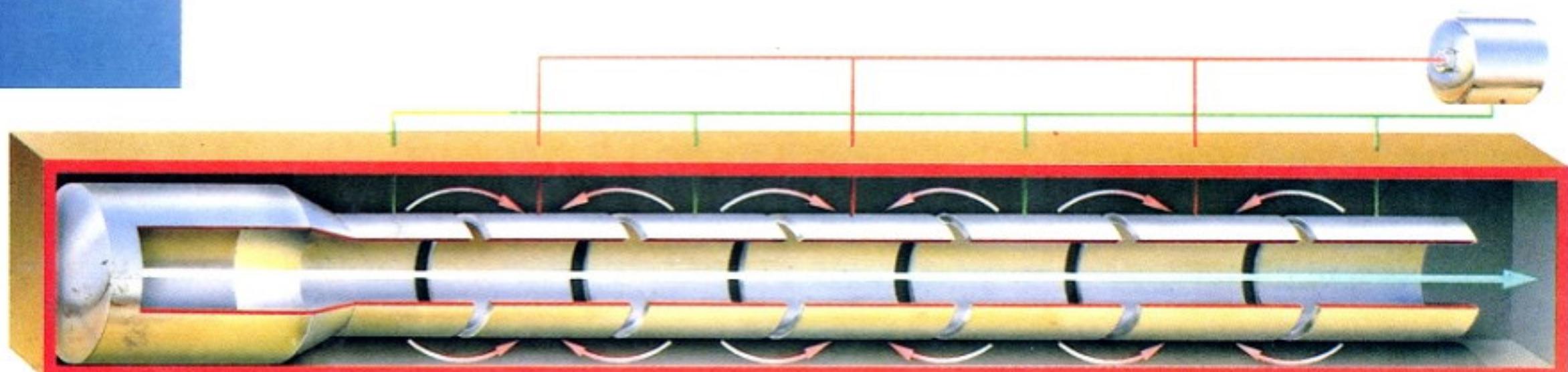
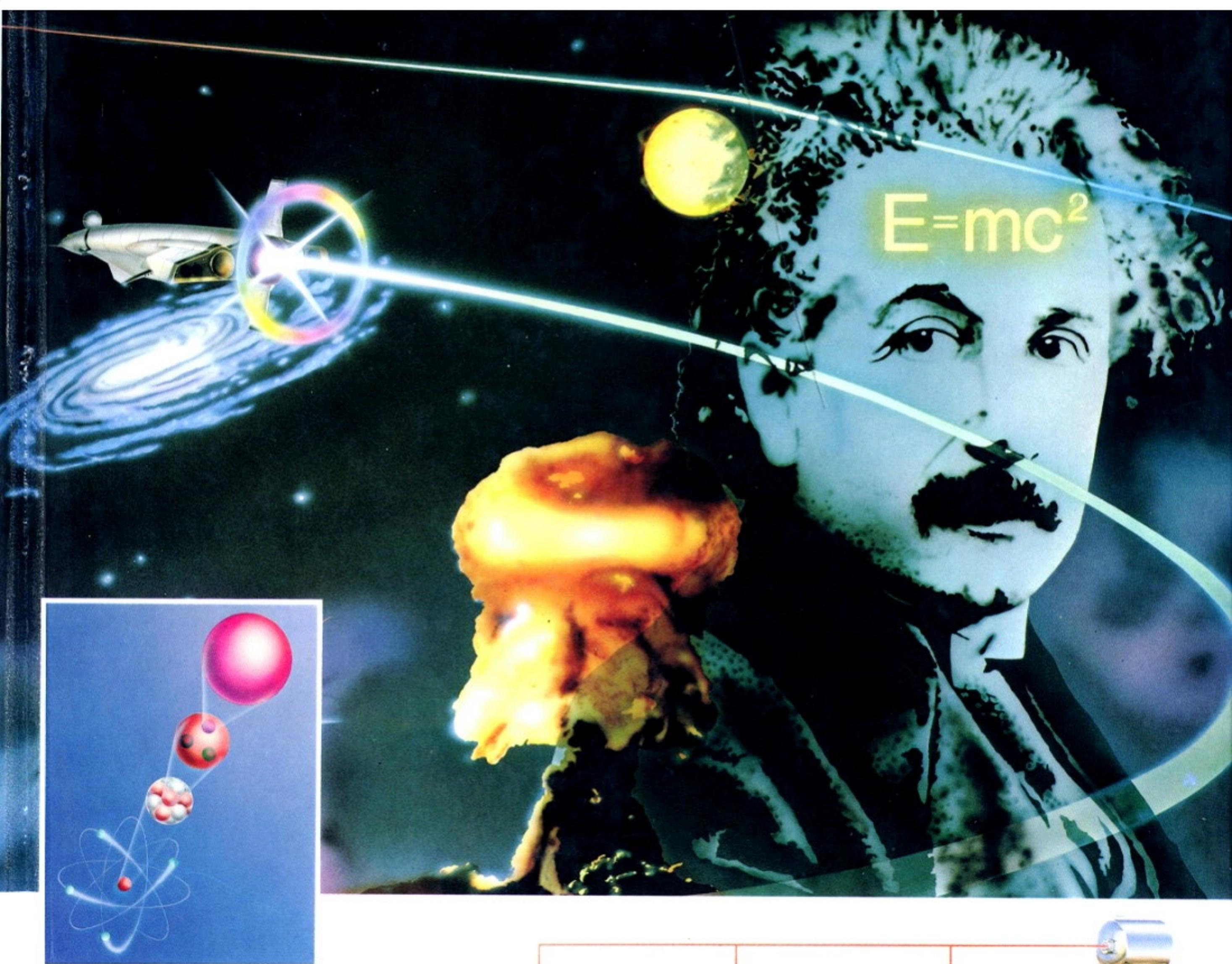


**WAS
IS
WAS****BAND 79**

Moderne Physik

Dr. Erich Übelacker





In dieser Reihe sind bisher erschienen:

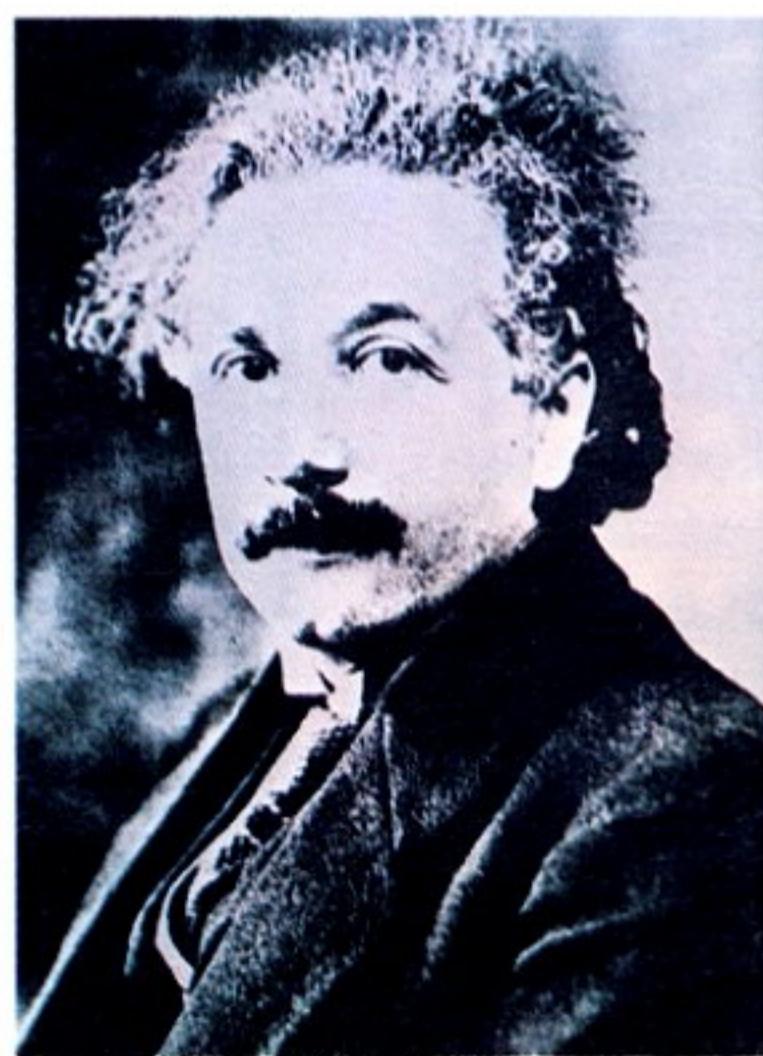
- | | |
|---|---|
| Band 1 Unsere Erde | Band 41 Fische |
| Band 2 Der Mensch | Band 42 Indianer |
| Band 3 Atomenergie | Band 43 Schmetterlinge |
| Band 4 Chemie | Band 44 Das Alte Testament |
| Band 5 Entdecker | Band 45 Mineralien und Gesteine |
| Band 6 Die Sterne | Band 46 Mechanik |
| Band 7 Das Wetter | Band 47 Elektronik |
| Band 8 Das Mikroskop | Band 48 Luft und Wasser |
| Band 9 Der Urmensch | Band 49 Leichtathletik |
| Band 10 Fliegerei | Band 50 Unser Körper |
| Band 11 Hunde | Band 51 Muscheln und Schnecken |
| Band 12 Mathematik | Band 52 Briefmarken |
| Band 13 Wilde Tiere | Band 53 Das Auto |
| Band 14 Versunkene Städte | Band 54 Die Eisenbahn |
| Band 15 Dinosaurier | Band 55 Das Alte Rom |
| Band 16 Planeten und Raumfahrt | Band 56 Ausgestorbene Tiere |
| Band 17 Licht und Farbe | Band 57 Vulkane |
| Band 18 Der Wilde Westen | Band 58 Die Wikinger |
| Band 19 Bienen und Ameisen | Band 59 Katzen |
| Band 20 Reptilien und Amphibien | Band 60 Die Kreuzzüge |
| Band 21 Der Mond | Band 61 Pyramiden |
| Band 22 Die Zeit | Band 62 Die Germanen |
| Band 23 Von der Höhle bis zum Wolkenkratzer | Band 63 Foto, Film, Fernsehen |
| Band 24 Elektrizität | Band 64 Die Alten Griechen |
| Band 25 Vom Einbaum zum Atomschiff | Band 65 Die Eiszeit |
| Band 26 Wilde Blumen | Band 66 Berühmte Ärzte |
| Band 27 Pferde | Band 67 Die Völkerwanderung |
| Band 28 Die Welt des Schalls | Band 68 Natur |
| Band 29 Berühmte Wissenschaftler | Band 69 Fossilien |
| Band 30 Insekten | Band 70 Das Alte Ägypten |
| Band 31 Bäume | Band 71 Seeräuber |
| Band 32 Meereskunde | Band 72 Heimtiere |
| Band 33 Pilze, Farne und Moose | Band 73 Spinnen |
| Band 34 Wüsten | Band 74 Naturkatastrophen |
| Band 35 Erfindungen | Band 75 Fahnen und Flaggen |
| Band 36 Polargebiete | Band 76 Die Sonne |
| Band 37 Computer und Roboter | Band 77 Tierwanderungen |
| Band 38 Prähistorische Säugetiere | Band 78 Münzen und Geld |
| Band 39 Magnetismus | Band 79 Moderne Physik |
| Band 40 Vögel | Band 80 Tiere – wie sie sehen, hören und fühlen |

Ein **WAS** Buch
WAS

Moderne Physik

Von Dr. Erich Übelacker

Illustrationen von Manfred Kostka



Albert Einstein

Tessloff Verlag · Hamburg

Vorwort

Wir leben in einem einmaligen, unvergleichlichen Jahrhundert. Die Welt des Menschen scheint aus allen Nähten zu platzen. Auf der einen Seite drohen uns Überbevölkerung, Umweltzerstörung und immer verheerendere Kriege zu erdrücken, auf der anderen Seite wurde seit dem Jahr 1900 mehr erforscht und entdeckt als in allen früheren Jahrtausenden der Menschheitsgeschichte. Während die Mondlandung oder die Entdeckung von Milliarden Milchstraßensystemen jedoch nur eine Erweiterung und Ergänzung der heilen und anschaulichen wissenschaftlichen Welt des 19. Jahrhunderts sind, ist die moderne Physik, der dieses Buch gewidmet ist, etwas ganz Neues, nie Dagewesenes.

Der Mensch mußte erkennen, daß sich die Natur im Bereich des Kleinsten, Größten und Schnellsten ganz anders als erwartet verhält. Zwar lassen sich die Eigenschaften von Atomkernen oder superschnellen Teilchen mathematisch exakt beschreiben, aber unser klarer Menschenverstand und unser Vorstellungsvermögen versagen völlig, wenn wir uns das Licht, die Atome oder den Aufbau des Universums anschaulichen wollen. Zwar gibt es

Modellvorstellungen, die sehr nützlich sind. Stellt man sich zum Beispiel das Licht als Wellenbewegung vor, so kann man viele seiner Eigenschaften verstehen. Auch unser etwas naives Bild vom Atom mit seinem schweren Kern und den Elektronen, welche diesen wie kleine Planeten umkreisen, ist oft sehr hilfreich. Aber alle diese Beschreibungen und Modelle erklären immer nur einen Teil der wahren Natur. Licht kann auch als Teilchenstrom auftreten, die Elektronen in den Atomhüllen sind plötzlich überall und nirgends, wenn man ihnen einen genauen Platz zuweisen will. Noch geheimnisvoller geht es in der Welt des Allerkleinsten, dem Reich der Quarks und Gluonen zu. Dieses Buch soll eine allererste Einführung in die moderne Physik sein und dem jungen Leser Begriffe wie Urknall, Lichtgeschwindigkeit, Relativität, DESY, Schwarzes Loch, Quark oder Lepton nahebringen. Vieles mußte sehr vereinfacht, anderes ganz weggelassen werden. Hoffen wir, daß die auf den folgenden Seiten beschriebene Physik des 20. Jahrhunderts Grundlage einer auf Frieden und Rettung der Umwelt ausgerichteten Technik des 21. Jahrhunderts sein wird.

Inhalt

Einstein und die Lichtgeschwindigkeit

Gibt es eine absolute Höchstgeschwindigkeit?	4
Was geschieht, wenn ich einem Lichtstrahl entgegenfliege?	5
Wer war Albert Einstein?	6
Was versteht man unter der Relativitätstheorie?	7
Gehen in schnellen Raumschiffen die Uhren anders?	8
Wird man einmal zu fernen Sternen fliegen?	9
Kann ich das Jahr 3986 erleben?	12
Kann ein Apfel 50 kg wiegen?	13
Kann man aus Materie Energie gewinnen?	15
Wie erzeugt die Sonne ihre Energie?	16
Was hat Einstein mit der Atombombe zu tun?	17
Was würde ein Raumfahrer in der Nähe eines Schwarzen Lochs erleben?	18

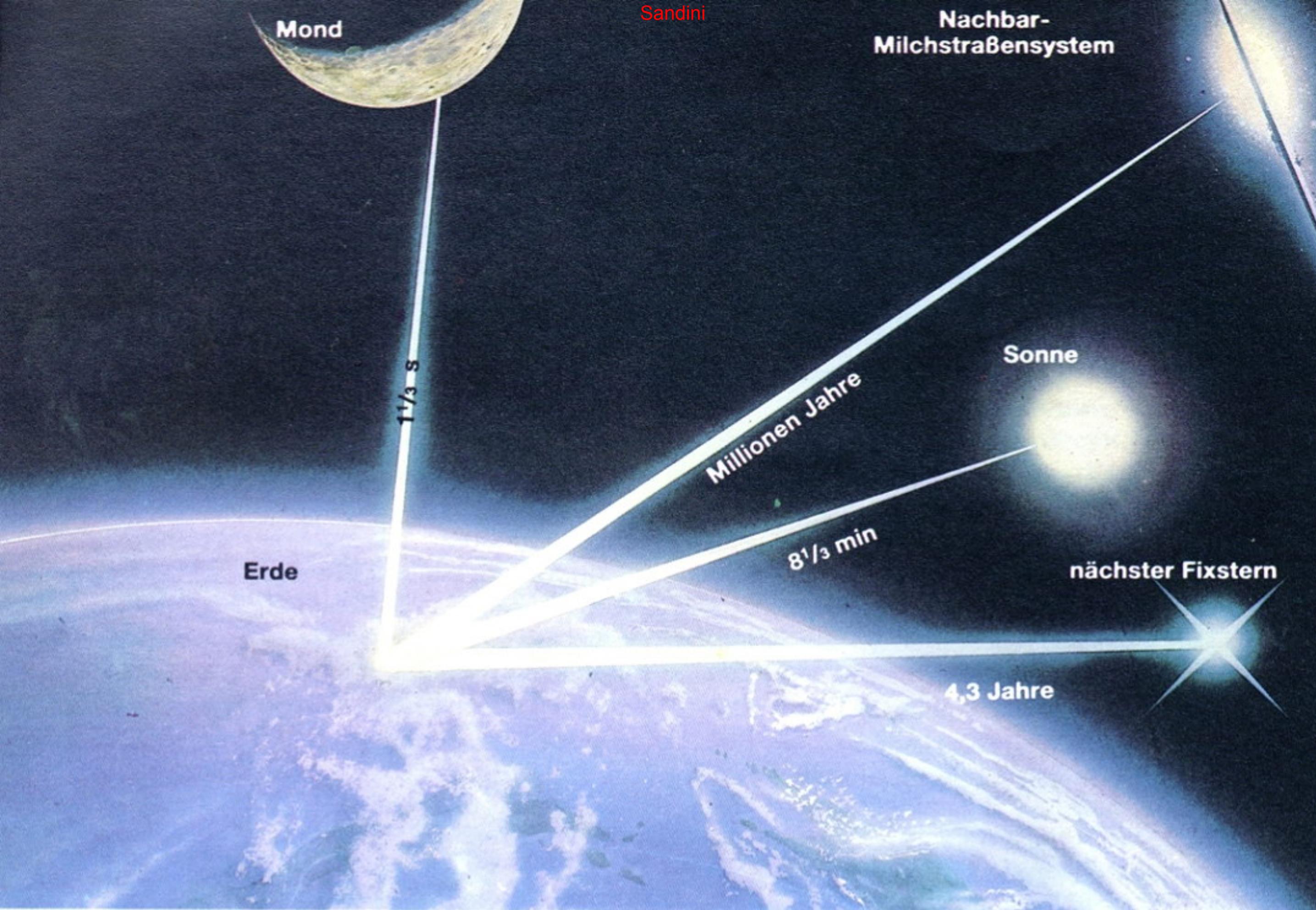
Die Welt der kleinsten Teilchen

Gibt es Lichtteilchen?	22
Was ist ein Atom?	23
Was ist ein Molekül?	24
Wie ist ein Atom aufgebaut?	25
Sind Elektronen wirklich kleine Planeten?	27
Aus was bestehen die Atomkerne?	28

Gibt es Antimaterie?	29
Was sind Quarks?	30
Kann man Quarks beobachten?	32
Was versteht man unter den vier Urkräften?	32
Was sind Leptonen?	33
Sind Elektronen Teilchen oder Wellen?	33
Wie erforscht man die kleinsten Teilchen?	34
Wie funktioniert ein Beschleuniger?	34
Gibt es <i>ein</i> Urteilchen und <i>eine</i> Urkraft?	36

Urknall und Ewigkeit

Warum leuchten die Sterne?	37
Was sind Galaxien?	38
Kann man die Geschwindigkeit von Sternen messen?	39
Bewegen sich die Galaxien?	40
Gab es den Urknall wirklich?	40
Wann ist das Weltall entstanden?	41
Wie sah das Weltall am Anfang aus?	43
Wann wurden die Weichen für unser irdisches Leben gestellt?	45
Wie entstanden Sterne und Planeten?	45
Wird sich das Weltall immer weiter ausdehnen?	45
Ist das Weltall unendlich groß?	46
Was wird einmal aus unsrer Erde?	47
Zerfällt einmal alle Materie?	48



Ein Lichtsignal vom Mond wäre $1\frac{1}{3}$ Sekunden, von der Sonne $8\frac{1}{3}$ Minuten, vom nächsten Fixstern 4,3 Jahre, von unseren Nachbarmilchstraßensystemen aber einige Millionen Jahre unterwegs, um die Erde zu erreichen.

Einstein und die Lichtgeschwindigkeit

Seit einigen Jahrhunderten weiß man,

Gibt es eine absolute Höchstgeschwindigkeit?

daß sich das Licht im luftleeren Raum mit der unvorstellbar hohen Geschwindigkeit von rund 300 000 km

pro Sekunde ausbreitet. Ein Lichtsignal, das ein Astronaut auf dem Mond absendet, ist nur $1\frac{1}{3}$ Sekunden bis zur Erde unterwegs, das Licht der 150 Millionen km entfernten Sonne erreicht uns in rund 8 Minuten. Man sagt, der Mond sei $1\frac{1}{3}$ Lichtsekunden, die Sonne $8\frac{1}{3}$ Lichtminuten entfernt.

Die Lichtgeschwindigkeit ist, wie viele Experimente beweisen, die absolute Höchstgeschwindigkeit für irgendwelche Signale, die wir zu Raumschiffen oder fernen Planeten senden oder von diesen empfangen können. Licht, Radiowellen oder auch Laserstrahlen bewegen sich im luftleeren Raum genau mit Lichtgeschwindigkeit. Raketen und Raumschiffe, aber auch Atome und Elementarteilchen müssen immer unter dieser magischen Grenzgeschwindigkeit bleiben. Ein Raumschiff des 23. Jahrhunderts könnte also, falls alle technischen Probleme gelöst werden sollten,

mit 95 % der Lichtgeschwindigkeit zum Sirius oder zur Wega fliegen, aber nie mit Überlichtgeschwindigkeit, wie man leider oft in schlechten Science-Fiction-Romanen lesen kann.

Fassen wir also zusammen: Die Lichtgeschwindigkeit ist die absolute Höchstgeschwindigkeit für Signale aller Art, Raumschiffe können sie nie zu 100 % erreichen, kurz: nichts kann sich schneller bewegen als das Licht.

Wenn wir irgendeine Lichtquelle, z. B.

