ebenfalls durch gewöhnliche Materie hindurchsausen. Inzwischen wissen wir aber, dass die gesamte Masse der Neutrinos nicht ausreicht, um die Wirkung der Dunklen Materie zu erklären.

Es müssen also noch völlig unbekannte Teilchen dahinterstecken.

Wo kommt die Dunkle Materie vor?

Sie existiert überall im Universum, sie durchzieht das gesamte All. Die Dunkle Materie ist auch hier auf der Erde vorhanden, wir werden sogar beständig von ihr durchströmt: Die Partikel, aus denen die Dunkle Materie besteht, wehen einfach durch uns hindurch. Nur bekommen wir davon überhaupt nichts mit.

Weshalb merken wir nicht, dass uns die Teilchen durchströmen?

Weil sie mit den Atomen, die unseren Körper bilden, nicht – oder kaum – interagieren. Daher fühlen wir sie nicht, wir haben keine Sensoren, sie wahrzunehmen. Aber die Dunkle Materie ist stets da.

Von wie vielen dieser Partikel werden wir durchströmt?

Einer gängigen Theorie zufolge raschen durchschnittlich pro Sekunde rund 100 000 Teilchen der Dunklen Materie durch eine Fläche, die so groß ist wie ein Daumnagel. Das mag viel klingen, ist aber tatsächlich vergleichsweise wenig. Denn die Dichte der Dunklen Materie liegt damit hier auf der Erde, wo die sichtbare Materie extrem kompakt ist, rund 20 Größenordnungen unter der von Luft. Deshalb übt ihre Masse auch keine besondere Anziehungskraft auf unseren Körper

aus. Ihre Wirkung macht sich erst in größerem Maßstab – auf der Ebene von Galaxien – bemerkbar.

Die Dunkle Materie scheint sich der uns bekannten Welt zu entziehen. Wie sind Physiker auf ihre Existenz gestoßen?

Schon in den 1930er Jahren hat der Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky die Existenz einer unsichtbaren Form von Materie postuliert. Der Wissenschaftler hatte die Geschwindigkeit mehrerer weit entfernter Galaxien beobachtet, die eine Art Ansammlung bilden. Aufgrund komplexer Berechnungen stellte Zwicky fest, dass die Galaxien eigentlich auseinanderfliegen müssten. Gäbe es nur die sicht-

Sichtbare **MATERIE** macht nur rund **FÜNF** **PROZENT** der Masse und Energie des Universums aus

bare Materie, also hauptsächlich die Masse der Sterne und des Gases dazwischen, dürften sich gar keine Galaxienhaufen bilden – ihre Gravitationskraft wäre schlicht nicht groß genug, die Sternensysteme aneinander zu binden.

Was nahm Zwicky an?

Es musste weitaus mehr als die sichtbare Materie vorhanden sein – etwas, das die Galaxien wie eine Art Klebstoff zusammenhält. Doch Zwickys Theorie wurde von Kollegen belächelt, seine Entdeckung lange Zeit ignoriert.

Erst in den 1970er Jahren machte die US-Physikerin Vera Rubin eine weitere revolutionäre Beobachtung, die schließlich auch von Astrophysikern weltweit ernst genommen wurde: Sie ermittelte, mit welchem Tempo sich Sterne um das Zentrum einer Galaxie bewegen. Dabei stellte die Forscherin fest, dass die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Sterne nur durch die Existenz einer großen, unbekannt Masse zu erklären sind. Wäre allein die sichtbare Materie

vorhanden, müssten sich den Gesetzen der Physik zufolge jene Sterne, die sich weit entfernt vom Zentrum einer Galaxie befinden, weitaus langsamer bewegen, als sie es tatsächlich tun.

Gab es weitere Hinweise auf die Existenz der Dunklen Materie?

Ja, etwa den Gravitationslinseneffekt: Dunkle Materie, die Galaxien umgibt, lenkt das Licht ferner, weit dahinter liegender Himmelskörper durch ihre immense Masse und die dadurch wirkende Gravitationskraft ab. Das Resultat: Von der Erde aus gesehen, erscheinen die hinter der Galaxie befindlichen Objekte verzerrt – gerade so, als würde man sie durch eine Art Linse betrachten.