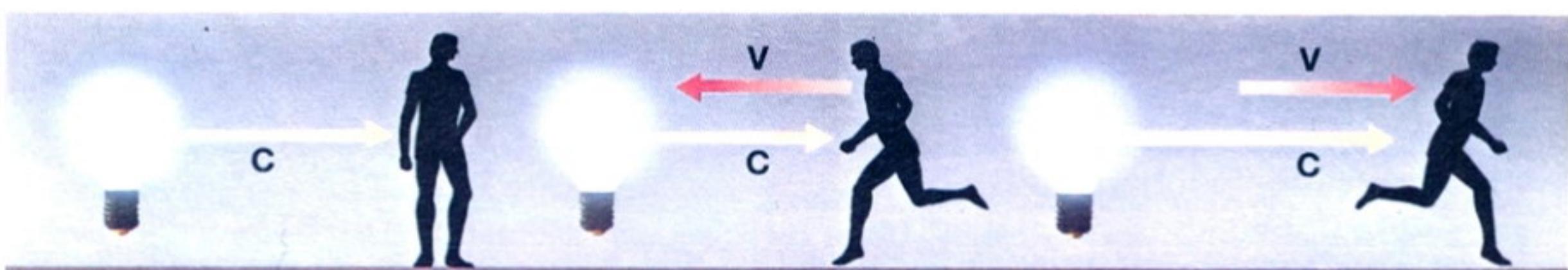
**Was geschieht,
wenn ich einem
Lichtstrahl
entgegenfliege?**

eine Glühlampe oder einen fernen Stern betrachten, so stellen wir fest, daß sich ihr Licht immer mit der gleichen Geschwindigkeit auf uns zu bewegt. Das ist an sich nichts Besonderes. Auch der Schall, der sich allerdings

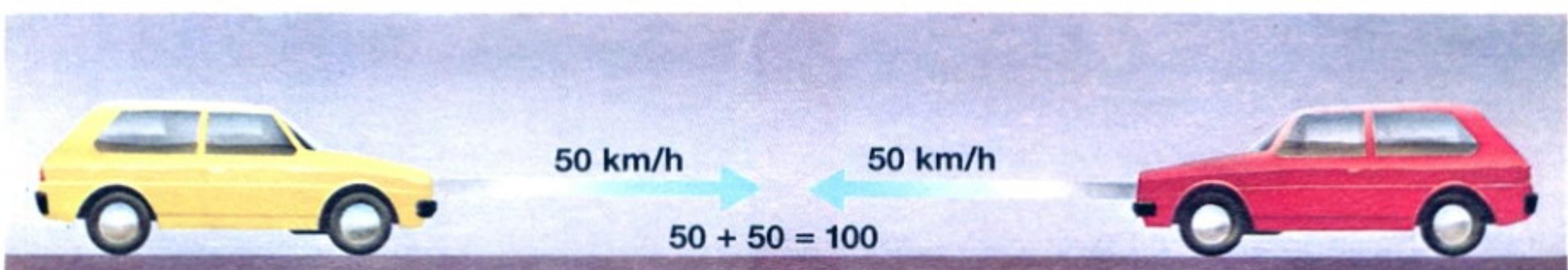
immer mit der gleichen Geschwindigkeit auf uns zu bewegt. Das ist an sich nichts Besonderes. Auch der Schall, der sich allerdings

nicht im luftleeren Raum ausbreiten kann, hat eine feste Geschwindigkeit. Aber nun kommt das Erstaunliche, absolut Neue und Unfaßbare. Bewegen wir uns mit einem Riesentempo gleichförmig auf die Lichtquelle zu, fliegen wir also dem Licht entgegen, so kommt es nicht etwa schneller als vorher auf uns zu, immer messen wir die gleiche Lichtgeschwindigkeit. Nähert sich zum Beispiel ein Raumfahrer mit 100 000 km/s einem Stern, der sein Licht mit 300 000 km/s aussendet, so erreicht ihn das Sternenlicht nicht mit 400 000 km/s, sondern nur mit 300 000 km/s.

Ähnlich ist es, wenn man von einer Lichtquelle wegfliegt. Selbst wenn wir uns in einem gedachten Raumschiff des 24. Jahrhunderts mit 90 % der Lichtgeschwindigkeit von einem Stern entfernen, sein Licht erreicht uns immer mit der gleichen, konstanten Geschwindig-



Das Licht erreicht uns immer mit der gleichen Geschwindigkeit $c = 300\ 000 \text{ km/s}$, ganz egal, ob wir gegenüber der Lichtquelle ruhen oder uns gleichförmig auf sie zu oder von ihr weg bewegen.



Fahre ich selbst mit 50 km/h und begegne einem Auto, das auch mit 50 km/h fährt, so kommt es mit $50 + 50 = 100 \text{ km/h}$ auf mich zu.



Fliege ich mit 100 000 km/s dem Licht eines Sterns entgegen, so kommt es nicht mit $100\ 000 + 300\ 000 = 400\ 000 \text{ km/s}$ auf mich zu sondern nur mit 300 000 km/s.



In einem sehr schnellen Raumschiff, das sich mit halber Lichtgeschwindigkeit an der Erde vorbeibewegt, wird ein Lichtblitz ausgelöst. Für den Wissenschaftler A im Raumschiff breitet sich das Licht mit der Lichtgeschwindigkeit c aus. Für den Beobachter B auf der Erde läuft das Lichtsignal im Raumschiff nicht, wie man annehmen könnte, mit $1\frac{1}{2}c$ sondern auch nur mit c .

keit von 300 000 km/s. Ganz egal, von wo wir Licht beobachten, ob von der Erde oder einem schnellen Raumschiff, immer hat es die gleiche Geschwindigkeit.

Diese sogenannte *Konstanz der Lichtgeschwindigkeit*, die streng genommen nur für ruhende oder gleichförmig bewegte Beobachter gilt, war bereits im vorigen Jahrhundert bekannt und ist eine der Grundlagen für die Relativitätstheorie von Albert Einstein, des vielleicht größten Wissenschaftlers aller Zeiten. Wie kein anderer Mensch hat er unser modernes Weltbild geprägt, auf fast jeder Seite dieses Buches werden

wir seinen genialen Ideen und Erkenntnissen begegnen.

Der große Physiker Albert Einstein wurde 1879 als Sohn jüdischer Eltern in Ulm geboren, wuchs in München auf und kam im Alter von 15 Jahren

in die Schweiz. 1902 erhielt der schüchterne junge Mann eine bescheidene Stellung als „Experte 3. Grades“ im Berner Patentamt. Niemand traute ihm damals zu, daß er nur drei Jahre später mit seiner Relativitätstheorie und vielen an-

Wer war Albert Einstein?

deren Arbeiten unser gesamtes Weltbild verändern würde.

Das Jahr 1905 wird wohl immer das bedeutendste in der Geschichte der modernen Physik bleiben. Einstein veröffentlichte in diesem Jahr nicht nur seine spezielle Relativitätstheorie, sondern legte mit zwei anderen Arbeiten auch den Grundstein zur modernen Atom- und Teilchenphysik.

Sehr schnell wurde er weltberühmt, bereits 1914 war er Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik in Berlin. 1915 erschien seine allgemeine Relativitätstheorie, 1921 erhielt er den Nobelpreis. 1933 verließ er zusammen mit vielen anderen bedeutenden Wissenschaftlern und Schriftstellern Deutschland, das bis dahin Zentrum der Weltforschung war. Diese Rolle übernahmen nun die Vereinigten Staaten von Amerika, in denen Einstein ein neues Zuhause fand.



Albert Einstein



Originalarbeiten von Albert Einstein

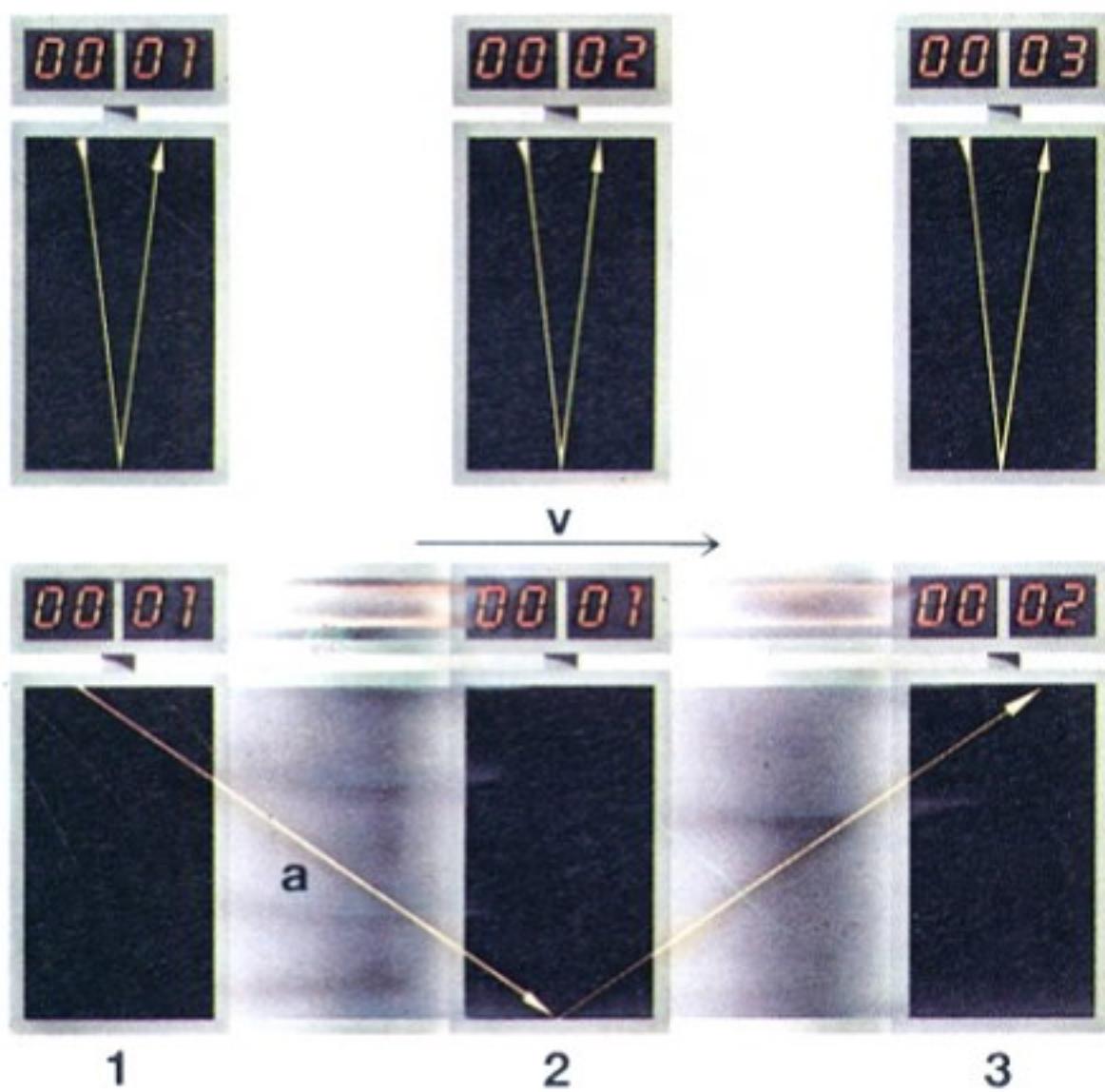
Daß die weltkriegsentscheidende Atombombe letzten Endes auch auf Einsteins Ideen zurückging, mag für manche einen Schatten auf diese große Forscherpersönlichkeit werfen. Seine späten Jahre verbrachte Einstein in Princeton (USA), wo er sich hauptsächlich mit der Vereinheitlichung aller Naturkräfte beschäftigte, ein zu hohes Ziel für ein kurzes Menschenleben. Albert Einstein starb am 18. 4. 1955.

Wie wir bereits gesehen haben, verhält sich die Natur im Bereich der höchsten Geschwindigkeiten ganz anders als erwartet. Auch in der Welt der kleinsten Teilchen und bei großen Schwerefeldern versagen unser Vorstel-

Was versteht man unter der Relativitätstheorie?

lungsvermögen und der sogenannte klare Menschenverstand völlig. Im Reich des Schnellsten, Größten und Kleinsten gibt es viele Naturvorgänge, die wir uns nicht vorstellen, aber in der Sprache der Mathematik exakt beschreiben können.

Hierfür gibt es verschiedene Theorien: Die *spezielle Relativitätstheorie* beschäftigt sich, sehr vereinfacht ausgedrückt, mit dem Bereich der höchsten Geschwindigkeiten, und zeigt, daß Raum, Zeit und Masse relativ, also vom Beobachter abhängig sind. Die *allgemeine Relativitätstheorie* beschreibt unter anderem den Einfluß von großen



Die Zeitdilatation kann man auch ohne höhere Mathematik verstehen. Eine „Lichtuhr“ soll folgendermaßen funktionieren: Ein Lichtsignal läuft in einem Gehäuse mit spiegelnden Innenflächen auf und nieder. Jedes Mal, wenn es oben ist, soll ein Zeiger um eine Einheit vorrücken. Diese Uhr soll mit einer großen Geschwindigkeit an uns vorbeifliegen. Für einen Mitreisenden würde die Uhr ganz normal funktionieren. Der Lichtstrahl würde im Rhythmus „tick-tack“ auf und nieder gehen. Für einen irdischen Beobachter würde die Uhr viel langsamer gehen. Wenn das Lichtsignal oben startet, ist die Uhr in Position 1, wenn es unten ankommt in Position 2. Da die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, braucht der Lichtstrahl nun eine viel längere Zeit, um von oben nach unten zu gelangen, da er ja die große Strecke „a“ zurücklegen muß. Genau so ist es für den Weg von unten nach oben. Für den irdischen Beobachter würde die Uhr im Rhythmus „tiiik – taaak“, also langsamer als für den Mitreisenden laufen.

Massen auf Raum und Zeit, insbesondere die Vorgänge in großen Schwerfeldern. Für das Reich der kleinsten Teilchen ist neben der Relativitätstheorie die Quantentheorie zuständig.

Die Tatsache, daß sich das Licht immer

Gehen in schnellen Raumschiffen die Uhren anders?

gleich schnell ausbreitet, ganz egal, von wo wir beobachten, hat erstaunliche Folgen, die in der speziellen Relativitätstheorie beschrieben werden. Hierzu gehört, daß Uhren, die sich sehr schnell an uns vorbewegen, von uns weg- oder auf uns zufliegen, für uns irdische Beobachter langsamer als bauliche Uhren auf der Erde laufen.

Rast zum Beispiel ein Raumschiff mit 99,9 % der Lichtgeschwindigkeit an uns vorbei, so vergehen bei uns rund 22 Se-

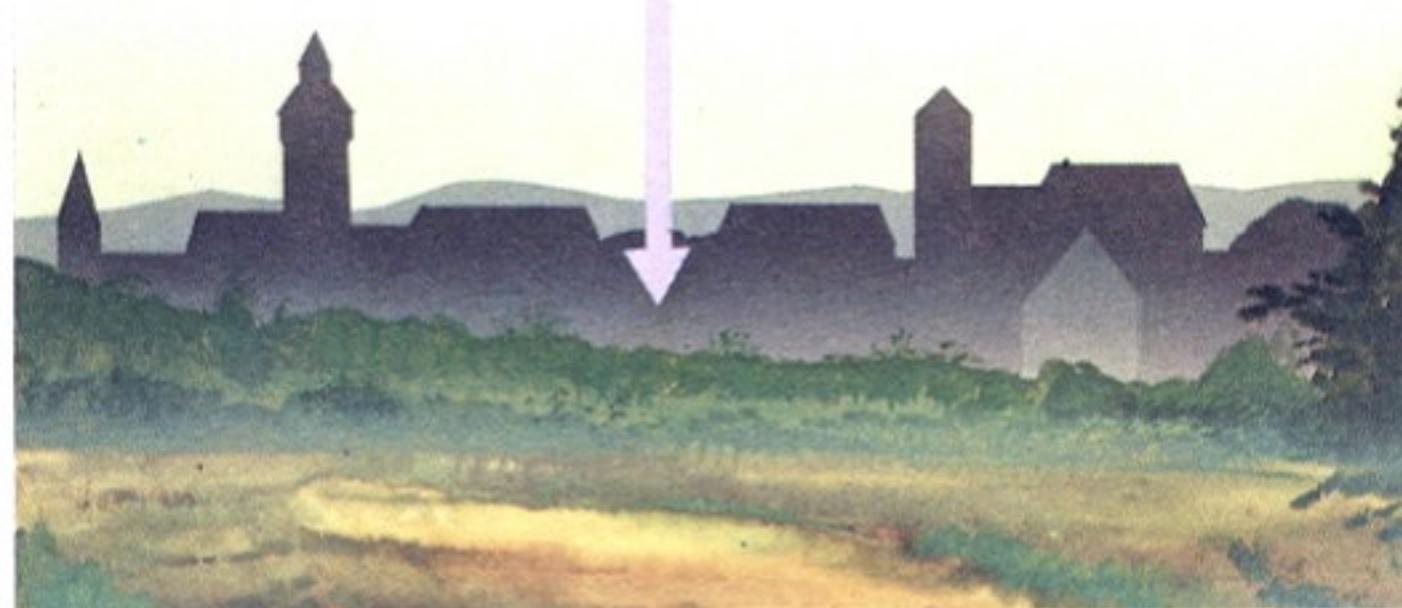
Fliegt ein Raumschiff mit 99,9 % der Lichtgeschwindigkeit an mir vorbei, so vergehen bei mir rund 22 Sekunden, wenn im Raumschiff der Zeiger um eine Sekunde vorrückt.



450 m

Myon 1,5 Mikrosekunden

20 km



Die Myonen leben rund 1,5 Mikrosekunden. Da sie etwa in 20 km Höhe entstehen, dürften sie uns eigentlich gar nicht erreichen, sondern müßten nach 450 m Wegstrecke zerfallen. Dennoch erreichen sie den Erdboden, da bei uns 80 Mikrosekunden vergehen, wenn die Teilchen, von sich aus gesehen, um 1,5 Mikrosekunden altern.

kunden, wenn der Zeiger im Raumschiff um eine Sekunde vorrückt. Die Uhr im Raumschiff geht für die praktisch ruhenden irdischen Beobachter 22mal langsamer als Uhren auf der Erde.

Nun kann man dieses Experiment noch nicht, vielleicht niemals durchführen, und doch ist die oben erläuterte Erscheinung, die sogenannte *Zeitdehnung* oder *Zeitdilatation*, nachweisbar. In großer Höhe, etwa 20 km über unseren Köpfen, entstehen in unserer Atmosphäre durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung *Myonen*, Teilchen, die so kurz leben, daß nach $1\frac{1}{2}$ millionstel Sekunden oder 1,5 Mikrosekunden schon die Hälfte von ihnen zerfallen ist. Eigentlich dürften die Myonen, auch wenn sie fast mit Lichtgeschwindigkeit auf uns zu rasen, gar nicht am Erdboden ankommen, sondern müßten nach einer Wegstrecke von etwa 450 m wieder zerfallen. Dennoch erreichen uns viele dieser Teilchen. Wie ist das möglich?

Die Relativitätstheorie gibt uns eine Antwort auf diese Frage: Da die Teilchen fast Lichtgeschwindigkeit erreichen, gehen ihre „Uhren“, von uns aus gesehen, langsamer. Wenn für sie 1,5 Mikrosekunden vergehen, dann läuft bei uns auf der Erde der Zeiger z. B. um 80 Mikrosekunden weiter, und in dieser viel längeren Zeit können uns die Teilchen erreichen. Das hier vereinfacht beschriebene Myonenexperiment war einer der ersten Beweise für die Richtigkeit der Einsteinschen Voraussagen. Inzwischen gibt es viele andere.

Die oben beschriebenen schnellen

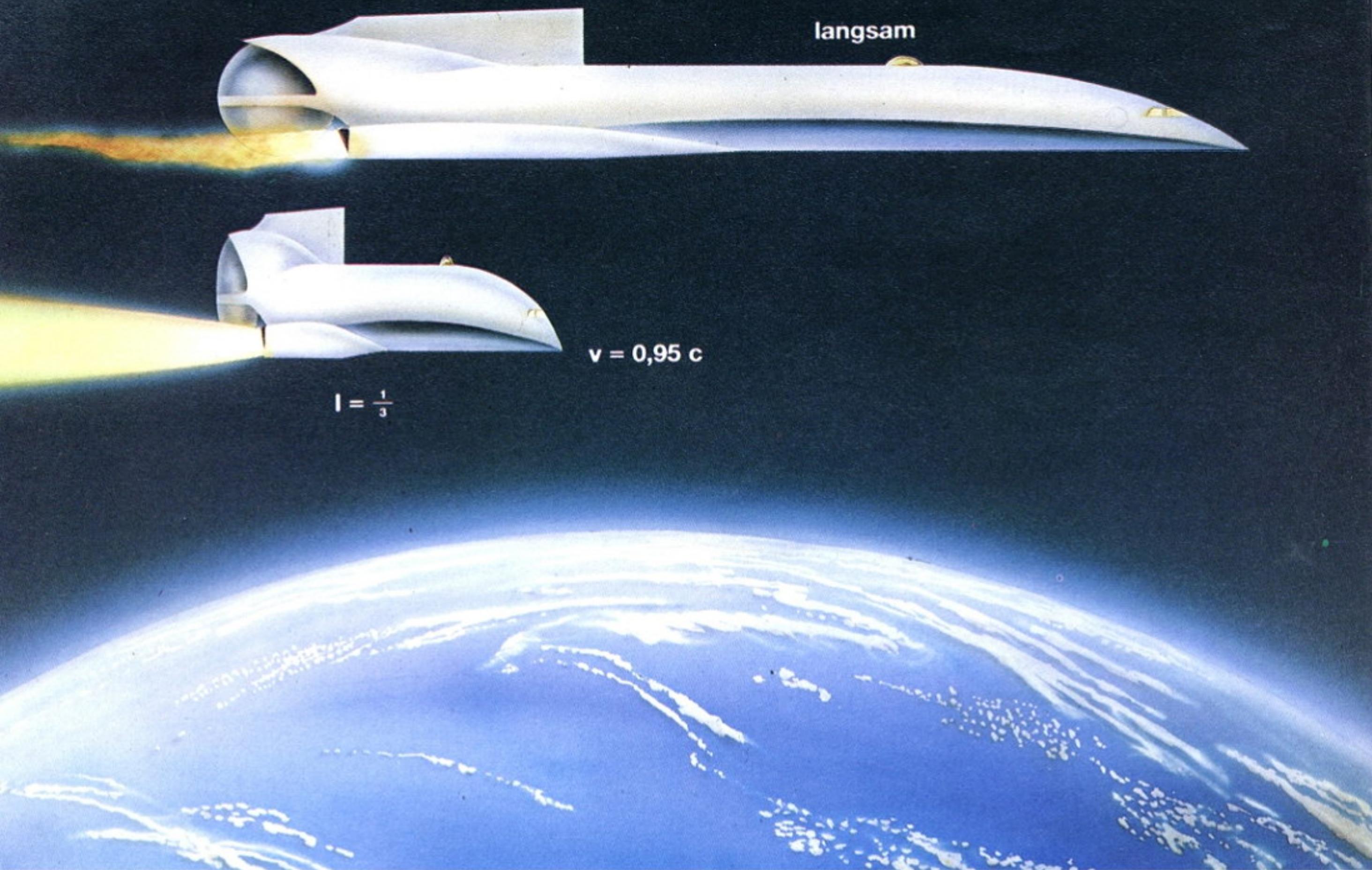
Wird man einmal zu fernen Sternen fliegen?

Myonen leben für uns 80 Mikrosekunden, sie selbst würden ihr Leben jedoch nur als 1,5 Mikrosekunden

empfinden. In dieser kurzen Zeit könnten sie, selbst wenn sie die höchste aller

Geschwindigkeiten, die Lichtgeschwindigkeit, erreichen würden, nur 450 m weit kommen. Wie schaffen sie es, von sich aus gesehen, in ihrem kurzen Teilchenleben 20 km zurückzulegen?

Hier hilft eine andere sehr wichtige Aussage der speziellen Relativitätstheorie weiter: Sehr schnell an uns vorbeifliegende Gegenstände erscheinen uns verkürzt. Man nennt dies die *Längenkontraktion*. Rast zum Beispiel ein 100 m langes Raumschiff mit 95 % der Lichtgeschwindigkeit an uns vorbei, so erscheint es uns rund 33 m lang, also etwa auf ein Drittel verkürzt.



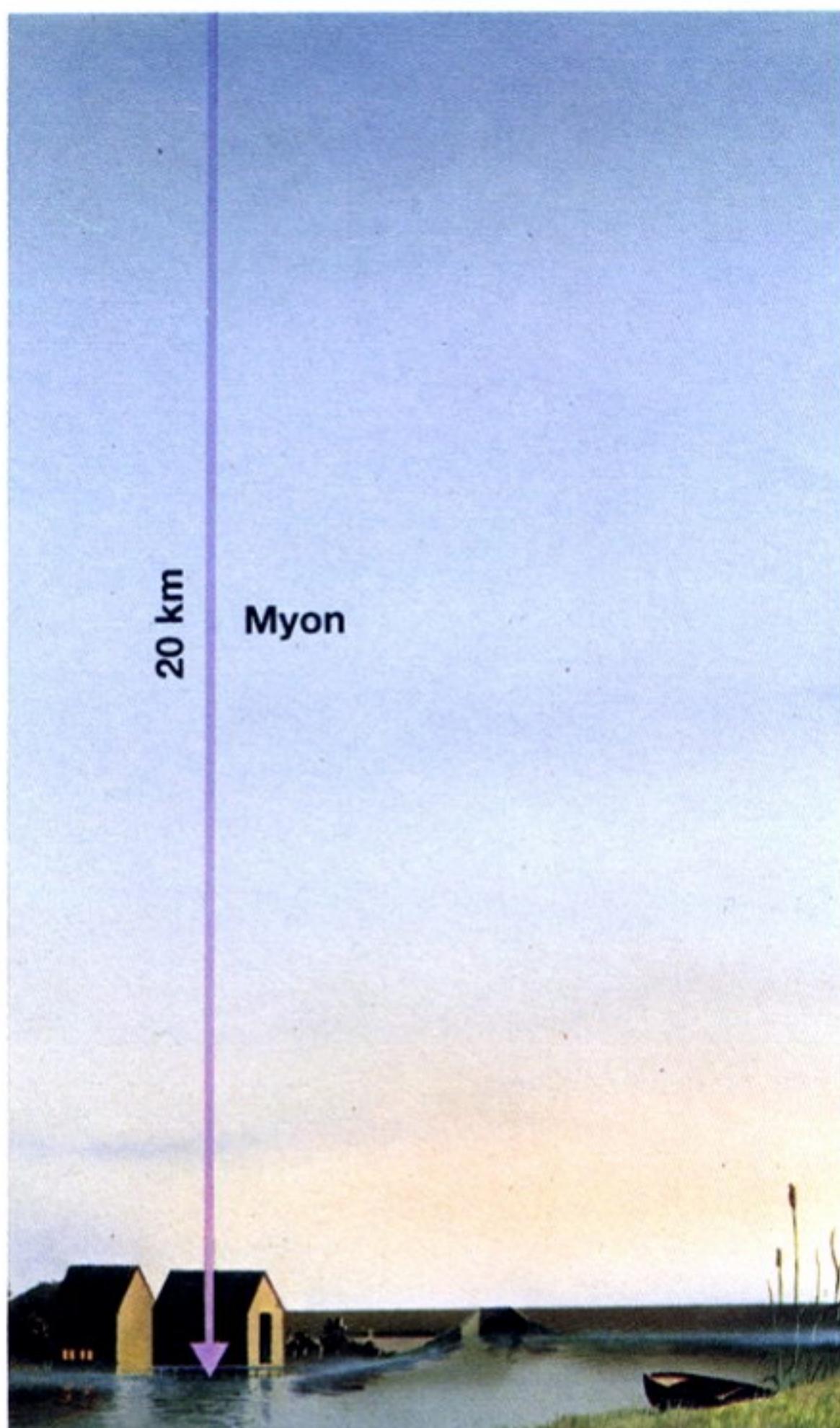
Fliegt eine Rakete mit 95 % der Lichtgeschwindigkeit an uns vorbei, so erscheint sie uns auf 1/3 verkürzt.

Ähnliches würden die Myonen erleben. Für sie fliegt die Erdatmosphäre mit fast Lichtgeschwindigkeit an ihnen vorbei und erscheint ihnen stark verkürzt. Die Höhe von 20 km schrumpft für sie auf etwa 300 m zusammen, und diese Strecke können sie in ihrem kurzen Teilchenleben durchfliegen und zur Erde gelangen. Raum und Zeit sind relativ und hängen vom Beobachter ab.

Auch für einen Astronauten, der sich der Lichtgeschwindigkeit nähert, würde der Raum immer mehr zusammenschrumpfen und ihm phantastische Möglichkeiten eröffnen. Allerdings ist es fraglich, ob dies je technisch möglich sein wird! Nehmen wir jedoch einmal an, der Raumfahrer sitzt in einem Raumschiff, dessen Geschwindigkeit in jeder Sekunde um 10 m/s steigt, eine Beschleuni-

gung, die er gut ertragen kann. Nach 4 Jahren Bordzeit, der Astronaut wäre also um 4 Jahre gealtert, wären auf der Erde 27 Jahre vergangen, und er hätte die von der Erde 26 Lichtjahre (1 Lichtjahr = 9,461 Billionen km) entfernte Wega erreicht. Dies ist möglich, weil ihm diese 26 Lichtjahre stark verkürzt erscheinen, ähnlich wie den Myonen ihre Wegstrecke zur Erde. Nach 8 Jahren Bordzeit wären auf der Erde 1 500 Jahre vergangen, das Raumschiff wäre beim von unserem Planeten 1 500 Lichtjahre entfernten Stern Deneb angekommen. Alle Freunde des Astronauten wären längst gestorben, wahrscheinlich hätte man ihn längst vergessen. Nach rund 15 Jahren Bordzeit, also immer noch zu Lebzeiten des Raumfahrers, wären auf der Erde 2 Millionen Jahre vergangen,

er hätte den Andromedanebel, ein anderes Milchstraßensystem, erreicht, welches für irdische Beobachter rund 2 Millionen Lichtjahre entfernt ist. Für den Astronauten allerdings wäre diese Ent-



Für die schnellen Myonen schrumpft eine Strecke von 20 km auf 300–400 m zusammen.

fernung extrem zusammengeschrumpft, so daß er, von sich aus gesehen, nie mit Überlichtgeschwindigkeit fliegen würde, was ja unmöglich ist.

Für ein Lichtteilchen oder Lichtquant, das genau mit Lichtgeschwindigkeit reist, schrumpft der Raum sogar zu einem Nichts zusammen, und seine Zeit steht still.

Fantastische Reise ins Weltall

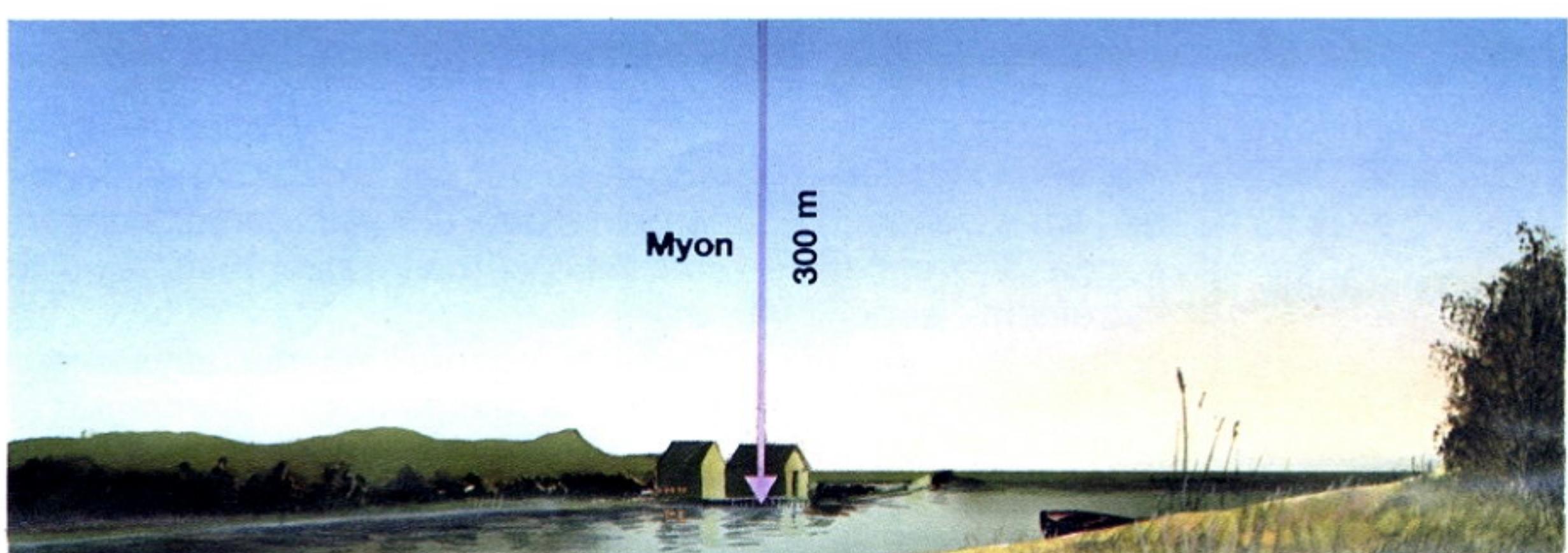
Bordzeit	Erdzeit	Entfern. v. d. Erde	v/c	Objekt
Jahre	Jahre	Lichtjahre		
1	1,18	0,54	0,76	
2	3,6	2,8	0,96	
4	27	26	0,9993	Wega
6	200	200	0,99999	
8	1 500	1 500		Deneb
10	11 000	11 000		
12	81 000	81 000		Milchstraße verlassen
15	2 Mio.	2 Mio.		Andromedanebel

1 Lichtjahr = 9,461 Billionen km

v = Reisegeschwindigkeit von der Erde aus gemessen

c = Lichtgeschwindigkeit

Ein Raumschiff, das sich fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, könnte in 15 Jahren Bordzeit den rund 2 Millionen Lichtjahre entfernten Andromedanebel erreichen. Von der Erde aus gesehen würde diese Reise 2 Millionen Jahre dauern.





Ein Mensch wird ungefähr 70, manchmal auch 100 Jahre alt. Dennoch könnte er, wenn er in einem superschnellen Raumschiff mit 99,94 %

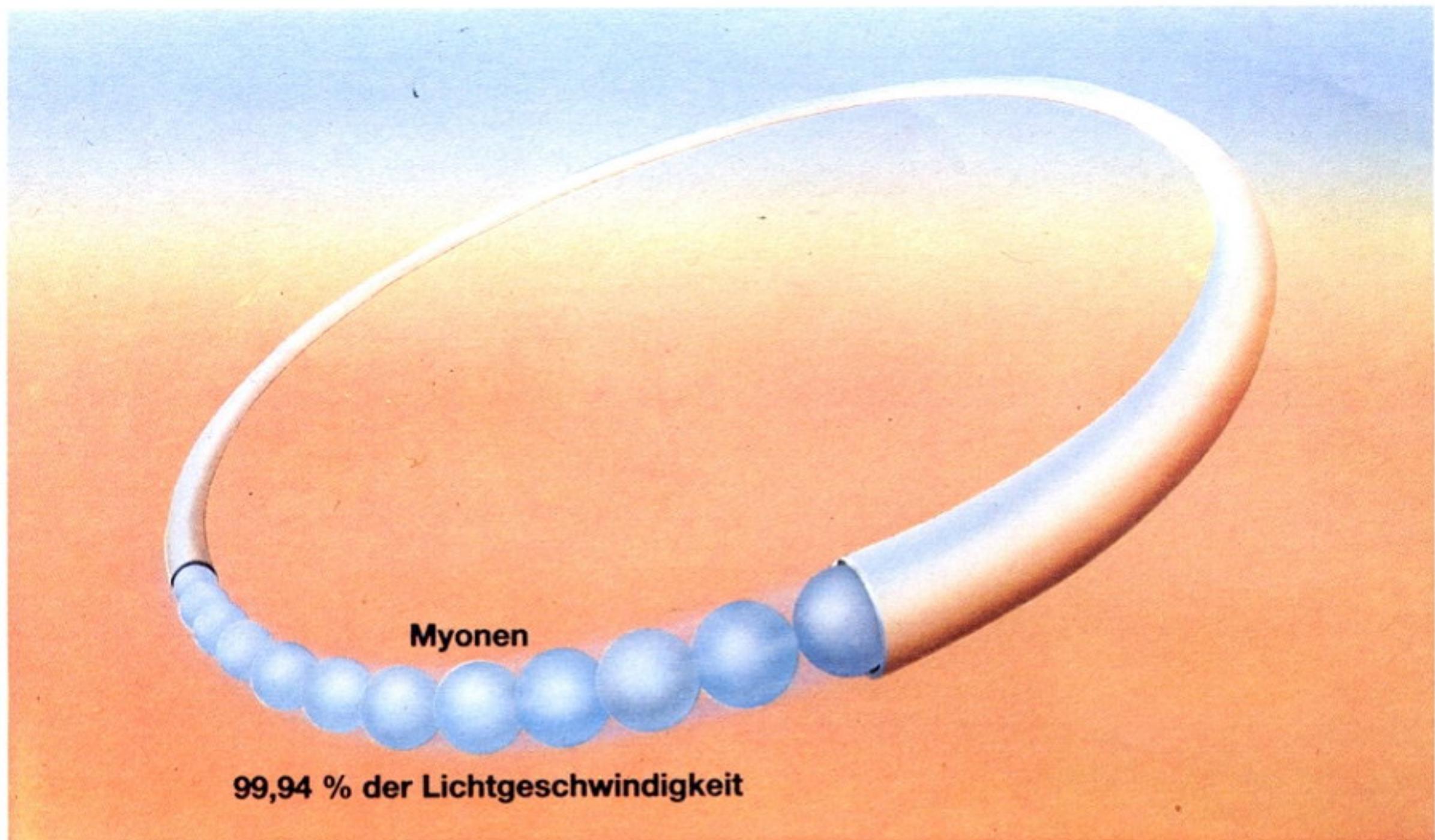
Kann ich das Jahr 3986 erleben?

der Lichtgeschwindigkeit eine Rundreise unternehmen würde, nach seiner Rückkehr das Jahr 3986 auf der Erde

Für einen Raumfahrer, der mit 99,94 % der Lichtgeschwindigkeit eine Schleife fliegt, vergehen 68 Jahre, wenn auf der Erde 2 000 Jahre vergehen. Kreist ein Myon, dessen Leben 1,5 Mikrosekunden dauert, mit 99,94 % der Lichtgeschwindigkeit, so beobachten wir von außen eine Lebensdauer des Teilchens von 44 Mikrosekunden.

erleben. Bei einer Reisezeit von 68 Jahren wären auf der Erde 2000 Jahre vergangen, der um 68 Jahre gealterte Astronaut würde im Jahr 3986 heimkehren.

Bei einer kürzeren, etwas langsameren Rundreise könnte unser Raumfahrer als 40jähriger vielleicht gerade noch seinen Zwillingsbruder begrüßen, der inzwischen ein 90jähriger Greis wäre. Dieses



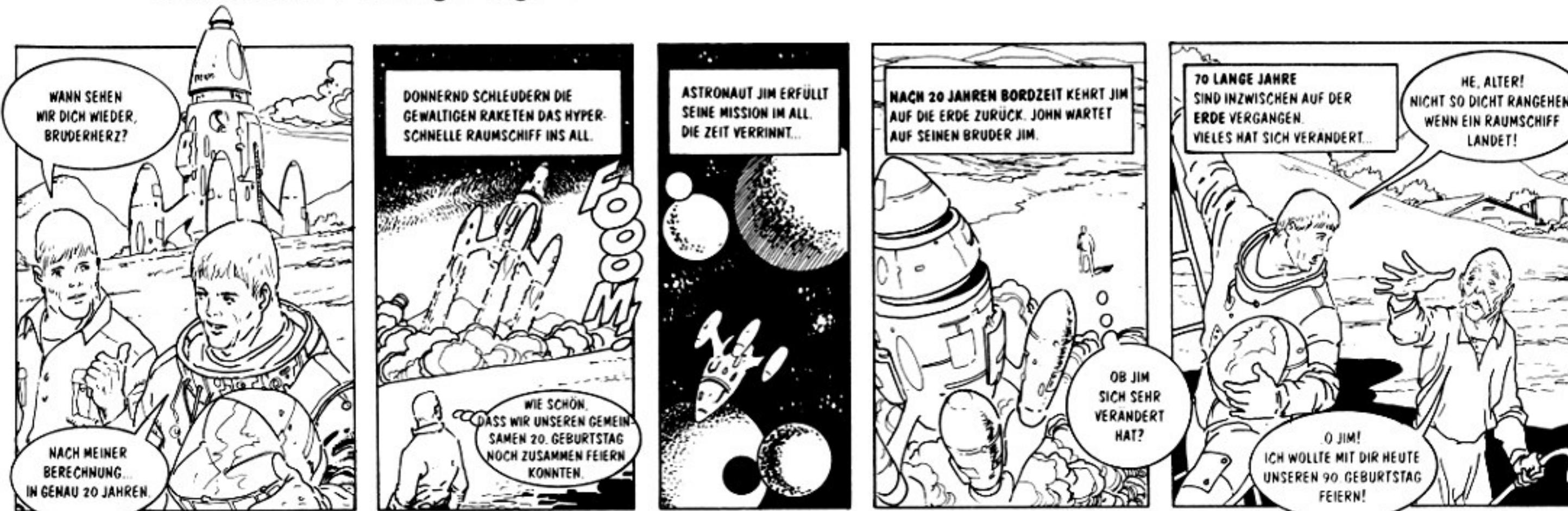
Kreist ein Myon, dessen Leben 1,5 Mikrosekunden dauert, mit 99,94 % der Lichtgeschwindigkeit, so beobachten wir von außen eine Lebensdauer des Teilchens von 44 Mikrosekunden.

„Zwillingsparadoxon“, zu dessen Erklärung übrigens die einfache spezielle Relativitätstheorie nicht ausreicht, hat lange Jahre hindurch die Gemüter bewegt. Heute kann man es leicht nachweisen, und wieder helfen uns die Myonen. Lassen wir diese Teilchen mit 99,94 % der Lichtgeschwindigkeit kreisen, so lebt für uns Außenstehende ein Myon 44 Mikrosekunden, obwohl es, von sich aus betrachtet, nur eine Lebensdauer von 1,5 Mikrosekunden hat. Sein Leben erscheint uns verlängert, genauso wie der

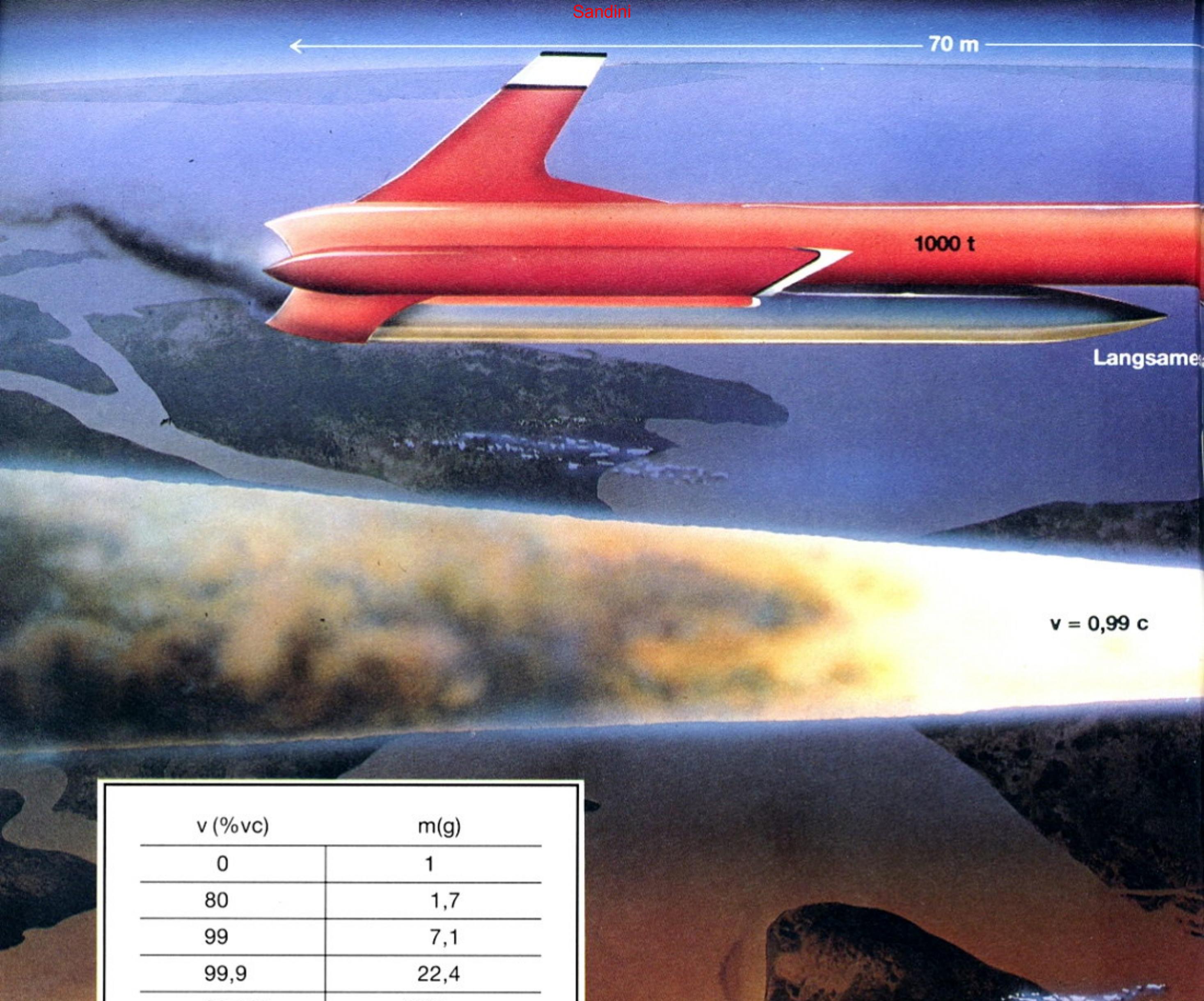
68jährige Lebensabschnitt des oben beschriebenen Astronauten für den irdischen, ruhenden Beobachter 2000 Jahre dauert.