Und es findet sich noch ein anderer Hinweis auf die Existenz der Dunklen Materie. Es gibt eine Strahlung, die das ganze All erfüllt, sie stammt aus der Frühzeit des Universums und ist eine Art Echo des Urknalls: die kosmische Hintergrundstrahlung. Durch deren präzise Vermessung kann man berechnen, wie viel Masse schon in der Urzeit des Universums vorhanden war. Diese physikalischen Quantifizierungen offenbaren, dass die Masse weitaus höher ist als jene, aus der die für uns wahrnehmbare Welt – etwa Sterne, Planeten, Asteroiden, Gaswolken – besteht. Man könnte auch sagen: Man hat das All gewogen und festgestellt, dass noch ein erheblicher Teil an Materie fehlt.

Wie viel Dunkle Materie gibt es?

Die Dunkle Materie macht etwa 85 Prozent der Gesamtmaterie im Kosmos aus, die sichtbare den Rest.

Wie hat die Dunkle Materie die Entwicklung unseres Universums beeinflusst?

Sie hat bei der Entwicklung des Alls gewissermaßen die Hauptrolle gespielt, denn sie hat dem Kosmos Struktur gegeben. Keines der spektakulären, riesenhaften Gebilde, die wir im Universum erblicken – etwa Galaxien, Galaxienhaufen oder auch netzartige Verbände aus Tausenden Galaxienhaufen –, kann ohne die Kraft der Dunklen Materie erklärt werden.

Inzwischen können Physiker mithilfe moderner Computersimulationen die Struktur- und insbesondere die Entstehung der Galaxien im Universum recht genau nachvollziehen. Diese Simulationen kommen ohne die Dunkle Materie gar nicht aus.

Und wenn man bei Simulationen die Dunkle Materie außen vor lässt?

Berücksichtigen Forscher in den Berechnungen ausschließlich die Teilchen, aus denen die sichtbare Materie besteht, bilden sich weder Sterne noch Galaxien. Das All sähe ohne die Dunkle Materie heute recht öde aus: Es gäbe zwar Atome – Wasserstoff, Helium. Aber der Kosmos wäre finster, keine Sonne würde leuchten, keine Planeten schwirrten umher. Das Universum wäre erfüllt von einem dünnen Gas, hauptsächlich aus Wasserstoff.

Wie hat die Dunkle Materie Struktur ins All gebracht?

In der Frühzeit des Alls war die Dunkle Materie nicht gleichmäßig im Raum verteilt. In einigen Regionen gab es etwas mehr, dort schwirrten die Dunkle-Materie-Teilchen etwas dichter umher. Da die Partikel eine Masse besitzen und mithin Schwerkraft entfalten, sammelte

sich mit der Zeit – getrieben von der Gravitation – an den dichten Stellen immer mehr Dunkle Materie. Es bildeten sich schließlich riesige kugelförmige Ansammlungen Dunkler Materie, die Halos.

Diese Kugeln entwickelten eine ungeheure Gravitationskraft, die auch riesige Mengen sichtbarer Materie anzog. Die Halos sogen gleichsam Wasserstoffatome aus der Umgebung an, die mit der Zeit gigantische Wolken bildeten (siehe Seite 42, die Redaktion).

Und erst als sich der Wasserstoff derart zusammenbraute, konnte er selbst eine für die weitere Entwicklung des Alls relevante Gravitationskraft entwickeln. In der Folge ballte sich in manchem Wolkenteil so viel Wasserstoff-Gas, dass es zur atomaren Fusion kam – und die ersten Sterne zündeten.

Inmitten der Halos aus Dunkler Materie war die Gravitation am stärksten, dort sammelte sich das meiste Wasser-

stoff-Gas, dort zündeten die meisten Sterne. Und die leuchtenden Himmelskörper formierten sich schließlich – ebenfalls durch die gewaltige Kraft der Dunklen Materie dirigiert – zu jenen glitzernden Sternensystemen, die wir milliardenfach im All bestaunen können: den Galaxien.

Mit welchen Methoden versuchen Forscher, die mysteriösen Partikel der Dunklen Materie aufzuspüren?

Eine Methode besteht darin, die Dunkle Materie neu zu erschaffen. Das soll mithilfe von großen Teilchenbeschleunigern wie etwa dem CERN nahe Genf gelingen. In den Geräten bringt man zum Beispiel zwei Protonen nahezu auf Lichtgeschwindigkeit und lässt sie dann zusammenprallen. Bei der Kollision entstehen zahlreiche neue Teilchen. Und möglicherweise befindet sich unter diesen neuen Partikeln eben auch ein Teilchen der Dunklen Materie.