Ein schnell bewegter Gegenstand besitzt eine Bewegungsenergie, die um so höher ist, je mehr Masse er hat und je größer seine Geschwindigkeit ist. Ein LKW mit 10 Tonnen Masse

Kann ein Apfel 50 Kilo wiegen?



Ein Raumfahrer verabschiedet sich von seinem 20jährigen Zwillingsbruder, um zu einem fernen Stern zu reisen. Nach 20 Jahren Bordzeit kehrt er heim, er ist inzwischen 40 Jahre, sein Zwillingsbruder 90 Jahre alt.



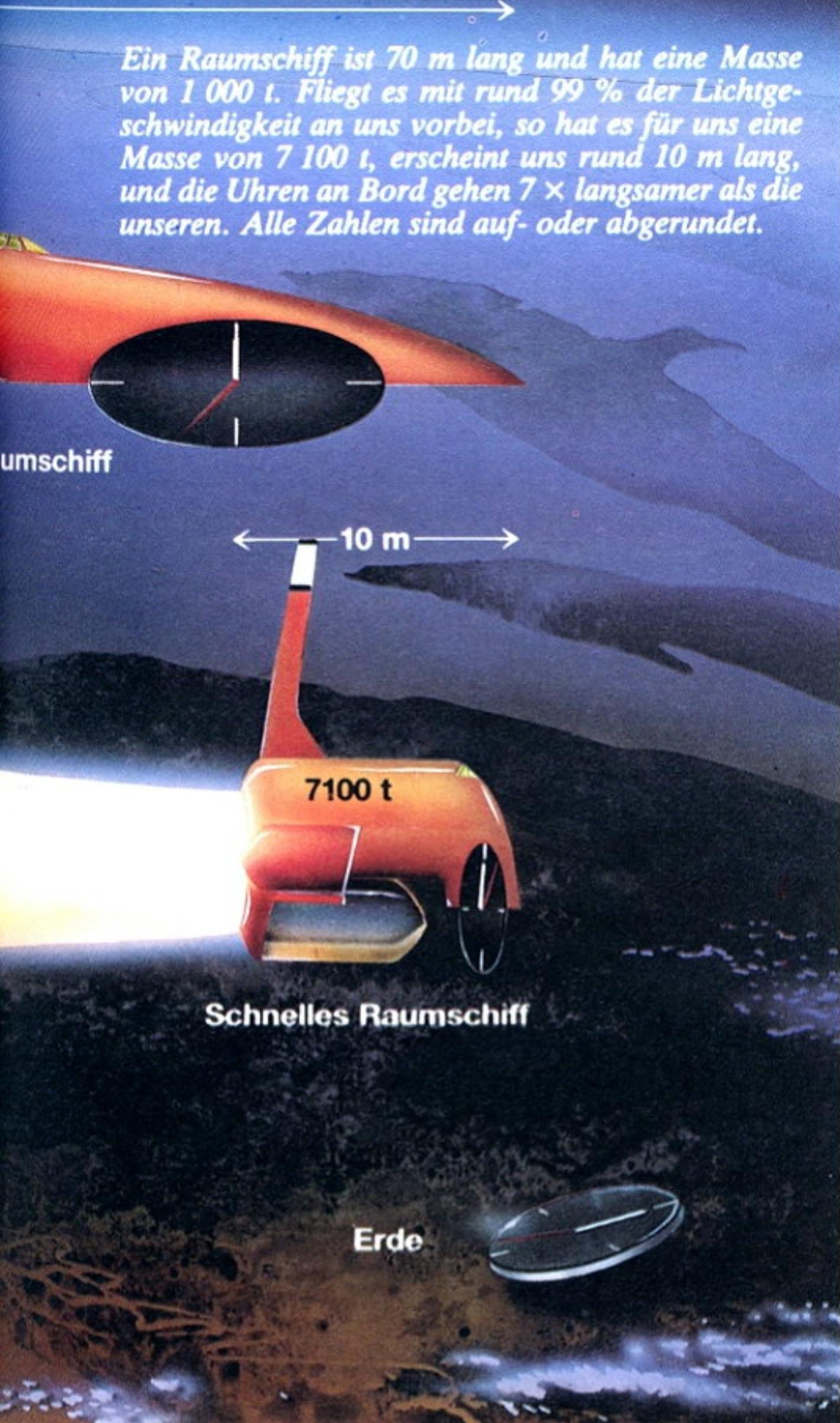
v (%vc)	m(g)
0	1
80	1,7
99	7,1
99,9	22,4
99,999	224
100	unendlich

und 100 km/h hat zum Beispiel mehr Bewegungsenergie als ein Vogel mit 20 g Masse und 20 km/h. Wenn man bei einem Auto die Bewegungsenergie erhöht, also Gas gibt, vergrößert man seine Geschwindigkeit, seine Masse bleibt unverändert. Es hat zum Beispiel immer 1 000 kg Masse, egal wie schnell es fährt.

Was passiert aber, wenn sich ein Zukunftsraumschiff mit fast Lichtgeschwindigkeit bewegt, und man, z. B.

durch Feuer der Triebwerke, noch mehr Bewegungsenergie hineinsteckt? Die Geschwindigkeit kann kaum mehr erhöht werden, da die höchste aller Geschwindigkeiten fast erreicht ist; also muß, so schloß Einstein, die Masse des Raumschiffes größer werden. Eine solche Massenzunahme stellen die Wissenschaftler bei DESY und CERN (Anlagen zur Teilchenbeschleunigung) täglich Millionenmal fest, wenn sie kleine Teilchen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen.

Aber kommen wir zurück zu unserer Rakete. Nach Einsteins Formeln hat sie, wenn sie ruhend 1 Tonne Masse besitzt,



bei 80 % der Lichtgeschwindigkeit rund 1,7 Tonnen, bei 99 % der Lichtgeschwindigkeit 7,1 Tonnen und bei 99,999 % 224 Tonnen. Das ist übrigens der Grund, warum ein Raumschiff nie die Lichtgeschwindigkeit erreichen kann. Nähert man sich dieser magischen Grenzgeschwindigkeit, so wird seine Masse praktisch unendlich groß, und man müßte unendlich starke Triebwerke haben, um das Raumschiff noch schneller zu machen.

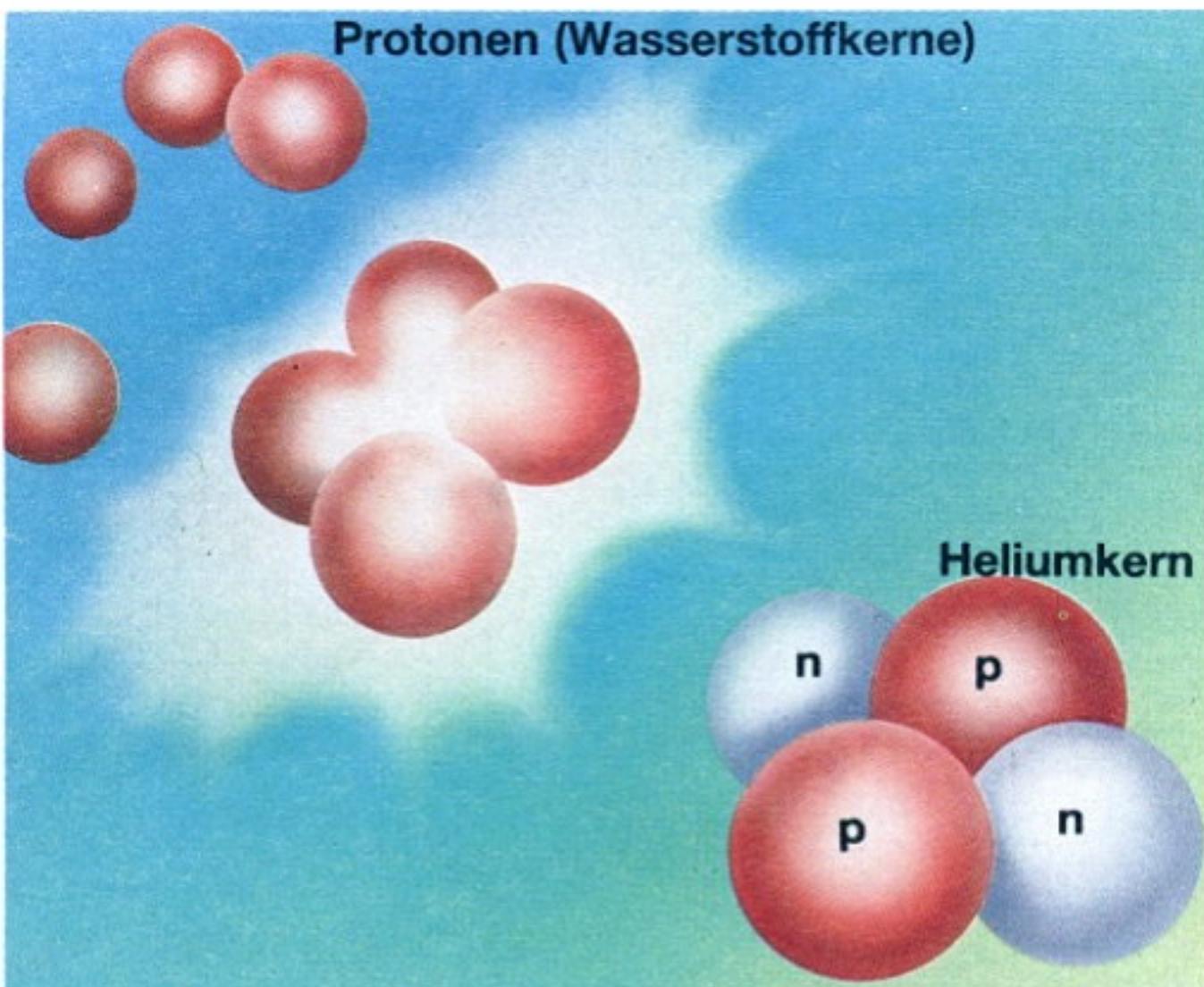
Wir sehen, auch die Masse eines Gegenstandes ist relativ, sie hängt vom Beobachter ab. Ein Raumschiff, das für einen Mitreisenden die Masse von 1 000

Tonnen hat, besitzt für uns Außenstehende 7 100 Tonnen, wenn es mit rund 99 % der Lichtgeschwindigkeit an uns vorbeirast. Ein großer Apfel hätte für uns eine Masse von 50 kg, wenn er mit 99,999 % der Lichtgeschwindigkeit an uns vorbeifliegen würde. Natürlich kann niemand einen Apfel auf eine so hohe Geschwindigkeit beschleunigen. Bei Elementarteilchen ist dies dagegen möglich. So wurden z. B. an der Universität Zürich Elektronen genau auf 99 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und mit Hilfe elektrischer und magnetischer Felder abgelenkt. Aus den Bahnkurven konnte die Masse der Elektronen bestimmt werden. Sie war, wie von Einstein vorausberechnet, rund siebenmal größer als die Masse von ruhenden Elektronen. Heute ist es bei DESY, einem Forschungsinstitut bei Hamburg, eine Kleinigkeit, die Masse von Elementarteilchen sogar um das Sechstausendfache zu erhöhen.

Stecken wir Energie in ein sehr schnelles Teilchen, so erhöhen wir seine Masse. Masse ist also, so schloß Einstein, nur eine Energieform. Wie wir gesehen haben, kann die Triebwerksenergie eines superschnellen Raumschiffs ja in Masse umgewandelt werden, genauso wie man z. B. elektrische Energie in Wärme umwandeln kann. Umgekehrt, so folgerte Einstein weiter, muß man dann aber auch aus Masse Energie gewinnen können. Genau das sagt die vielleicht bekannteste und berühmteste Formel der ganzen Physik

$$E = mc^2$$

aus. Eine Masse m kann in einen gigantischen Energiebetrag E umgewandelt werden, den man erhält, wenn man sie mit dem Quadrat der riesigen Lichtge-



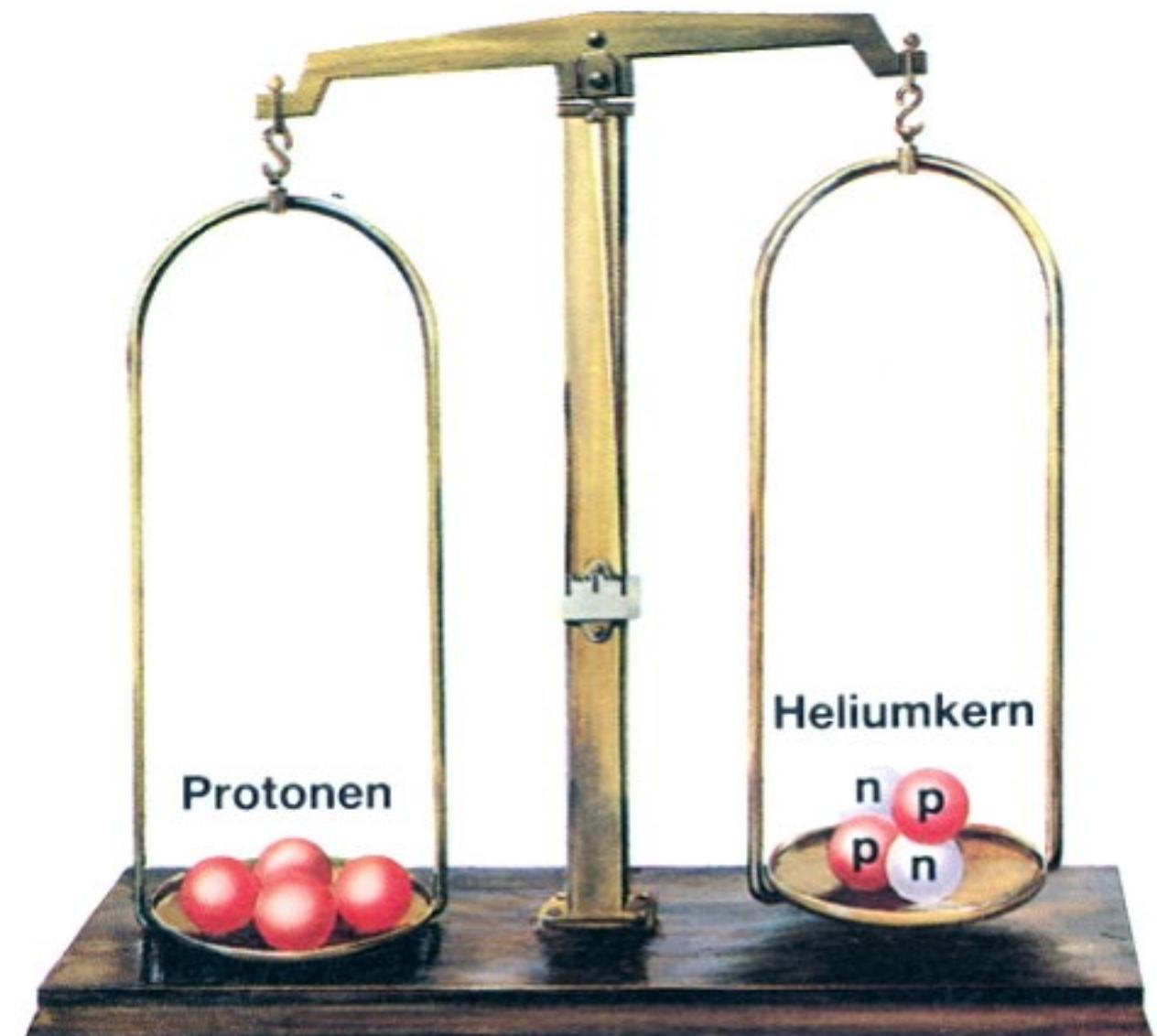
Aus 4 Wasserstoffkernen (Protonen) entsteht in der Sonne über einige Zwischenstufen ein Heliumkern. Die 4 Bausteine haben mehr Masse als der aus ihnen entstehende Heliumkern. Es geht also Masse verloren, die in Energie umgewandelt wird.

schwindigkeit c multipliziert. Sowohl die Sonne als auch die Atombombe setzen gewaltige Energiebeträge frei, indem sie Masse in Energie umwandeln.

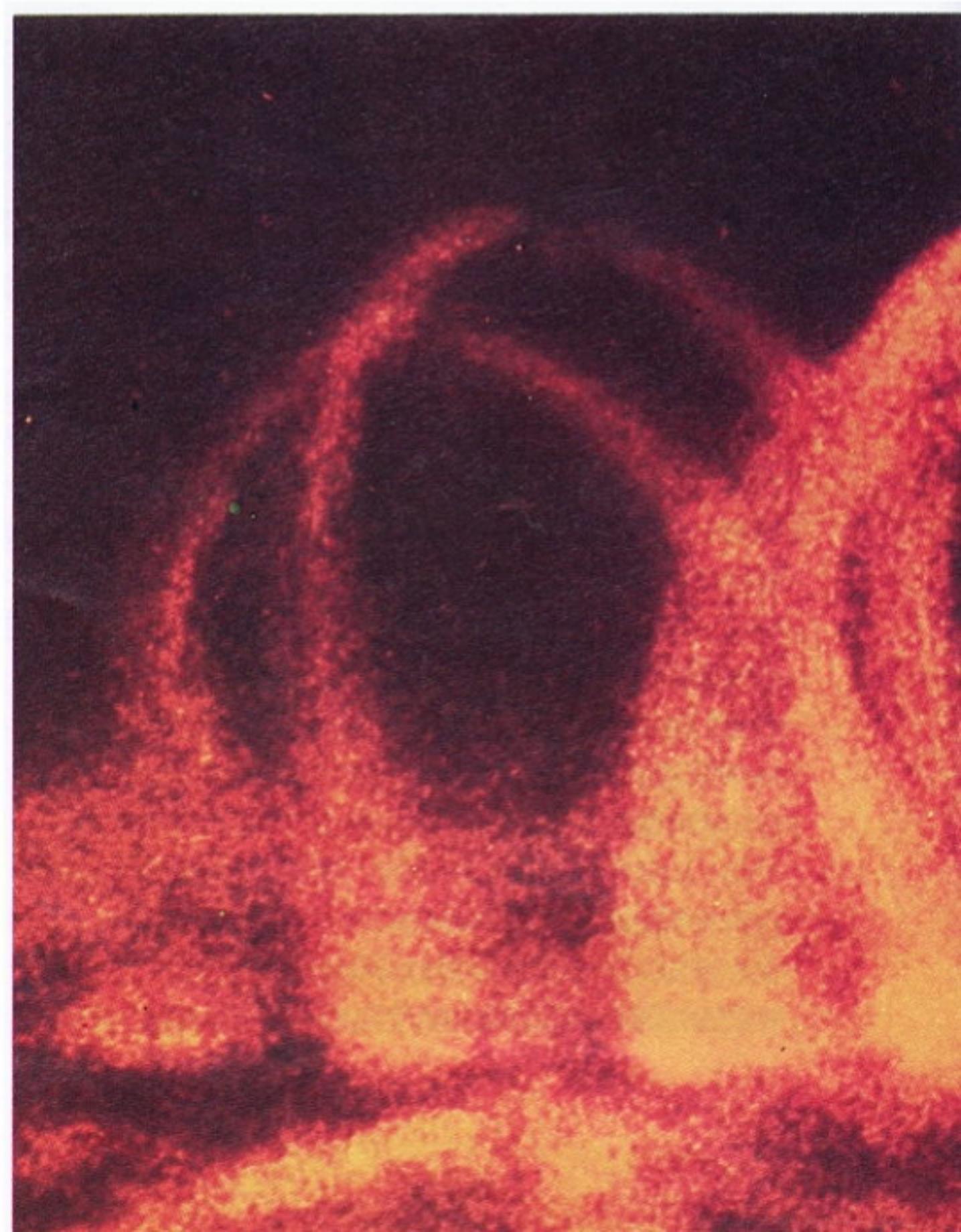
Im Sonneninneren herrschen für uns un-

Wie erzeugt die Sonne ihre Energie?

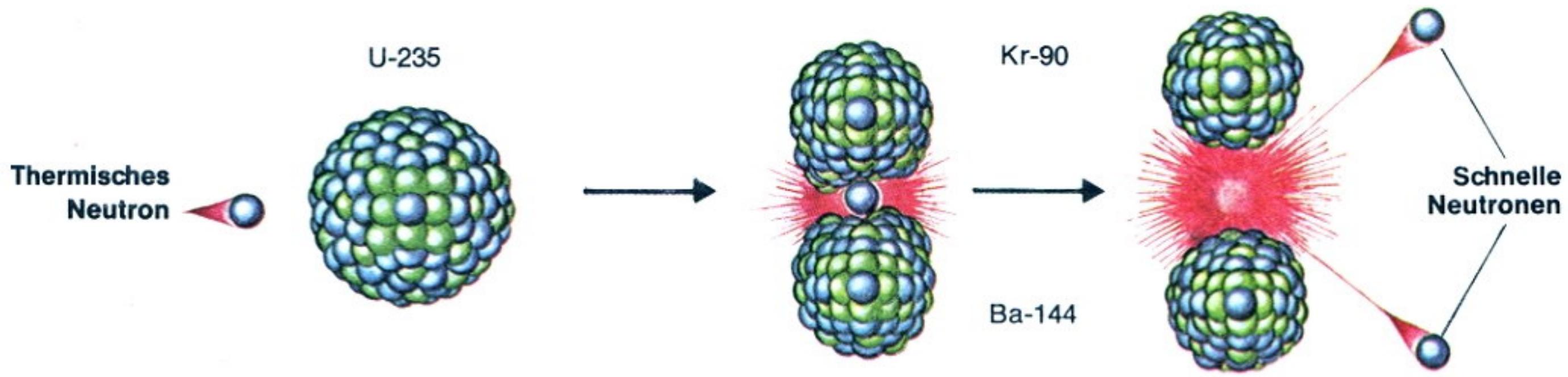
vorstellbare Bedingungen. Bei 15 Millionen Grad und 200 Milliarden Atmosphären Druck werden, sehr vereinfacht ausgedrückt, Wasserstoffatomkerne in Heliumkerne umgewandelt. Aus je 4 Wasserstoffkernen entsteht über einige Zwischenstufen ein Heliumkern. Dieser hat deutlich weniger Masse als seine 4 Bausteine. Es geht also Masse verloren, die nach Einsteins Formel in Energie umgewandelt wird. Diesen Vorgang nennt man *Kernfusion*. Die Sonne verbraucht in jeder Sekunde 564 Millionen Tonnen Wasserstoff, aus dem 560 Millionen Tonnen Helium entstehen. Die restlichen 4 Millionen Tonnen, das sind nur 0,7 % des Brenn-



stoffes, werden zu Energie, die schließlich in Form von Licht und Wärme abgestrahlt wird. Trotz ihres großen Brennstoffverbrauchs kann unsere Sonne 10 Milliarden Jahre lang scheinen, von denen sie rund 5 Milliarden hinter sich hat. Sie steht also in der Mitte ihres Lebens.



Unsere Sonne – Kernenergie für Jahrtausende.



Bei der Atombombe oder im Atomkraftwerk wird ein großer Plutonium- oder Uranskern durch ein Neutron gespalten. Dabei entstehen 2 kleinere Atomkerne und neue Neutronen, die wiederum Kerne spalten können.

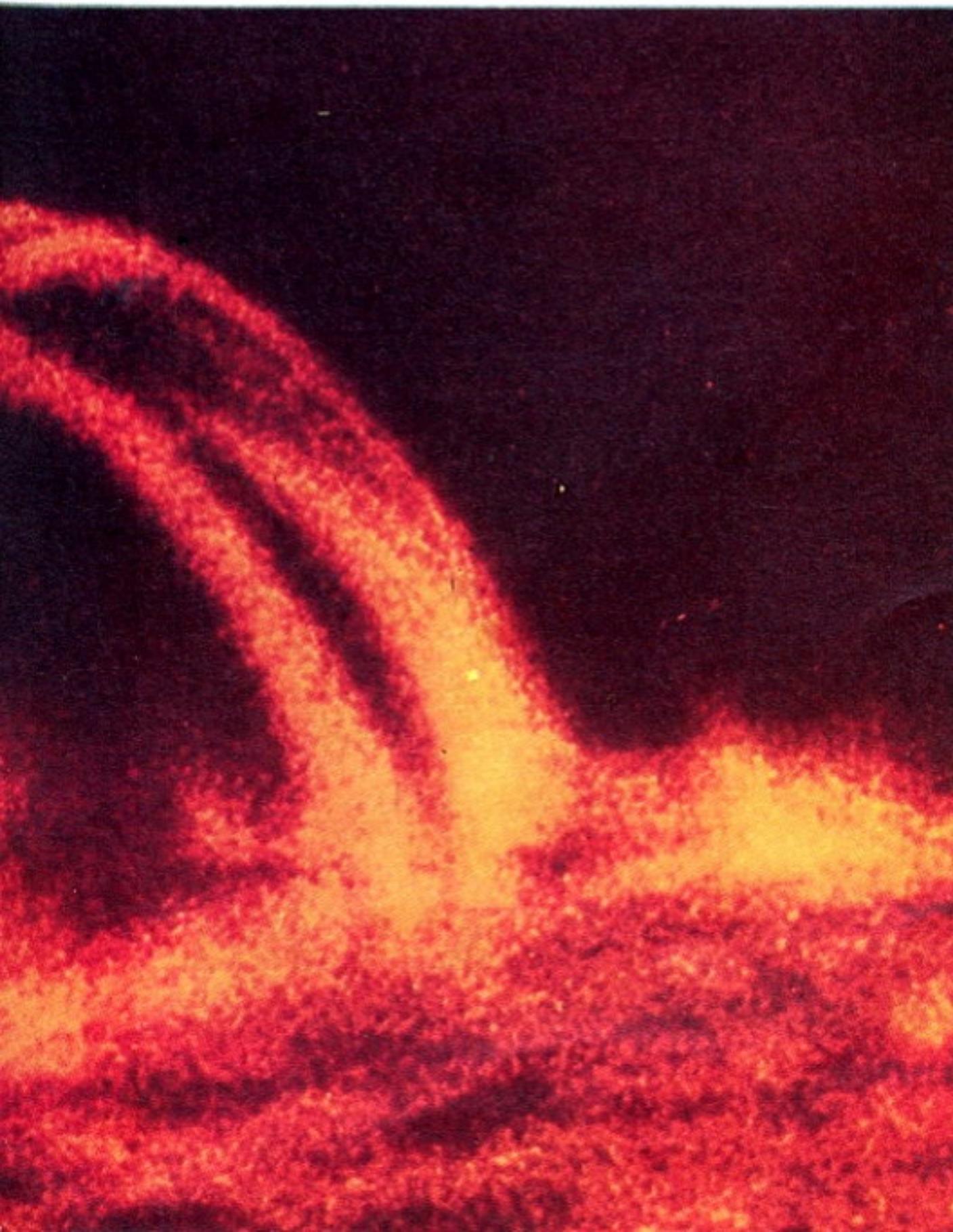
Auch in der Atombombe und im Kernreaktor wird Masse in Energie umgewandelt. Dabei wird z. B. ein großer Uran-Atomkern von einem kleinen Teilchen, einem Neutron, getroffen. Der Uranskern wird dabei in zwei mittelschwere Atomkerne gespalten, außerdem entstehen einige neue Neutronen, die ihrerseits Urankerne treffen und spalten können. Wichtig ist dabei folgendes: die bei der Spaltung neu entstehenden Kerne und Teilchen haben weniger Masse als der Ausgangskern

Was hat Einstein mit der Atombombe zu tun?

und das ihn treffende Neutron. Wieder geht, wie im Sonnenzentrum, Masse verloren, diesmal allerdings durch *Kernspaltung*. Die verlorengegangene Masse wird auch hier nach Einsteins Formel $E = mc^2$ in riesige Energiebeträge umgewandelt. Bei der Atombombe geschieht dies explosionsartig, viele Kerne werden in einer sogenannten Kettenreaktion fast gleichzeitig gespalten. Beim Atomkraftwerk spaltet man nur so viele Kerne, wie man für eine gleichmäßige Energieproduktion benötigt.



Bei der Atombombe, aber auch im Kernkraftwerk, wird Masse in Energie umgewandelt.



Bis jetzt haben wir uns im wesentlichen

Was würde ein Raumfahrer in der Nähe eines Schwarzen Lochs erleben?

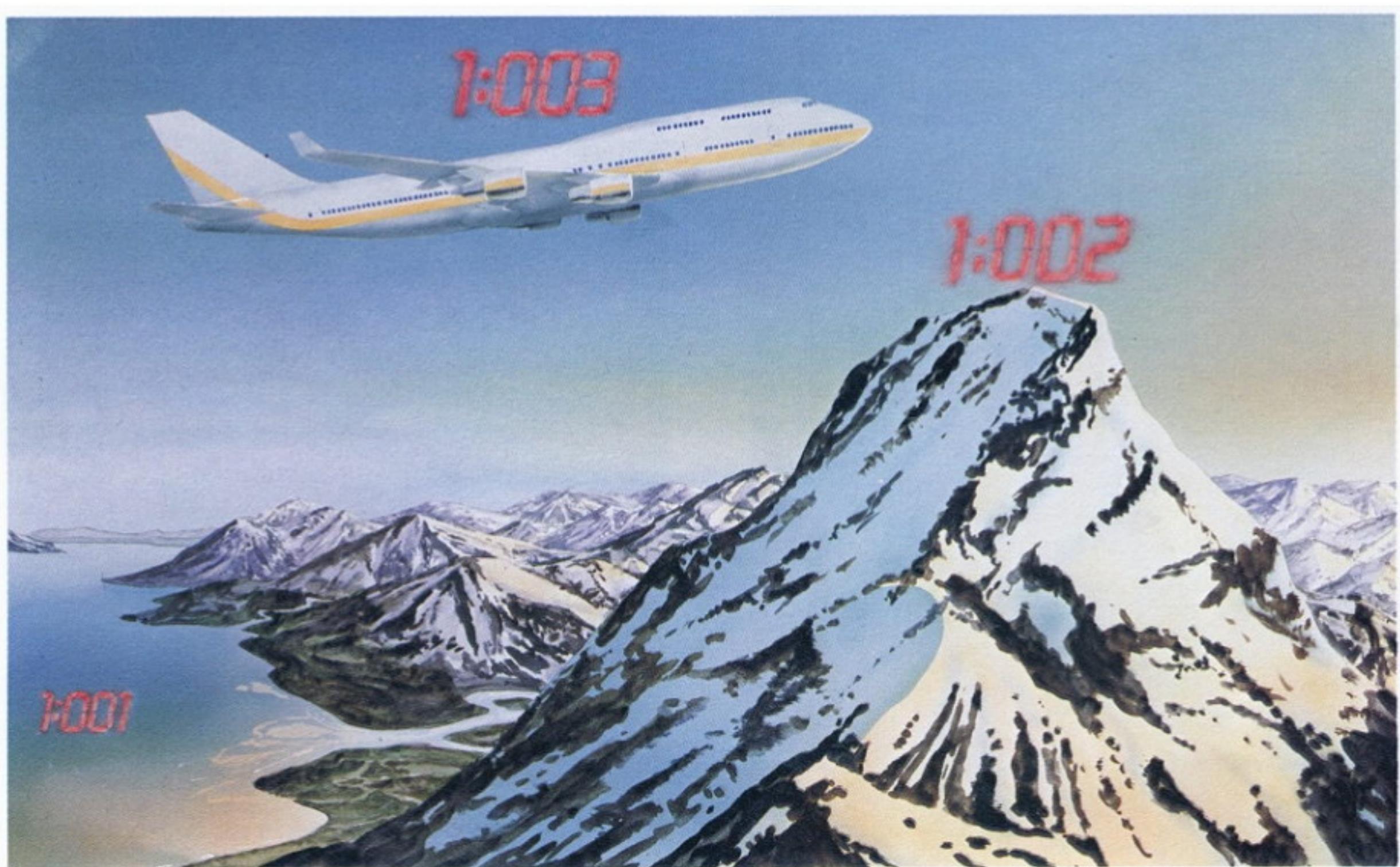
mit der speziellen Relativitätstheorie befaßt, also große Massen, Schwerkraftfelder und Beschleunigungen

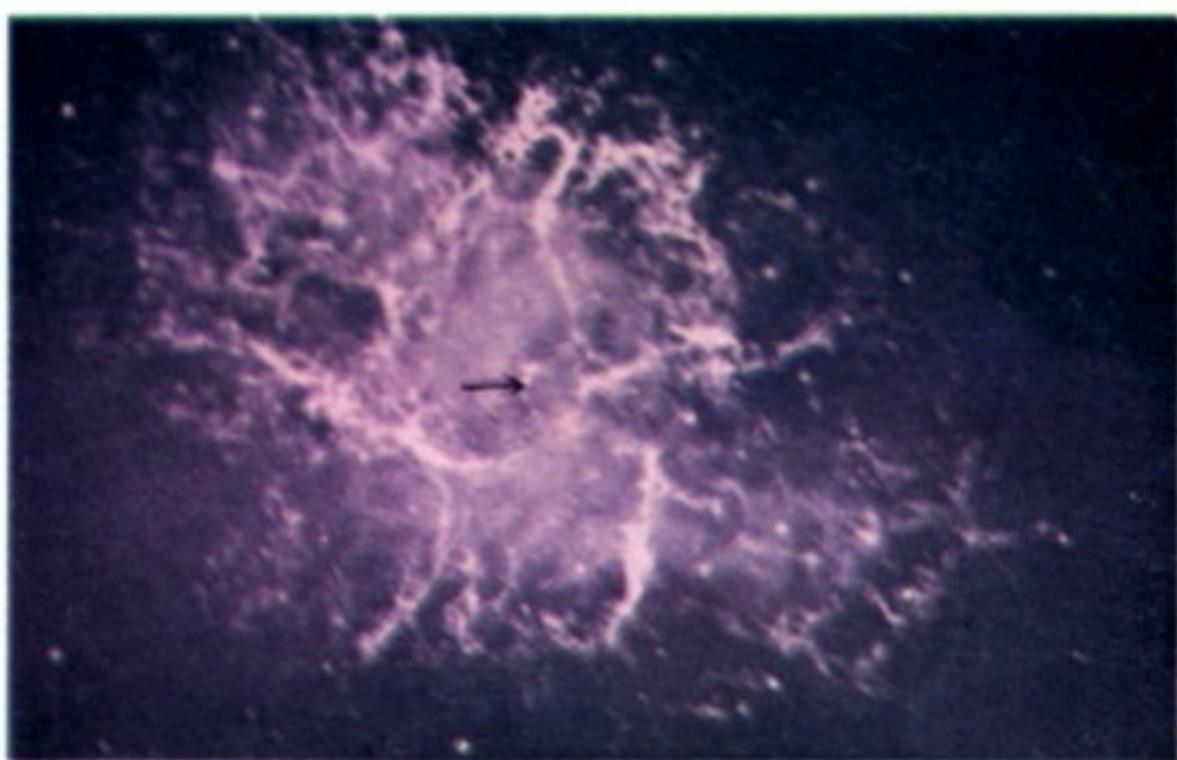
vernachlässigt. Genau so aufregend, aber leider viel schwieriger, ist die allgemeine Relativitätstheorie. Eine ihrer wesentlichen Aussagen ist die, daß in großen Schwerefeldern Uhren langsamer, bei kleinerer Gravitation schneller gehen. Heute ist es leicht, diese Aussagen mit Atomuhren an Bord von Flugzeugen nachzuweisen, die in 10 km Höhe deutlich schneller laufen als baugleiche Uhren auf dem Erdboden, wo ja die Schwerkraft etwas größer ist als oben im Flugzeug. Aber hier handelt es sich um winzige Abweichungen.

Uhren in einem Flugzeug oder auf einem hohen Berg gehen schneller als auf Meereshöhe. In schnellen Flugzeugen oder Raketen muß das Ergebnis noch korrigiert werden, da ja auch die Geschwindigkeit die Zeit beeinflußt.



In der Nähe eines Schwarzen Lochs gehen die Uhren langsamer. Die Zeitangaben in diesem Bild sind übertrieben.





Hier ist eine große Sonne am Ende ihres Lebens explodiert. Ein Teil der Sternmasse wird weggeschleudert, der Rest ist zu einem superdichten Neutronenstern (Pfeil) zusammengeschrumpft. Noch dichtere Sternreste, die mit ihrem riesigen Schwerefeld sogar das Licht festhalten, nennt man Schwarze Löcher.

Anschaulich wird die Sache erst, wenn wir uns einmal vorstellen, daß ein Raumfahrer ein superdichtes Materie-paket, ein Schwarzes Loch, umkreist, dessen Schwerefeld unbeschreiblich

groß ist, was die Uhren dort extrem verlangsamt. Von der Erde aus gesehen, würde das Leben unseres Raumfahrers sehr langsam ablaufen. Die NASA-Ärzte, die per Funk seine Körperfunktionen kontrollieren, würden alle 20 Minuten einen Herzschlag des Astronauten feststellen. Umgekehrt würden für unseren Raumfahrer die Uhren auf der Erde rasen. Alle 90 Sekunden würde eine neue Tageszeitung erscheinen, 5mal pro Woche würde ein neuer Bundestag gewählt, die vorgezogenen Wahlen nicht eingeschlossen, nach 4 Wochen Bordzeit wären alle Freunde des Astronauten tot, er wäre um einen Monat gealtert, wenn auf der Erde 80 Jahre vergangen sind.

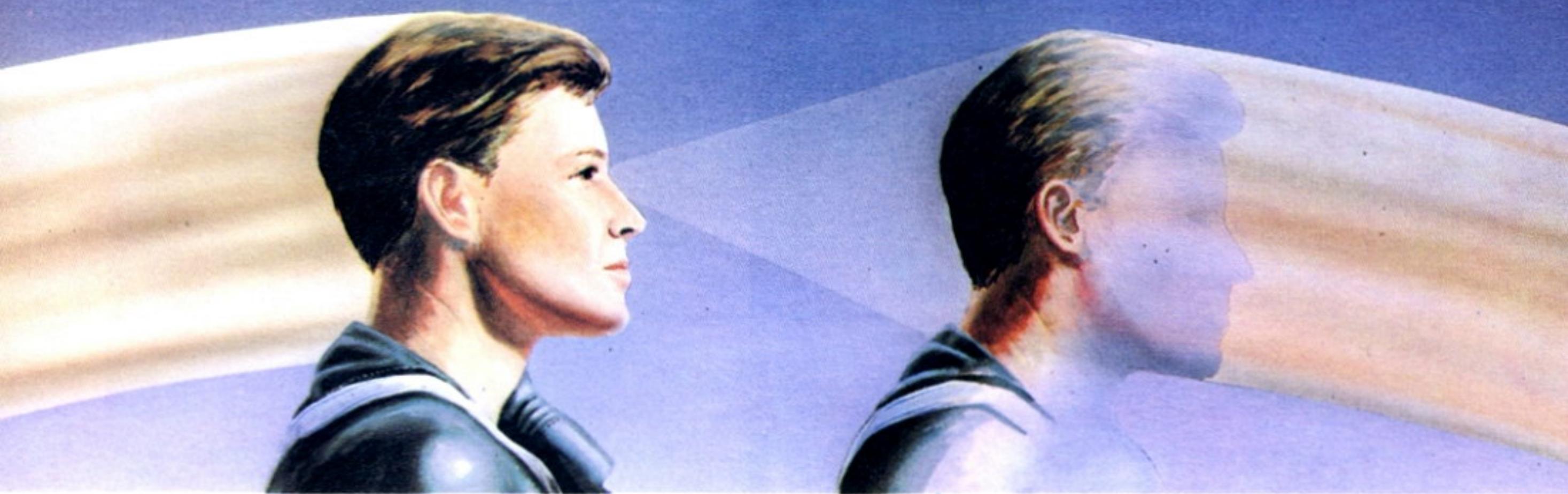
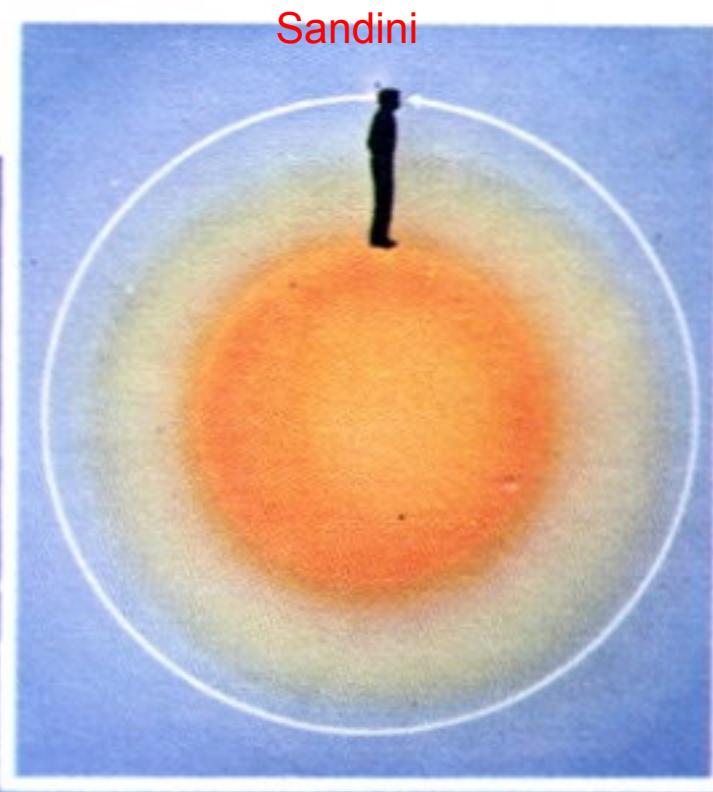
Könnte man auf einem Himmelskörper mit extrem großem Schwerefeld, vielleicht auf einem Neutronenstern, leben,



Auf einem Neutronenstern würden in großer Höhe die Uhren viel schneller laufen als an der Oberfläche. Im 30. Stockwerk eines Hochhauses würden 8 Stunden vergehen, wenn unten eine Stunde abläuft. Natürlich handelt es sich hier nur um ein Gedanken-Experiment.

so würde ein Arbeitstag ganz anders ablaufen als bei uns: Man würde morgens in sein Büro im 30. Stock eines Hochhauses fahren und dort, bei geringer Schwerkraft, einen 8-Stunden-Tag verbringen. Dann würde man wieder hinunterfahren und feststellen, daß unten, bei größerer Schwerkraft, nur eine Stunde vergangen ist. Also Arbeitsbeginn 9 Uhr, Feierabend 10 Uhr. Allerdings hätte man die 8 Stunden oben wirklich als 8 Stunden erlebt. Wir selbst können, von uns aus gesehen, nur 70 oder 90 Jahre alt werden, auch wenn für Beobachter in anderen Bezugssystemen unser Leben 10 Sekunden oder 10 000 Jahre dauert.