DIE ENTDECKUNG DER DUNKLEN MATERIE

Dass Galaxien mehr als nur die sichtbare Materie enthalten müssen, bemerkten Forscher, als sie die Umlaufbahnen von Sternen in Galaxien beobachteten. Der Gravitationstheorie zufolge müssten Himmelskörper das massereiche Zentrum einer Galaxie umso langsamer umkreisen, je weiter außen ihre Bahn verläuft – denn die Schwerkraft lässt mit der Entfernung nach. Tatsächlich aber bewegen sich die Sterne auf jeder Bahn annähernd gleich schnell (weiße Pfeile). Es müssen also weitere Gravitationskräfte wirken – hervorgerufen durch eine nicht sichtbare Form von Materie. Diese Dunkle Materie, so die gängige Theorie, bildet einen riesigen Halo (hier dargestellt als äußere bläuliche Kugel), in dessen Zentrum die Galaxie schwebt. Die Bahngeschwindigkeit eines innen rotierenden Sterns (1) wird von vergleichsweise wenig Dunkler Materie (kleine Kugel) beeinflusst. Sterne auf einer außen liegenden Umlaufbahn (2) stehen in Bezug auf ihr Tempo unter dem Einfluss von weit mehr Dunkler Materie (mittlere Kugel). So kommt es, dass die äußeren Sterne eine ähnlich hohe Geschwindigkeit erreichen wie die inneren Sterne.

Das ließe sich dann messen?

Ja, allerdings nur indirekt: Das besagte, neu gebildete Teilchen selber würde nämlich, wie alle Partikel der Dunklen Materie, geradewegs durch die riesigen Detektoren, die um den Kollisionspunkt aufgestellt sind, hindurchfliegen. Deren Sensoren könnten es nicht registrieren.

Die meisten anderen Teilchen hingegen – mit Ausnahme der Neutrinos –, die bei der Kollision entstehen, würde man in den Detektoren auffangen. Aus den gewonnenen Daten ließe sich ein solches Ereignis herauslesen, die Physiker würden also feststellen, dass bei der Kollision etwas verloren gegangen ist. Und sie würden zudem auch Aussagen über manche Eigenschaften des Dunkle-Materie-Teilchens treffen können. Etwa, wie schwer es genau ist. Oder wie schnell es sich – vereinfacht gesagt – um sich selbst dreht.

Welche Ansätze gibt es noch, die Teilchen nachzuweisen?

Wir gehen zwar davon aus, dass die Dunkle Materie fast gar nicht mit der sichtbaren interagiert – aber eben nur fast.

Zuweilen kann es, so die Vermutung, zu sehr seltenen Zusammenstößen zweier Partikel kommen. Weil sie so wenig reaktionsfreudig sind, bezeichnen Forscher die hypothetischen Teilchen der Dunklen Materie daher auch als „WIMPs“, das ist das englische Wort für „Schwächlinge“. Zugleich ist WIMP eine Abkürzung für „Weakly Interacting Massive Particle“, was auf Deutsch so viel wie „schwach wechselwirkendes massereiches Teilchen“ heißt.

Wenn es sich bei den Partikeln der Dunklen Materie nun tatsächlich um WIMPs handelt, dann müsste es hin und wieder vorkommen, dass ein solches schwach wechselwirkendes Teilchen auf einen Atomkern prallt. Genau auf dieser Annahme basiert unser Detektor, der sich in einem Untergrundlabor im italienischen Gran-Sasso-Gebirgsmassiv befindet. Es ist der weltweit größte seiner Art.

Wie funktioniert das Gerät?

Das Herzstück des Detektors ist ein mächtiger Tank, der 3,3 Tonnen hochreines, flüssiges Xenon enthält. Xenon ist ein chemisches Element, dessen Atome äußerst stabil und dessen Atomkerne recht groß und schwer sind. Falls Teilchen der Dunklen Materie mit den Xenonatomen zusammenstoßen – ähn-

lich wie zwei Billardkugeln –, würde unseren Berechnungen zufolge ein extrem schwacher Lichtblitz entstehen.

Über einen raffinierten Mechanismus könnten wir dieses Lichtsignal um ein Millionenfaches verstärken. Unsere Sensoren sind so empfindlich, dass wir ein einzelnes Lichtteilchen – ein Photon – sicher detektieren können.