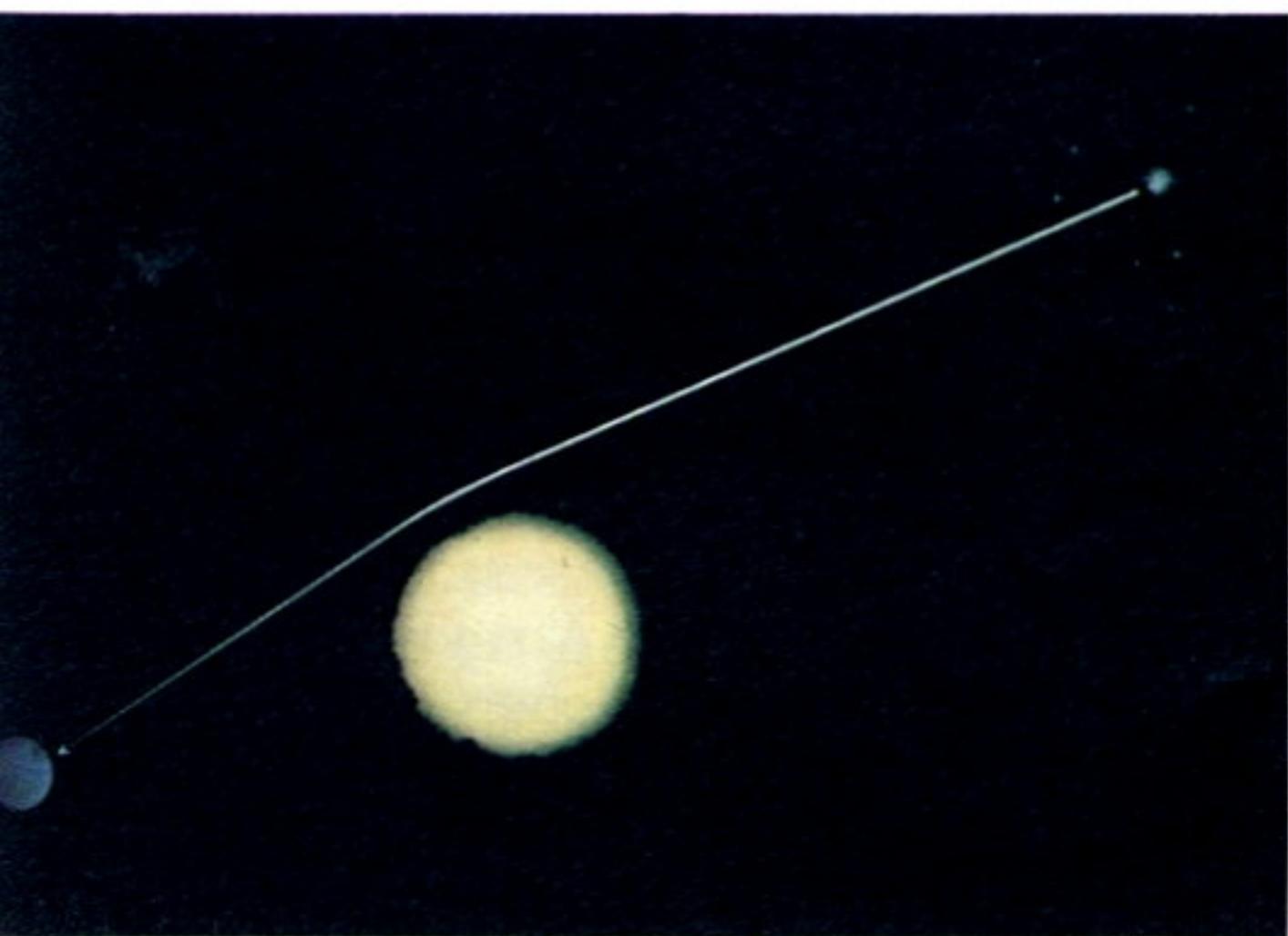
Interessant ist auch die Raumkrümmung in großen Schwerefeldern. Auf einem Neutronenstern könnte man seinen Hinterkopf sehen, da der von ihm ausgehende Lichtstrahl im gekrümmten Raum um den Stern herumlaufen würde. Auch diesen Effekt kann man leicht nachweisen, und schon Albert Einstein hat darauf hingewiesen, wie man das tun kann. Betrachten wir hierzu ein seltenes Naturereignis, das in Deutschland erst wieder 1999 zu sehen sein wird: eine totale Sonnenfinsternis, bei der der Mond die Sonne ganz bedeckt. Bei der totalen Verfinsterung, wenn der Mond die Sonne ganz abdeckt, werden für kurze Zeit die Sterne sichtbar. Licht-



Durch die Krümmung der Lichtstrahlen könnte man seinen Hinterkopf sehen.

strahlen von Sternen, die nahe an der Sonne vorbeilaufen, müßten, wenn Einstein recht hat, durch deren Schwerkraft gekrümmt werden. Der Stern müßte an einer anderen Stelle als sonst beob-

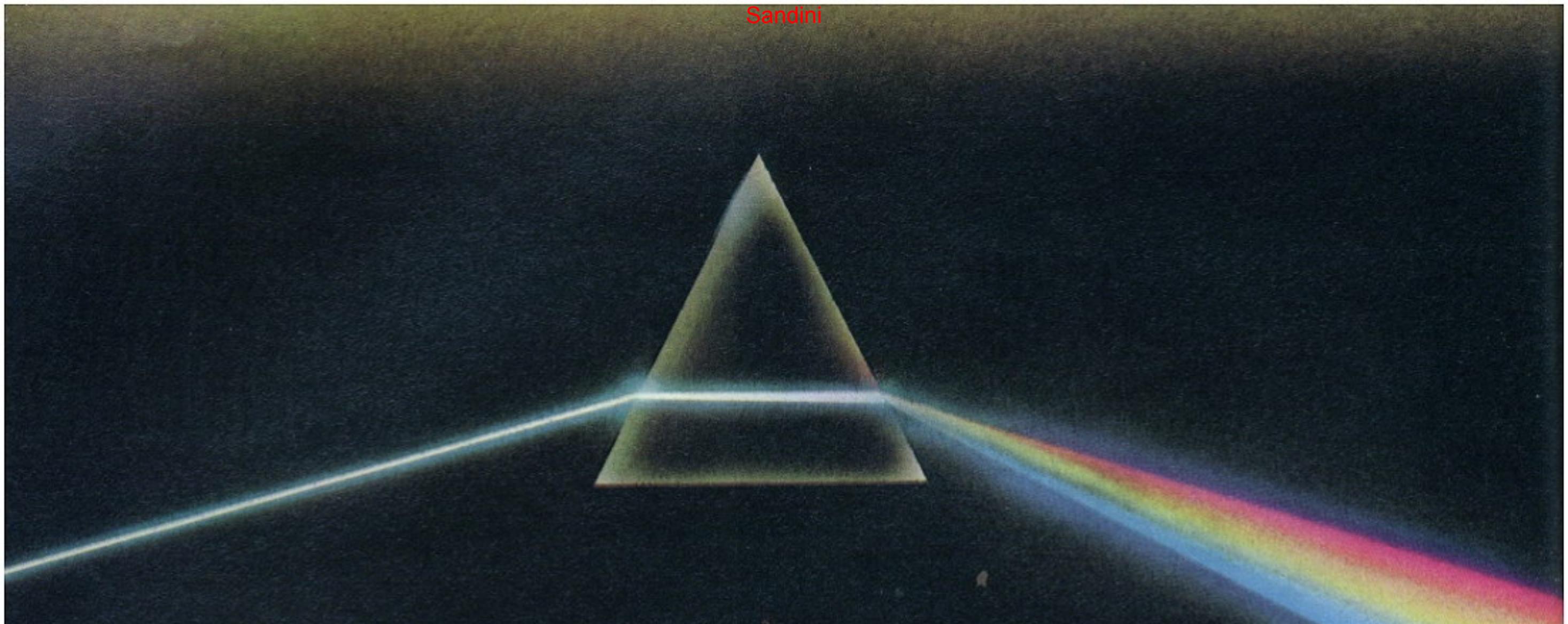
achtet werden. Genau dieser Effekt wurde auch gefunden, und zwar war die Ablenkung genau so, wie Einstein sie vorausberechnet hatte.



Nachweis der Raumkrümmung: Lichtstrahlen werden von der Sonne abgelenkt.



Bei einer totalen Sonnenfinsternis werden neben der abgedeckten Sonne die Sterne sichtbar. Ihr Licht wird durch das Schwerkeld der Sonne abgelenkt, sie erscheinen auf einer ungewohnten Position. Theoretisch könnte man einen Stern sehen, der hinter dem Sonnenrand steht.



Ein Prisma zerlegt weißes Sonnenlicht in die Regenbogenfarben rot, orange, gelb, grün, blau und violett.

Die Welt der kleinsten Teilchen

Es gibt Hunderte von Versuchen, die

Gibt es Lichtteilchen?

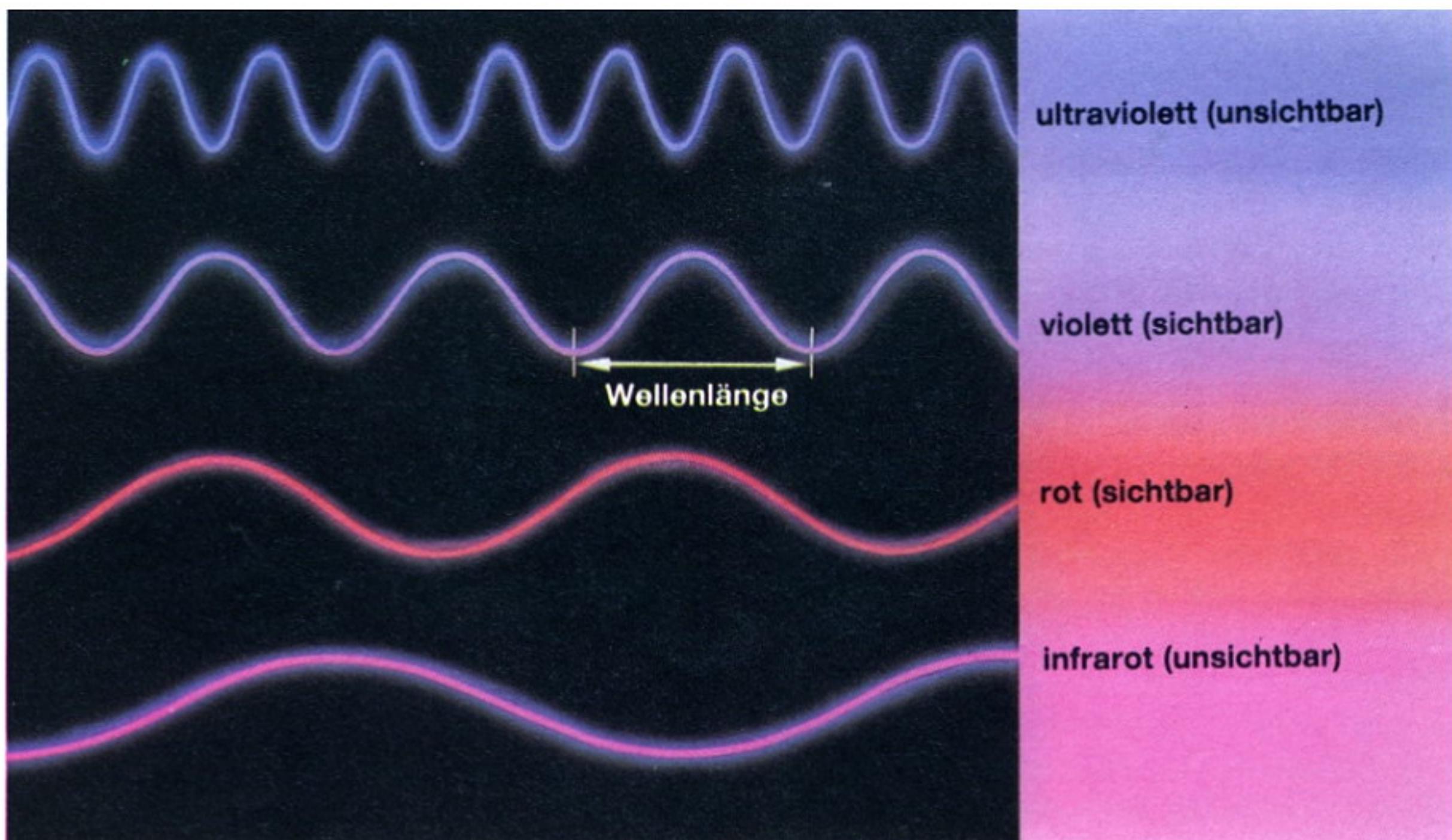
beweisen, daß es Lichtwellen gibt, die sich im Gegensatz zu Wasser- und Schallwellen auch im luftleeren

Raum fortpflanzen können. Licht, Radiowellen, Infrarot-, Ultraviolett- und Röntgenstrahlung gehören zur großen Familie der *elektromagnetischen Wellen*. Rotes Licht ist langwelliger als violettes, das unsichtbare Infrarot ist wiederum langwelliger als Rotlicht, Ultraviolett ist kurzwelliger als Violett, Röntgenstrahlung kurzwelliger als Ultraviolett. Bis zum Anfang unseres Jahrhunderts glaubte man, mit diesem Wellenbild das Licht und seine Eigenschaften vollständig verstanden zu haben. Aber dann kamen die großen Physiker Planck und Einstein und zeigten einmal mehr, daß im Reich des Schnellsten und Kleinsten unser Vorstellungsvermögen versagt und die Natur sich hier ganz anders als erwartet verhält. Einstein fand nämlich heraus, daß die Energie einer elektromagnetischen Welle immer nur in klei-

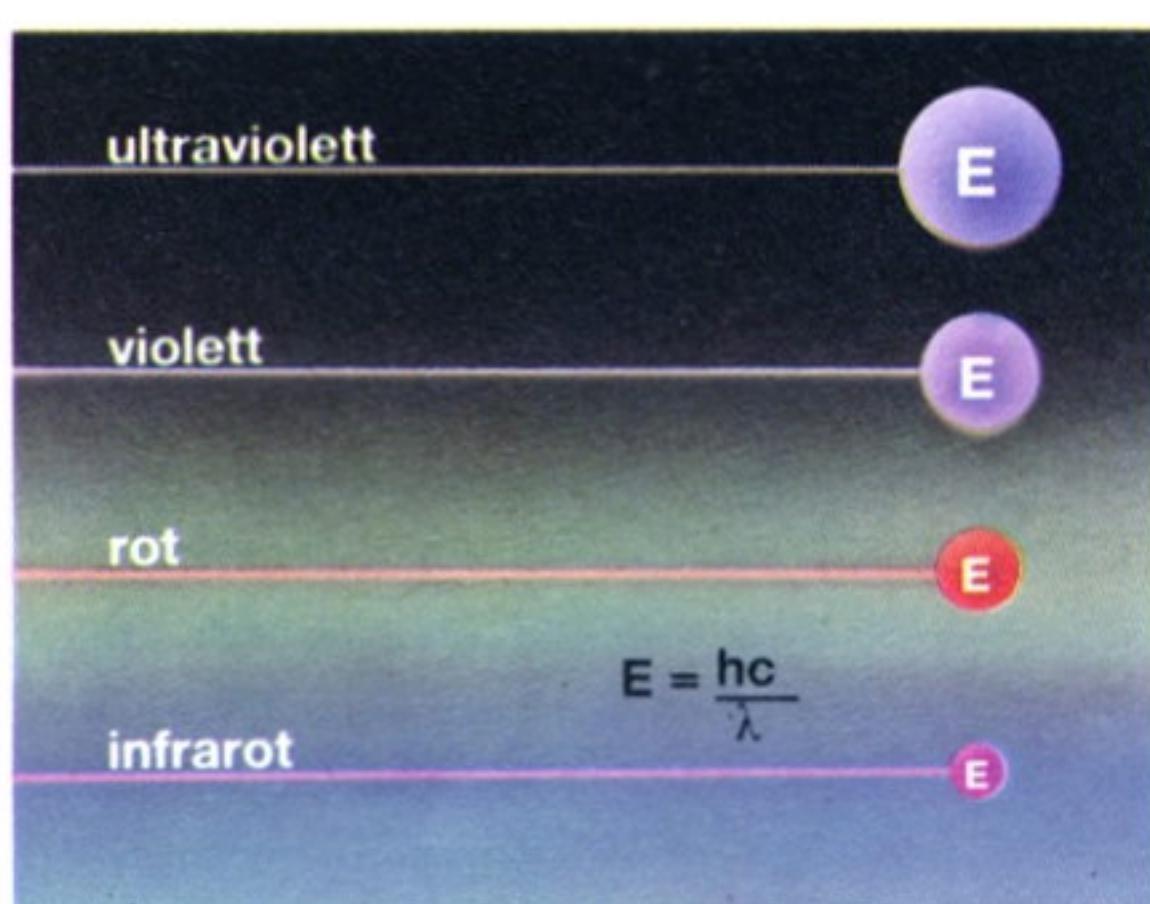
nen, wohlbestimmten Paketen oder „Quanten“ übertragen wird, die man heute *Photonen* oder *Lichtteilchen* nennt. Kurz gesagt, Licht kann als Welle, aber auch als Teilchenstrom auftreten, je nachdem, wie man es untersucht, was man für Experimente mit ihm durchführt.

Die Energie eines Lichtteilchens ist um so größer, je kleiner die Wellenlänge des Lichts ist. Blaues Licht ist kurzwelliger als rotes. Aus diesem Grund tragen die Photonen des blauen Lichts mehr Energie als die roten. Röntgenstrahlen sind noch kurzwelliger. Die Photonen der Röntgenstrahlen sind deshalb besonders energiereich, sie können z. B. tief in den menschlichen Körper eindringen, was sich bekanntlich die Ärzte bei Knochenbrüchen zunutze machen.

Die Lichtteilchen oder Photonen haben keine Masse wie Atome oder Elektronen und bewegen sich während ihres ganzen Lebens mit Lichtgeschwindigkeit. Es ist immer wieder schwierig, sich vorzustellen, daß es Teilchen gibt, die keine Masse haben, aber Energie mit sich herumtragen, und daß Licht einmal als



Rotes Licht ist langwelliger als violettes. Noch langwelliger ist das unsichtbare Infrarot, das man als Wärmestrahlung spürt. Dagegen sind Ultravioletts-, Röntgen- und γ -Strahlen kurzwelliger als das sichtbare Licht.



Die Lichtteilchen oder Photonen des ultravioletten Lichts sind energiereicher als die des violetten. Allgemein gilt: je kurzwelliger das Licht, um so energiereicher seine Photonen.

E = Energie des Photons, h = Konstante,
 v = Frequenz, λ = Wellenlänge,
 c = Lichtgeschwindigkeit.

Welle und dann wieder als Teilchenstrom auftritt. Aber das ist gerade das Typische an der modernen Physik des 20. Jahrhunderts. Wir können die Vorgänge im atomaren Bereich zwar mathematisch berechnen – so gibt es eine

Formel, mit der man die Energie der Lichtteilchen aus der Wellenlänge berechnen kann –, aber unser Vorstellungsvermögen reicht meist nicht aus, uns die Naturvorgänge im Reich des Kleinsten und Schnellsten zu veranschaulichen. Unser Gehirn und damit unser Vorstellungsvermögen sind ursprünglich nicht dafür vorgesehen gewesen, die Atome und das Weltall zu begreifen, sondern Nahrung zu suchen, unsere Höhle wiederzufinden oder einen Löwen zu erkennen, also Dinge zu verarbeiten, die 1 cm, 1 m oder 1 km groß und nicht schneller als 100 km/h sind.

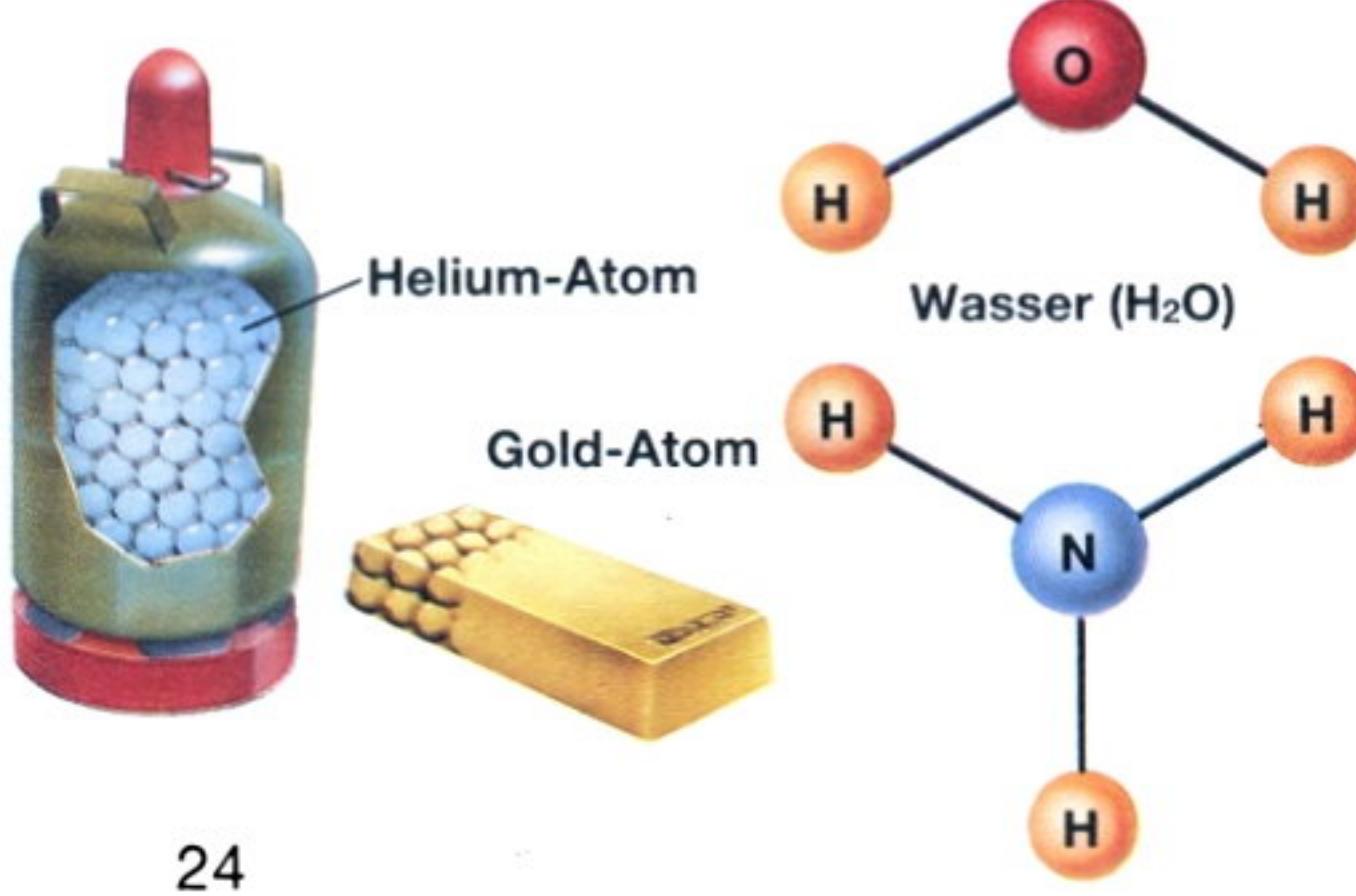
Seit langem weiß man, daß alle Materie aus Grundstoffen oder chemischen Elementen aufgebaut ist. Zu diesen Elementen gehören z. B. der Sauerstoff, der Schwefel und das Eisen. Man nennt nun das kleinste Eisenteil-

Was ist ein Atom?

chen ein Eisenatom, das kleinste Schwefelteilchen ein Schwefelatom. Reines Eisen enthält nur Eisenatome, reiner Schwefel nur Schwefelatome. Die Atome haben sehr verschiedene Massen, am leichtesten ist das Wasserstoffatom, Eisenatome sind viel schwerer, Uranatome noch schwerer oder massereicher. Atom heißt – aus dem Griechischen übersetzt – eigentlich das „Unteilbare“.

Heute wissen wir, daß man Atome in noch kleinere Bestandteile zerlegen kann. Zertrümmert man jedoch ein Eisenatom, so gehen die typischen Eisen-eigenschaften verloren, die Bruchstücke sind kein Eisen mehr! In vielen Chemiebüchern findet man daher folgende Definition des Atombegriffs: „Ein Atom ist der kleinste Baustein eines chemischen Grundstoffs, der ohne Verlust der typischen Eigenschaften dieses Grundstoffs nicht mehr geteilt werden kann.“ Atome sind, gemessen an allen Dingen unseres täglichen Lebens, winzig klein, ihr Durchmesser beträgt etwa $\frac{1}{100\,000\,000}$ cm oder $1 \cdot 10^{-8}$ cm. Wie klein Atome sind, kann man sich durch folgenden Vergleich klarmachen. Auf der Erde leben rund 5 Milliarden Menschen. Ordnet man jedem von ihnen ein Atom zu und bildet nun aus diesen Atomen eine Kette, so ist diese gerade 50 cm lang.