Die Schwierigkeit bei dem Vorhaben besteht darin, dass wir versuchen müssen, alle möglichen Störquellen auszuschließen. Daher befindet sich der Detektor im Inneren eines Berges – das Gestein schirmt das Gerät vor kosmischer Strahlung ab. Außerdem muss das Xenon so sauber wie nur möglich sein. Jede Verunreinigung verursacht Störsignale.

Und zum Schutz haben wir den Xenontank noch mit einer zehn Meter dicken Wasserschicht umhüllt und so noch stärker von der Außenwelt isoliert. Und doch wird es immer einen sogenannten Hintergrund an Störungen geben, die nicht zu vermeiden sind.

Noch ist es Ihnen nicht gelungen, eines der gesuchten Teilchen nachzuweisen.

Unser Gerät ist erst seit wenigen Wochen in Betrieb. Und auch wenn sich 3,3 Tonnen Xenon im Detektor befinden, erwarten wir allenfalls eine Handvoll Kollisionen pro Jahr. Und dann kommt es natürlich darauf an, diese seltenen Ereignisse auch aus den Daten herauslesen und von besagten Störungen unterscheiden zu können – dafür entwickeln wir höchst komplexe Simulationen und Computerprogramme.

Angenommen, Sie können keinen Zusammenstoß registrieren: was dann?

Ein größerer Detektor ist bereits in Planung: ein Acht-Tonnen-Tank. Und auch der übernächste schon: ein Detektor mit 50 Tonnen Flüssig-Xenon. Denn selbst wenn wir mit unserem Detektor die mysteriösen Teilchen erstmals nachweisen, wird ein größeres Gerät hoffentlich dabei helfen, viel mehr Daten zu erhalten. Und die werden wir brauchen,

um immer genauere Aussagen über die Beschaffenheit der Teilchen zu treffen.

Was würde es bedeuten, wenn Sie ein Partikel nachweisen könnten?

Es wäre eine Sensation! Zwar würden wir nicht die Dunkle Materie an sich nachweisen; dass es die geben muss, weiß man ja bereits seit Langem. Und dennoch wäre es eine gigantische Entdeckung, denn Sie müssen sich vergegenwärtigen: Wir wissen derzeit nach wie vor nicht, wie jene Teilchen beschaffen sind, die den Großteil der Materie im Universum ausmachen.

Wenn wir zeigen, dass die Dunkle Materie aus noch unbekanntem neuen Teilchen besteht, und nach und nach mehr über deren Eigenschaften herausfinden, dann könnten wir noch viel genauere Modelle entwickeln zur Galaxienentstehung.

Vor allem aber würde dies das Standardmodell der Teilchenphysik, das die Eigenschaften der kleinsten Materiebausteine unserer Welt beschreibt, vor immense Herausforderungen stellen. Denn bislang sind darin keine Partikel der Dunklen Materie vorgesehen. Das Standardmodell bezieht sich allein auf die Teilchen der sichtbaren Materie und müsste somit erweitert werden (siehe auch Seite 149, die Redaktion).

Es wäre ein unglaublich wichtiger Stein der Erkenntnis in einem Puzzle, das es schon seit mehr als 80 Jahren gibt und Generationen von Physikern beschäftigt.

Ein zweites mysteriöses Phänomen, das Physikern Rätsel aufgibt, ist die Dunkle Energie. Was versteht man darunter?

Die Dunkle Energie ist etwas fundamental anderes als die Dunkle Materie. Woraus diese Form der Energie besteht, weiß man noch nicht. Doch sie ist eindeutig vorhanden. Und sie hat eine recht ungewöhnliche Wirkung: Die Dunkle Energie lässt den Raum immer weiter auseinanderstreben. Sie ist die treibende Kraft, die unser Universum expandieren lässt.

Vor allem aber: Ihre Wirkung nimmt immer weiter zu; mit der Folge, dass die Ausdehnung des Raumes sich zunehmend beschleunigt. Diese Form der Energie ist auch schon seit Langem bekannt. Sie taucht bereits in Einsteins Gleichungen auf – dort heißt dieser Energieterm „kosmologische Konstante“,

er wirkt der anziehenden Kraft der Gravitation entgegen.

Wie kann man sich die Dunkle Energie vorstellen?