Helium und Gold sind Grundstoffe oder chemische Elemente. Reines Heliumgas enthält nur Heliumatome, reines Gold nur Goldatome.



Links oben: Ein Schütze schießt auf einen Wassersack. Die Kugeln werden zwar etwas abgelenkt, ändern jedoch kaum ihre Richtung.

Links unten: Befinden sich im Wassersack Eisenkugeln, so werden einige Geschosse, wenn sie auf so eine Kugel treffen, stark abgelenkt oder sogar reflektiert.

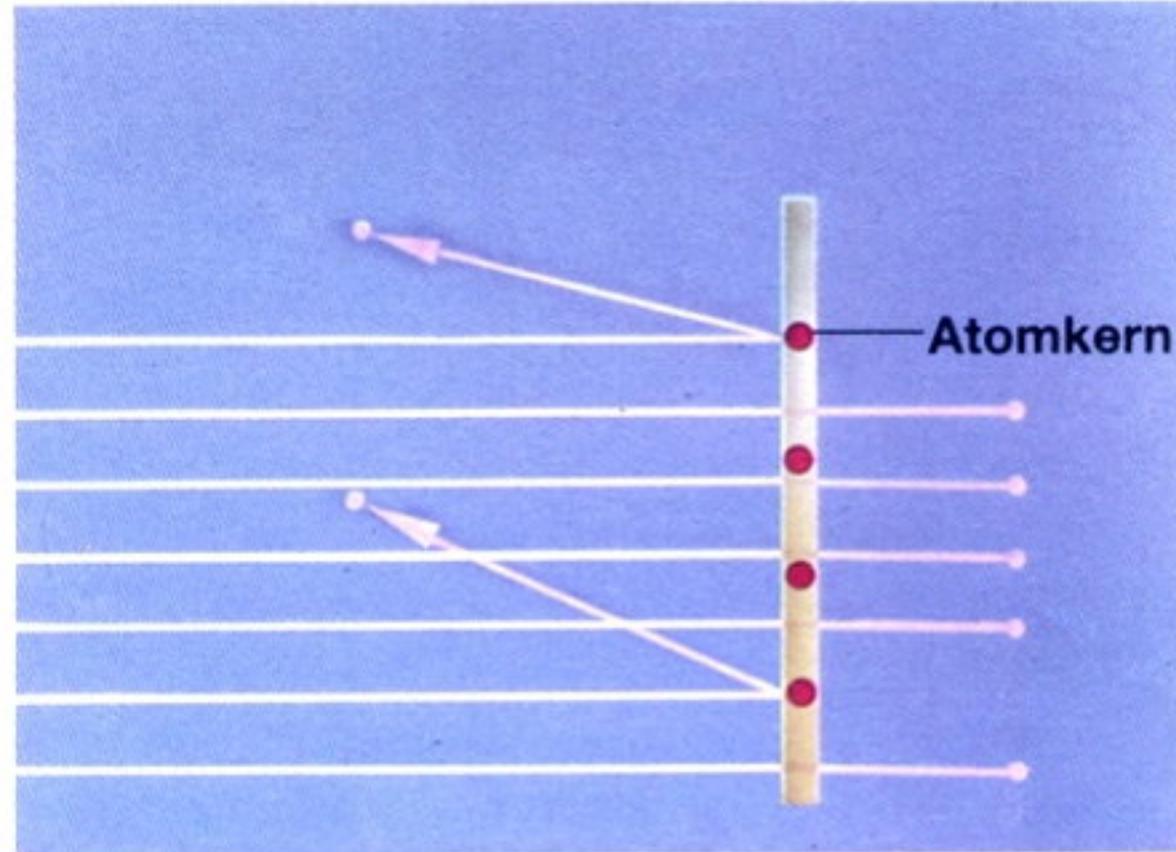
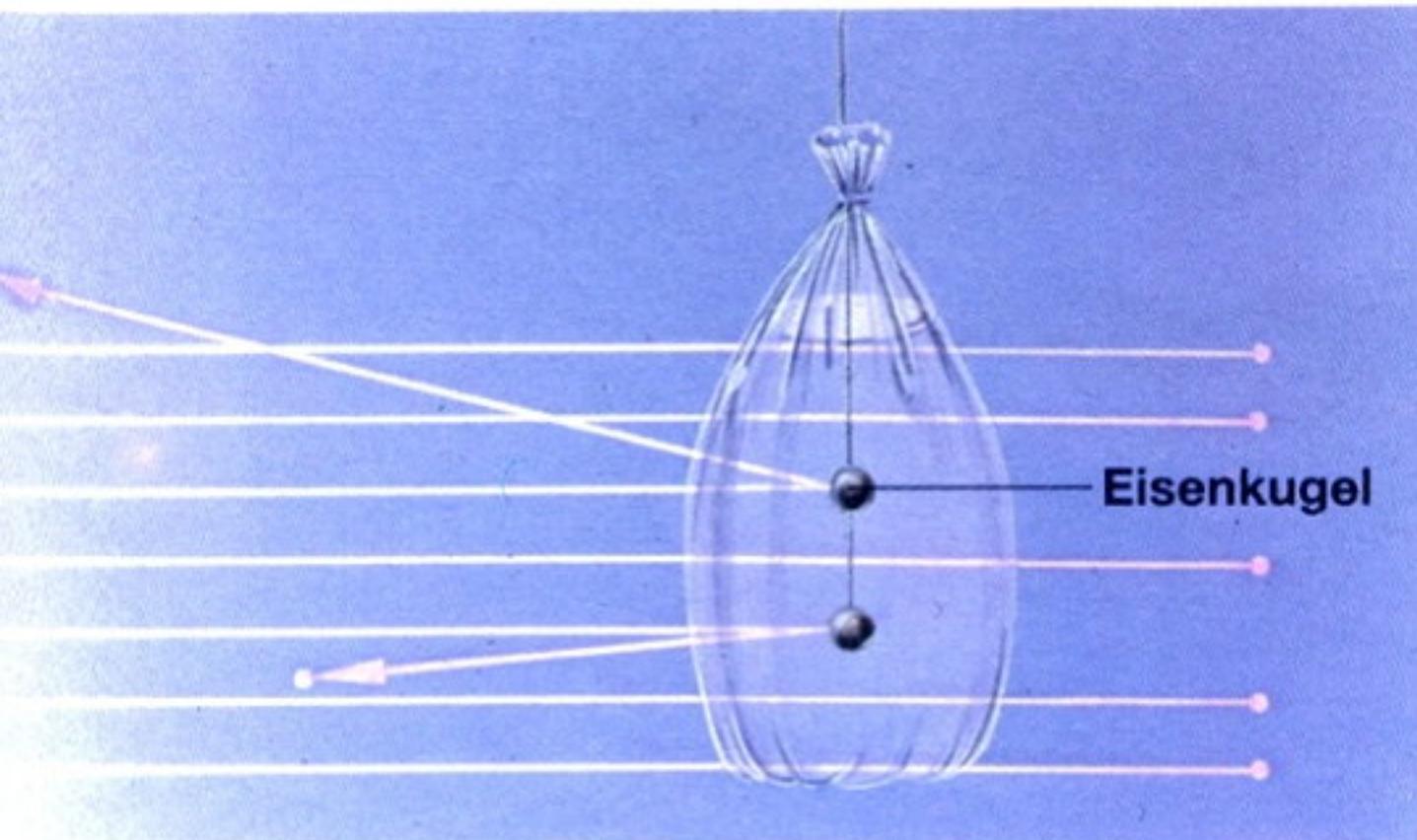
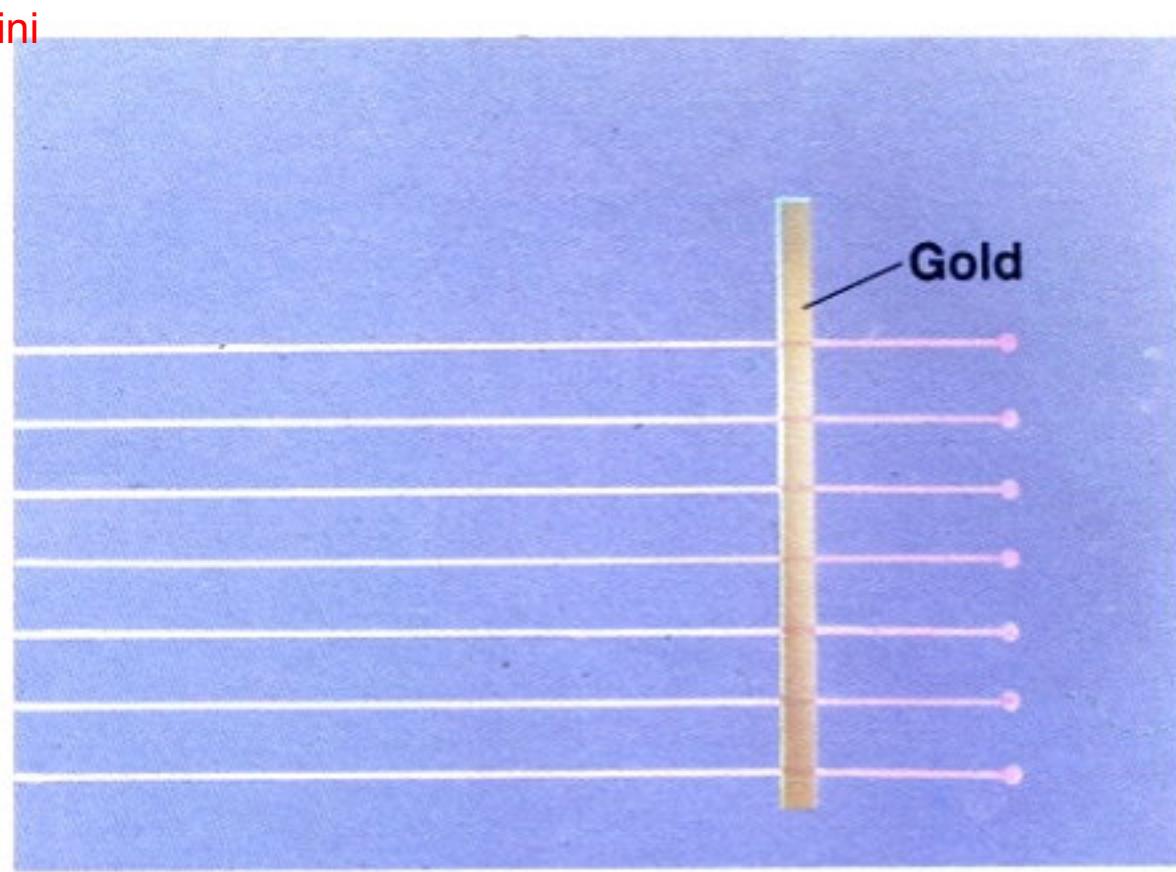
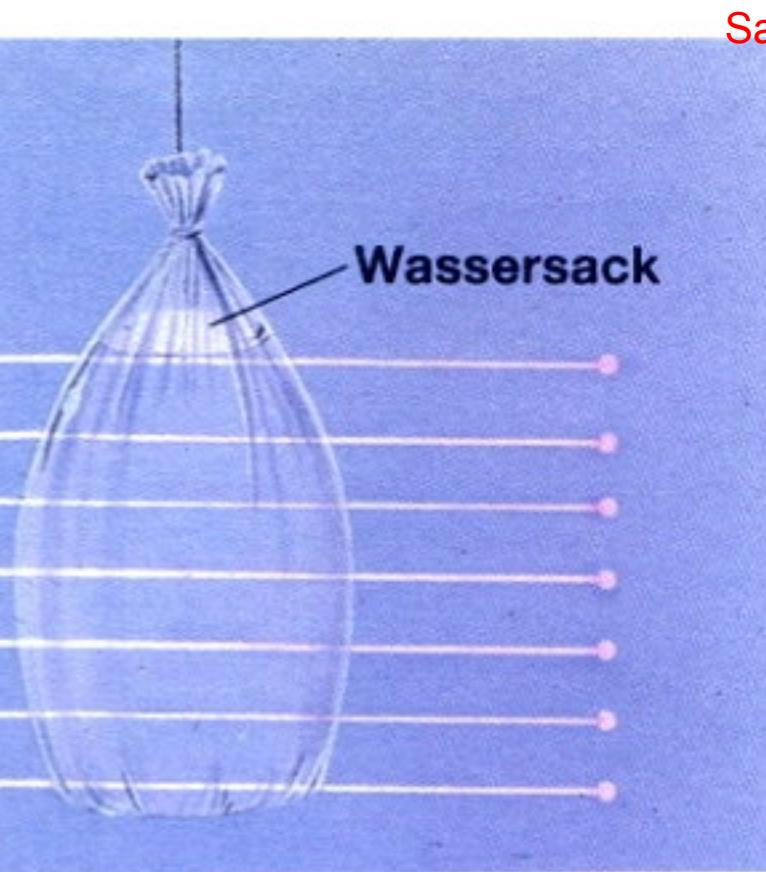
Rechts oben: Ist in einer Goldfolie die Materie gleichmäßig verteilt, so wird die Flugrichtung von α -Teilchen kaum geändert.

Rechts unten: Befinden sich im Gold kleine Massenzentren, nämlich Atomkerne, so werden einige α -Teilchen stark abgelenkt oder sogar reflektiert.

Atome können sich zu größeren Teilchen, den sogenannten Molekülen verbinden. Zwei Sauerstoffatome bilden z. B. ein Sauerstoffmolekül, zwei Wasserstoffatome ein Wasserstoffmolekül. Es kommt nun in der Natur sehr häufig vor, daß sich verschiedenartige Atome zu Molekülen vereinigen. Eines der bekanntesten ist das Wassermolekül, das aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen besteht. Ein Ammoniakmolekül enthält ein Stickstoffatom und drei Atome des Wasserstoffs. Wasser und Ammoniak sind im Gegensatz zum Sauerstoff oder Kohlenstoff keine chemischen Elemente, sondern Verbindungen aus verschiedenen Elementen. Das kleinste Teilchen einer solchen Verbin-

Was ist ein Molekül?

*Der Aufbau des Wasser- und Ammoniakmoleküls
O = Sauerstoff, N = Stickstoff, H = Wasserstoff.*



dung ist das Molekül. Zerstören wir ein Wassermolekül, so geht die Wasser-eigenschaft verloren, es bleiben nur die Bestandteile Sauerstoff und Wasser-stoff erhalten, die sich ganz anders verhalten als Wasser. Moleküle sind, ähnlich wie die Atome, unvorstellbar klein. In einem normalen Trinkbecher sind rund $6 \cdot 10^{24}$ Moleküle Wasser. Würde man den Inhalt dieses Bechers gleich-m ig 脿ber alle Weltmeere verteilen, so wären in jedem Liter Meerwasser noch mehrere tausend Moleküle aus unserem Wasserglas.

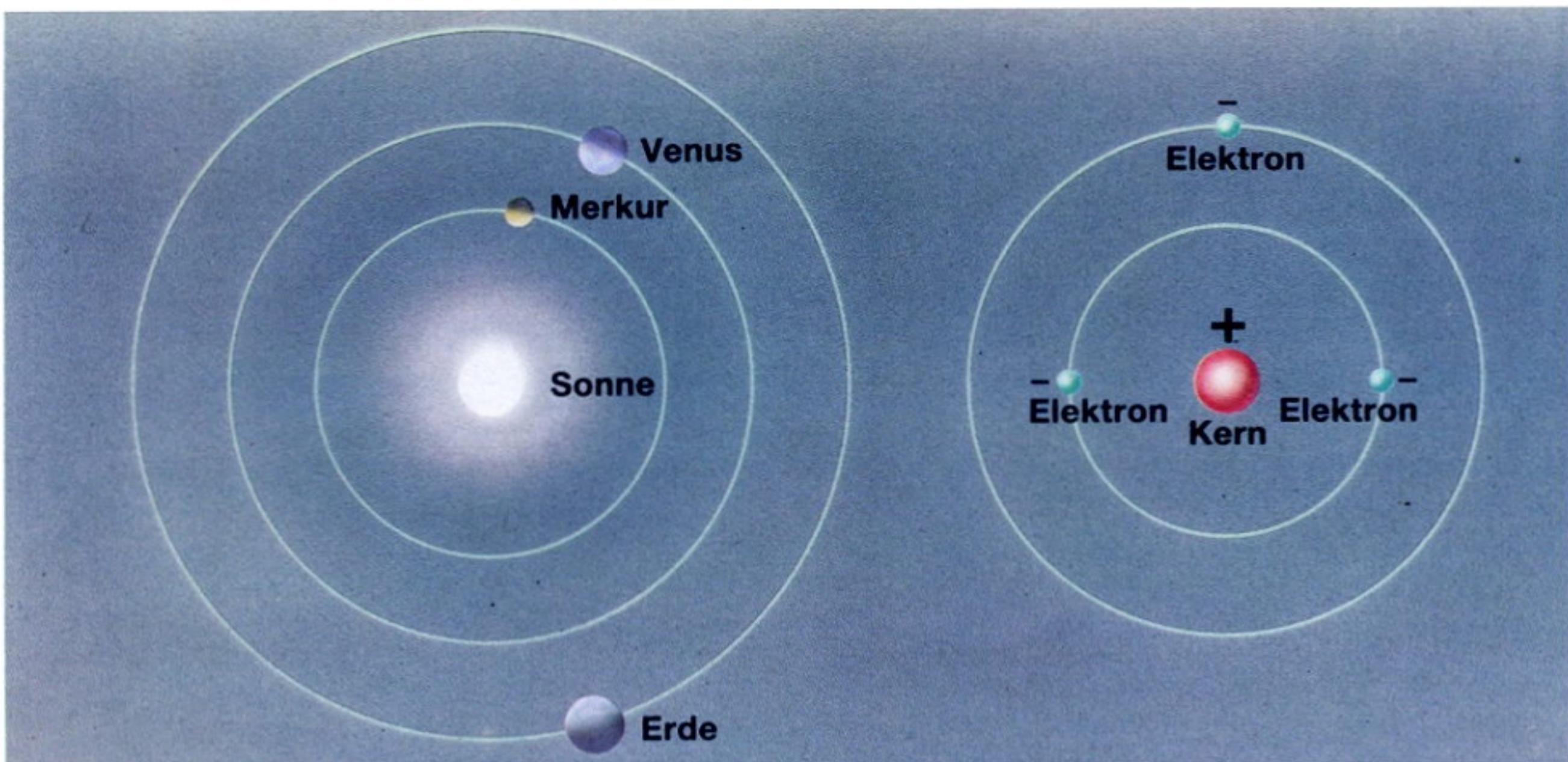
Vor etwa 75 Jahren machte Ernest

Wie ist ein Atom aufgebaut?

Rutherford in Eng-land eine Entdek-kung, welche die moderne Atom-physik einleiten sollte, mit der wir uns nun beschäftigen wollen. Der briti-sche Physiker bescho  eine Goldfolie

mit Alphateilchen, um das Innere der Atome zu erkunden. Wäre die Materie gleichförmig in so einer Metallfolie ver-teilt, so würden die Teilchen zwar etwas abgebremst, im wesentlichen würden sie jedoch ihre Flugrichtung beibehal-tten. Genau so verhielten sich auch fast alle Teilchen. Einige wenige jedoch änderten völlig ihre Flugrichtung, so, als würden sie an einer kleinen, aber sehr schweren Kugel abprallen. Daraus schloß Rutherford, daß fast die ganze Masse des Goldatoms in einem winzi-gen Kern konzentriert ist, die *Atomkerne* waren entdeckt!

Heute wissen wir genau, wie ein Atom aufgebaut ist, nämlich ähnlich wie ein kleines Sonnensystem. Um einen winzi-gen Kern, der fast die ganze Atommas-se enthält und elektrisch positiv geladen ist, kreisen kleine, sehr leichte Teilchen, die elektrisch negativen *Elektronen*. Selbst die schwersten Metallatome sind in Wirklichkeit „Schaumgebilde“, die fast nur aus leerem Raum bestehen. Stellt

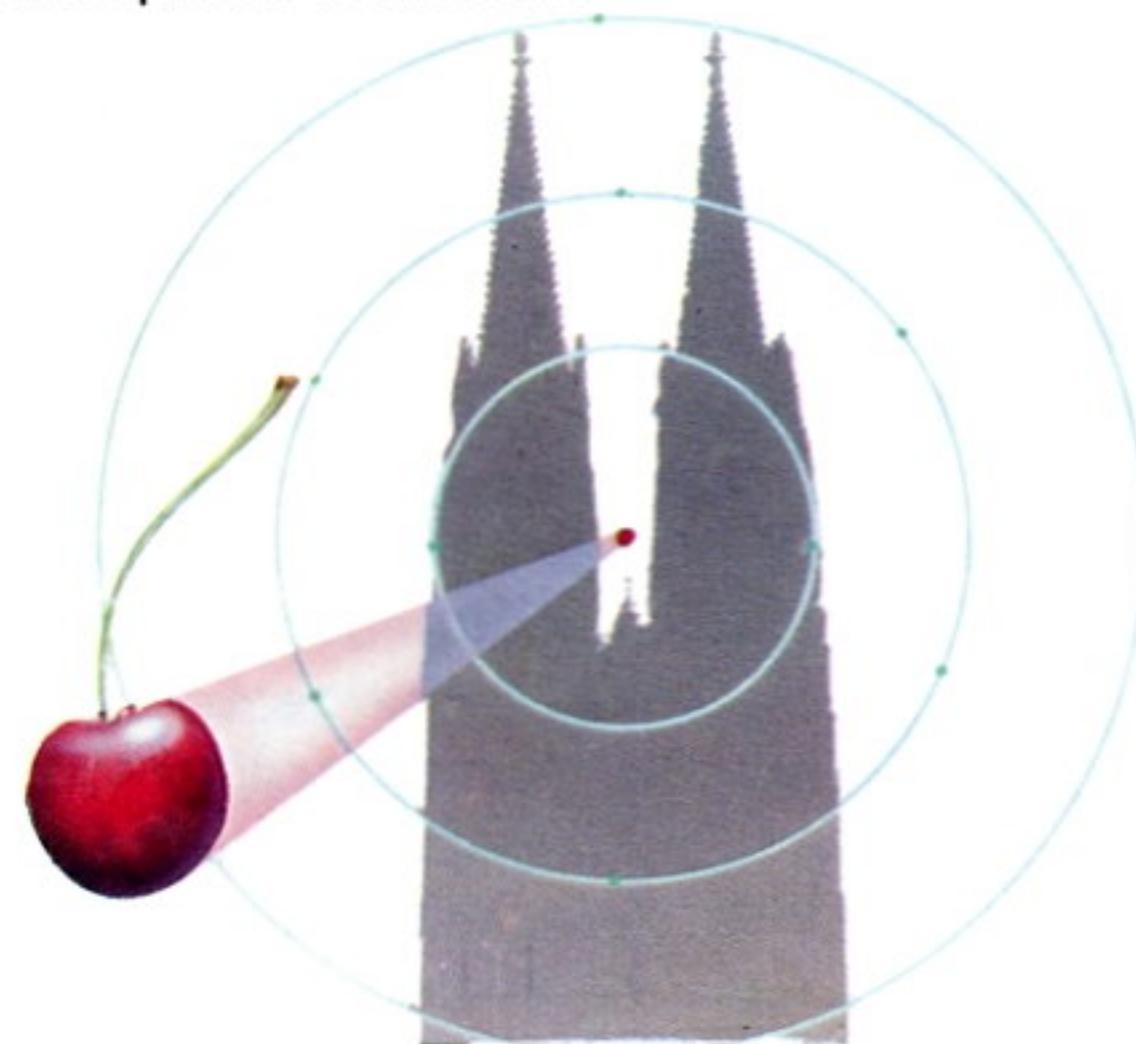


Im Sonnensystem kreisen die Planeten um die Sonne. Beim Atom kreisen die Elektronen um den Atomkern, der elektrisch positiv geladen ist und die negativen Elektronen anzieht.