Sie füllt das ganze Universum aus, wie ein unsichtbares Feld. Vergleichbar mit einem Magnetfeld. Ein Energiefeld, das alle Strukturen im Kosmos beschleunigt auseinanderreibt.

Die DUNKLE ENERGIE wird das Universum in ferner Zukunft in NICHTS auflösen

Stellen Sie sich vor, Sie werfen einen Apfel hoch in die Luft und dieser würde sich immer schneller nach oben bewegen, anstatt umzukehren und auf die Erde zurückzufallen.

Ist die Dunkle Energie – ähnlich wie die Dunkle Materie – ebenfalls an manchen Orten dichter oder stärker wirksam?

Nein, die Dunkle Energie ist gleichförmig im Universum verteilt, das ist ganz wesentlich. Nirgendwo lässt sie den Raum stärker oder schneller expandieren als anderswo. Sondern überall dehnt sich der Raum gleichförmig aus.

Gibt es eine Möglichkeit nachzuweisen, was genau die Dunkle Energie ist?

Das ist noch deutlich schwieriger als bei der Dunklen Materie. Denn: Die Dunkle Energie kann man nur indirekt,

zum Beispiel mit Satellitenexperimenten oder mit großen, erdgebundenen Teleskopen messen. Sie zeigt sich nur auf ganz großen Skalen – das heißt, sie offenbart sich nur, wenn man weit ins All hinausschaut. Sie beeinflusst das Wachstum der kosmischen Strukturen, und man versucht herauszufinden, ob ihre Wirkung früher anders war als heute. Denn eine der offenen Fragen ist: Ist sie eine konstante Eigenschaft des Raumes selbst, oder verändert sie sich mit der Zeit?

Welchen Anteil hat die Dunkle Energie in einer Gesamtbilanz des Universums?

Rechnet man die gesamte Masse und Energie im All zusammen, kommt die Dunkle Energie auf einen Anteil von etwa 68 Prozent. Die Dunkle Materie macht in dieser Rechnung ca. 27 Prozent aus. Die sichtbare Materie – das uns vertraute Universum mit allen Sonnen, Planeten, mit allen Gasnebeln und uns Menschen – kommt nur auf nahezu fünf Prozent.

Das heißt: Rund 95 Prozent liegen noch im Wortsinne ziemlich im Dunkeln.

Welche Auswirkung hat die Dunkle Energie auf das weitere Schicksal des Universums?

Früher hat man vermutet, dass die Expansion des Alls irgendwann zum Ende kommen wird, dass sich irgendwann alle Galaxien aufgrund ihrer Gravitationskraft wieder anziehen, der Raum sich wieder verkleinert. Das Universum würde danach in einem *Big Crunch* enden – kollabieren.

Aufgrund der Dunklen Energie weiß man nun: Das Gegenteil ist der Fall.

Das Universum wird sich mit immer größerer Geschwindigkeit ausdehnen – irgendwann wird sich der Raum zwischen den Galaxien schneller als das Licht vergrößern. Dann können keinerlei Informationen mehr von A nach B gelangen; zum Beispiel werden sich benachbarte Galaxien so rasch voneinander entfernen, dass das Licht der einen nicht mehr zur anderen gelangt. Und irgendwann wird auch der Sternenhimmel finster.

Alles wird dann voneinander abgeschnitten sein, ein großes dunkles Nichts. Und nach Äonen wird auch innerhalb der Galaxien das Auseinanderstreben dominieren. Dann wird sich alles auflösen. Nichts wird mehr bleiben.

Dann wird jene Kraft, von der wir derzeit kaum etwas wissen, die Oberhand über alles gewinnen: Für alle Ewigkeit wird es die Zeit der Dunklen Energie sein.



Ohne die Dunkle Materie hätten sich weder Sterne noch Planeten gebildet, sagt Laura Baudis: Das All wäre nur eine öde Wüste aus Gas

Literatur

Lisa Randall, **Dunkle Materie und Dinosaurier**, S. Fischer. Die Astrophysikerin erklärt anschaulich die Rolle der Dunklen Materie in der Entwicklung des Universums.

Heather Cooper und Nigel Henbest, **Space. Eine Entdeckungsgeschichte des Weltalls**, Mairisch. Die Autoren schildern aus historischer Sicht die Erforschung der Dunklen Materie und anderer kosmischer Phänomene.