Man sich den Atomkern so groß wie eine Kirsche vor, dann ist das ganze Atom mit seinen Elektronenbahnen ungefähr so groß wie der Kölner Dom. Atomkerne haben etwa eine Ausdehnung von $\frac{1}{1000000000000}$ cm oder 10^{-12} cm. 100 Milliarden Atomkerne würden also eine 1 mm lange Kette bilden.

Das einfachste Atom ist das des Wasserstoffs. Um einen sehr kleinen Kern kreist nur 1 Elektron. Im Normalzustand ist es rund 5 milliardstel cm oder $5 \cdot 10^{-9}$ cm vom Kern entfernt. Es kann sich aber auch auf anderen, weiteren Bahnen befinden, und hier hört der Vergleich mit dem Sonnensystem leider auf. Während sich nämlich Planeten in jedem beliebigen Abstand von der Sonne bewegen können, sind beim Elektron nur ganz bestimmte Bahnen oder Energiezustände möglich. Springt ein Elektron von einer äußeren Bahn oder einem energiereicherem Zustand auf eine innere, energieärmere, so wird ein Energiebetrag in Form eines Lichtquants oder Photons freigesetzt. Da es nur ganz bestimmte Bahnen oder Energiezustände

gibt, werden auch nur Lichtquanten mit ganz bestimmten Energien ausgesandt, im Wellenbild also nur ganz bestimmte Wellenlängen erzeugt, an denen man überall im Weltall ein Wasserstoffatom wiedererkennen kann. Ähnliches gilt für andere Elemente. Dies ist die Grundlage der Spektralanalyse, mit deren Hilfe man zum Beispiel feststellen kann, welche Atomsorten sich in der Sonnenatmosphäre befinden.



Stellt man sich den Atomkern als Kirsche vor, dann ist das ganze Atom so groß wie der Kölner Dom.

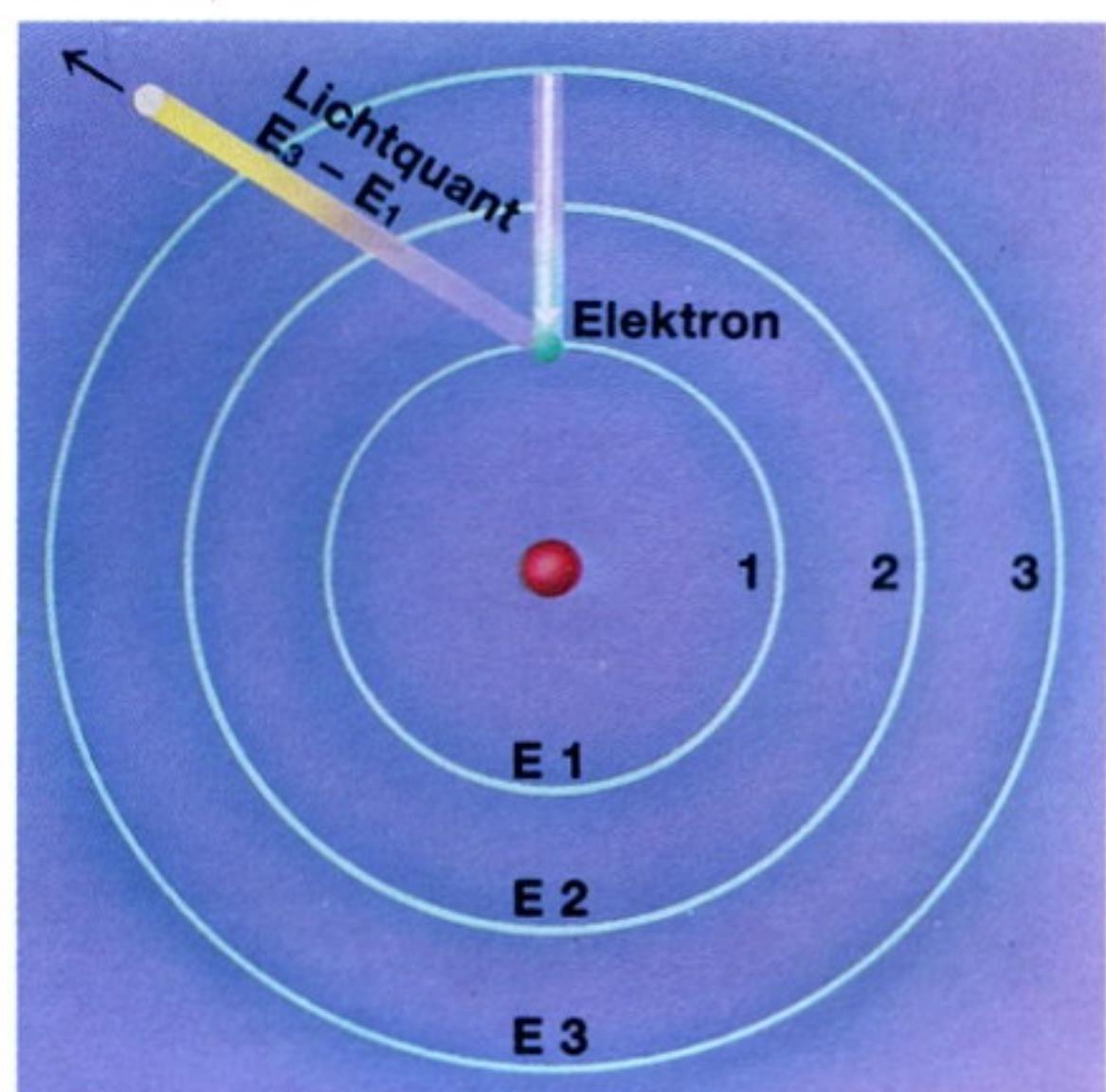
Wir haben bereits gesehen, daß beim Wasserstoffatom

Sind Elektronen wirklich kleine Planeten?

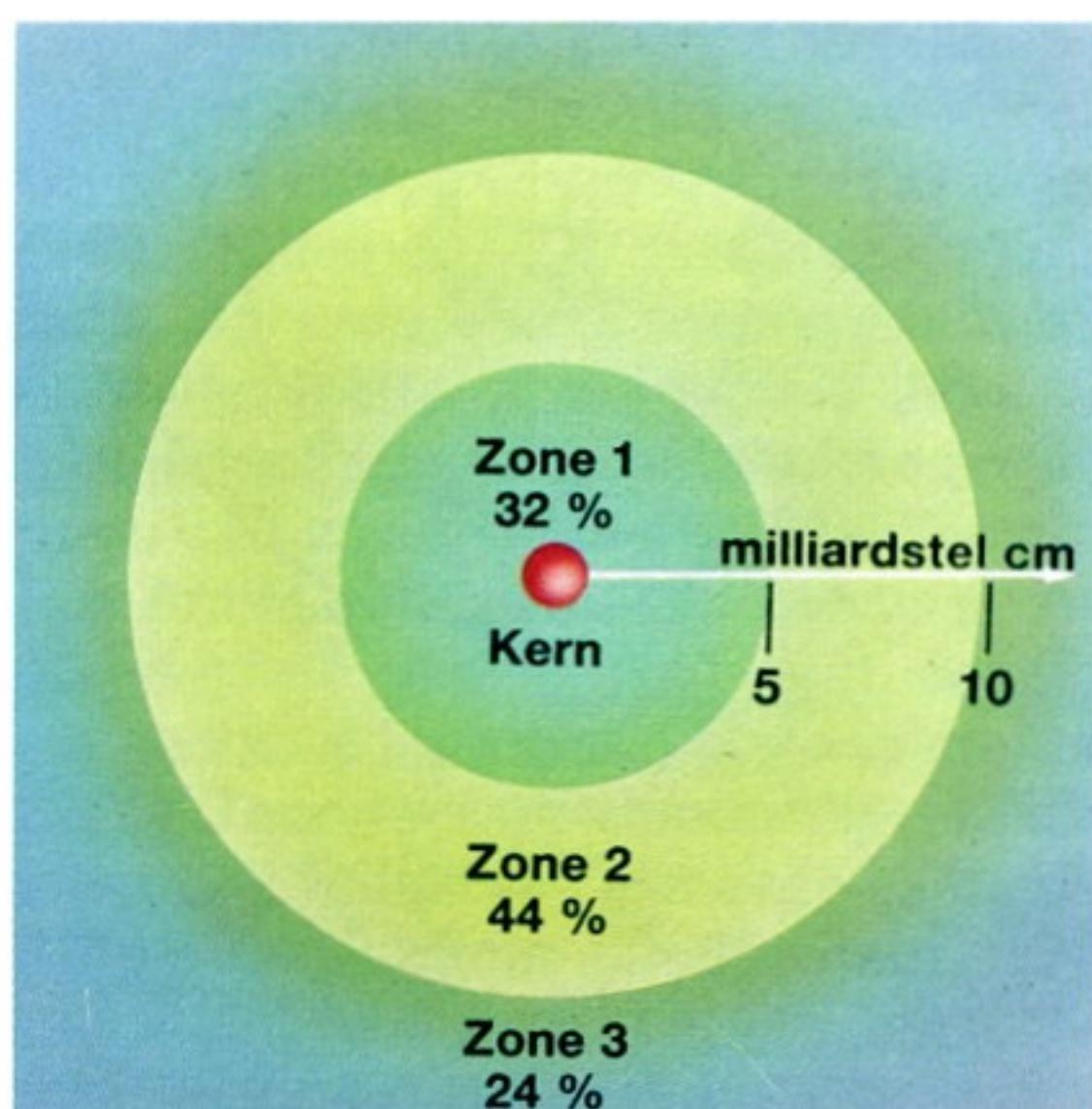
das Elektron den Atomkern auf der innersten aller möglichen Bahnen etwa in einem Abstand von 5 milliardstel cm umkreist. Der genaue Wert im sogenannten Bohrschen Atommodell ist $5,29 \cdot 10^{-9}$ cm. Andererseits ist der Vergleich des Atoms mit dem Sonnensystem unvollständig. Es ist zwar richtig, daß sich das Elektron nur in ganz bestimmten Energieniveaus befinden kann, die im Planetenmodell den Bahnen 1, 2 und 3 entsprechen. Ein Elektron im niedrigsten Energieniveau ist aber gar nicht immer genau 5,29 milliardstel cm vom Kern entfernt, dies ist nur ein Durchschnittswert.

Teilen wir den Bereich um den Atomkern in drei Zonen ein: Zone 1 ist eine Kugel mit dem Radius 5 milliardstel cm, Zone 2 umfaßt alle Abstände zwischen 5 und 10 milliardstel cm, Zone 3 den ganzen übrigen Bereich. Man wird dann feststellen, daß bei 32 % der Atome das Elektron im Bereich 1, bei 44 % im Bereich 2 und bei 24 % im Bereich 3 ist. Bei einem bestimmten Atom können wir nur eine Wahrscheinlichkeit angeben, wo sich das Elektron zur Zeit befindet. Man kann zum Beispiel sagen, die Wahrscheinlichkeit, daß sich das Elektron in Zone 1 aufhält, beträgt 32 %. So unvollständig das Planetenmodell auch ist, so praktisch ist es doch für viele einfache Überlegungen und erste Näherungen, so daß wir von ihm noch einige Male Gebrauch machen werden. Man darf ja nie vergessen, daß man sich das Verhalten der Natur im atomaren Bereich sowieso nicht vorstellen kann, sondern nur Teilbereiche in Modellen darstellen kann, die aber nie das Ganze umfassen. Erinnern wir uns an die Wellen- und Teilchennatur des Lichts! Genau so wie die Wellentheorie nicht alle

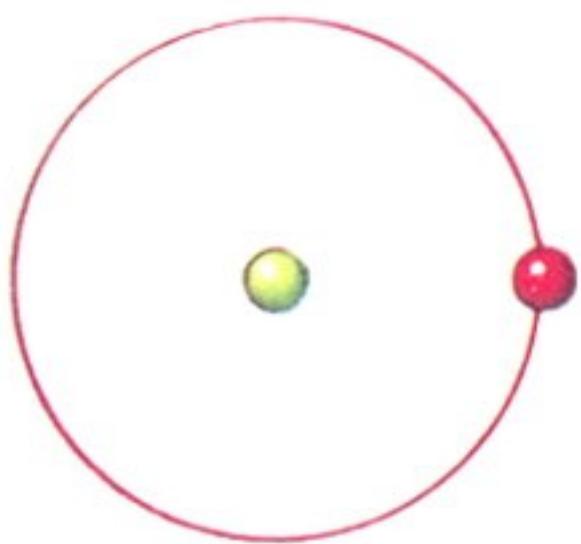
Eigenschaften des Lichts beschreibt, umfaßt das Planetenmodell nicht die ganze Natur des Atoms.



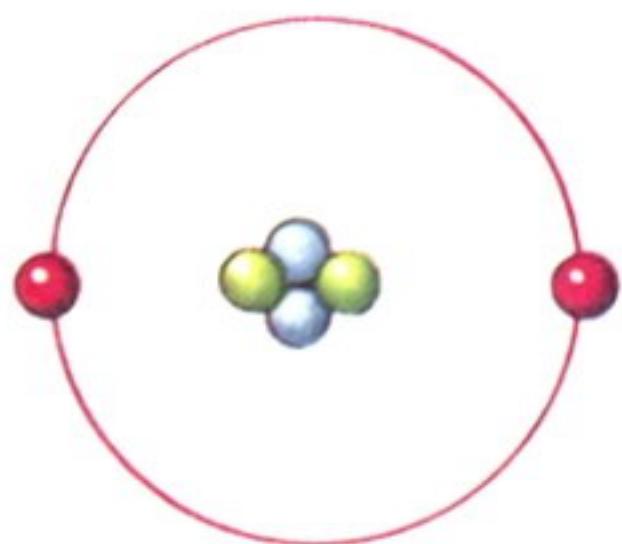
Springt ein Elektron von einer höheren Bahn auf eine niedrigere, z. B. von 3 auf 1, so wird Energie in Form eines Lichtquants frei. Da es nur ganz bestimmte, in unserem Bild mit 1, 2 und 3 bezeichnete Bahnen gibt, sind nur Lichtquanten ganz bestimmter Energie möglich. Ein Elektron auf Bahn 1 hat die Energie E1, ein Elektron auf Bahn 2 die höhere Energie E2 usw. Daher gibt es nur Lichtquanten mit der Energie E3 - E2, E3 - E1 (eingezzeichnet) und E2 - E1.



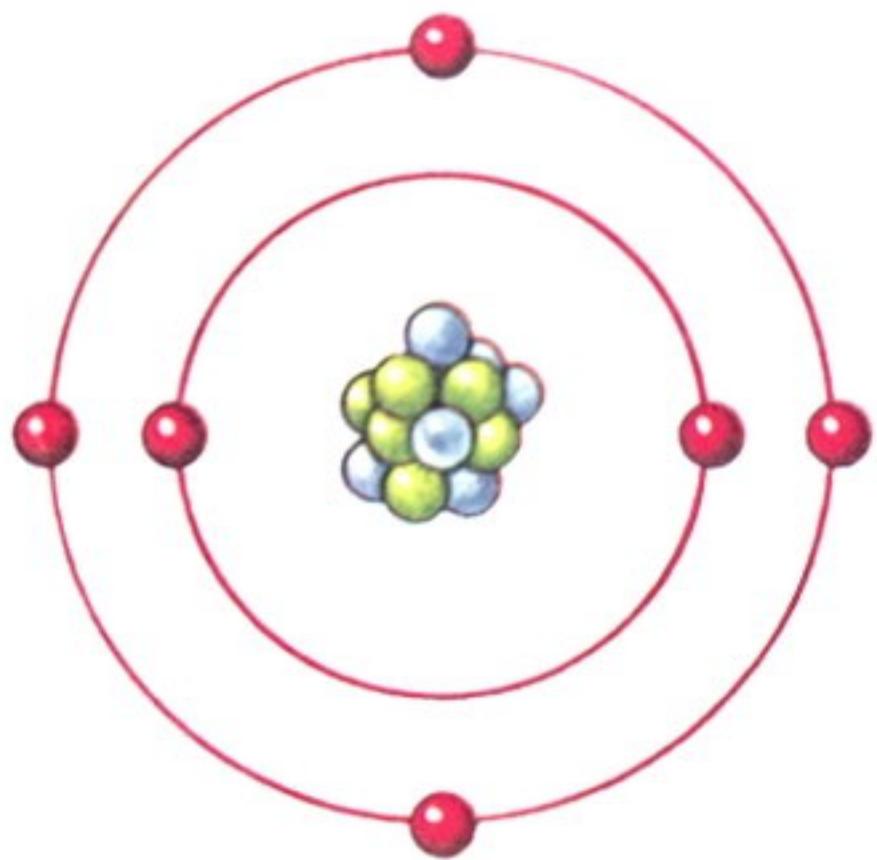
Bei 32 % der Wasserstoffatome im Normalzustand ist das Elektron in Zone 1, bei 44 % in Zone 2, bei 24 % in Zone 3.



Wasserstoffatom:
1 Proton im Kern
1 Elektron in der Hülle



Heliumatom:
2 Protonen und 2 Neutronen im Kern
2 Elektronen in der Hülle



Kohlenstoffatom:
6 Protonen und 6 Neutronen im Kern
6 Elektronen in der Hülle



Neutron



Proton



Elektron

Ein normaler Wasserstoffkern besitzt ein Proton, ein Heliumkern hat 2 Protonen und 2 Neutronen. Er wird auch α -Teilchen genannt. Ein Kohlenstoffkern hat 6 Protonen und 6 Neutronen.

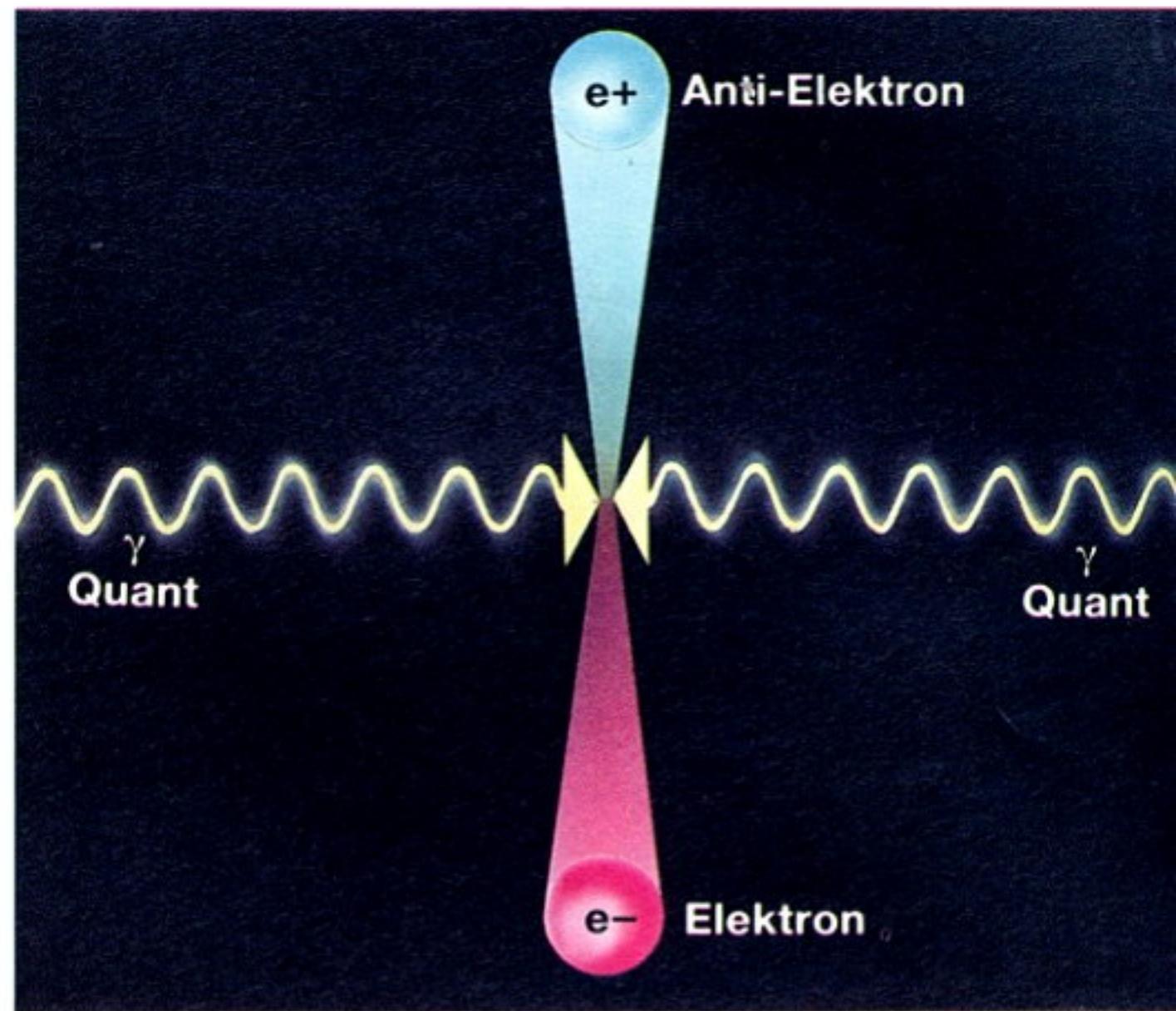
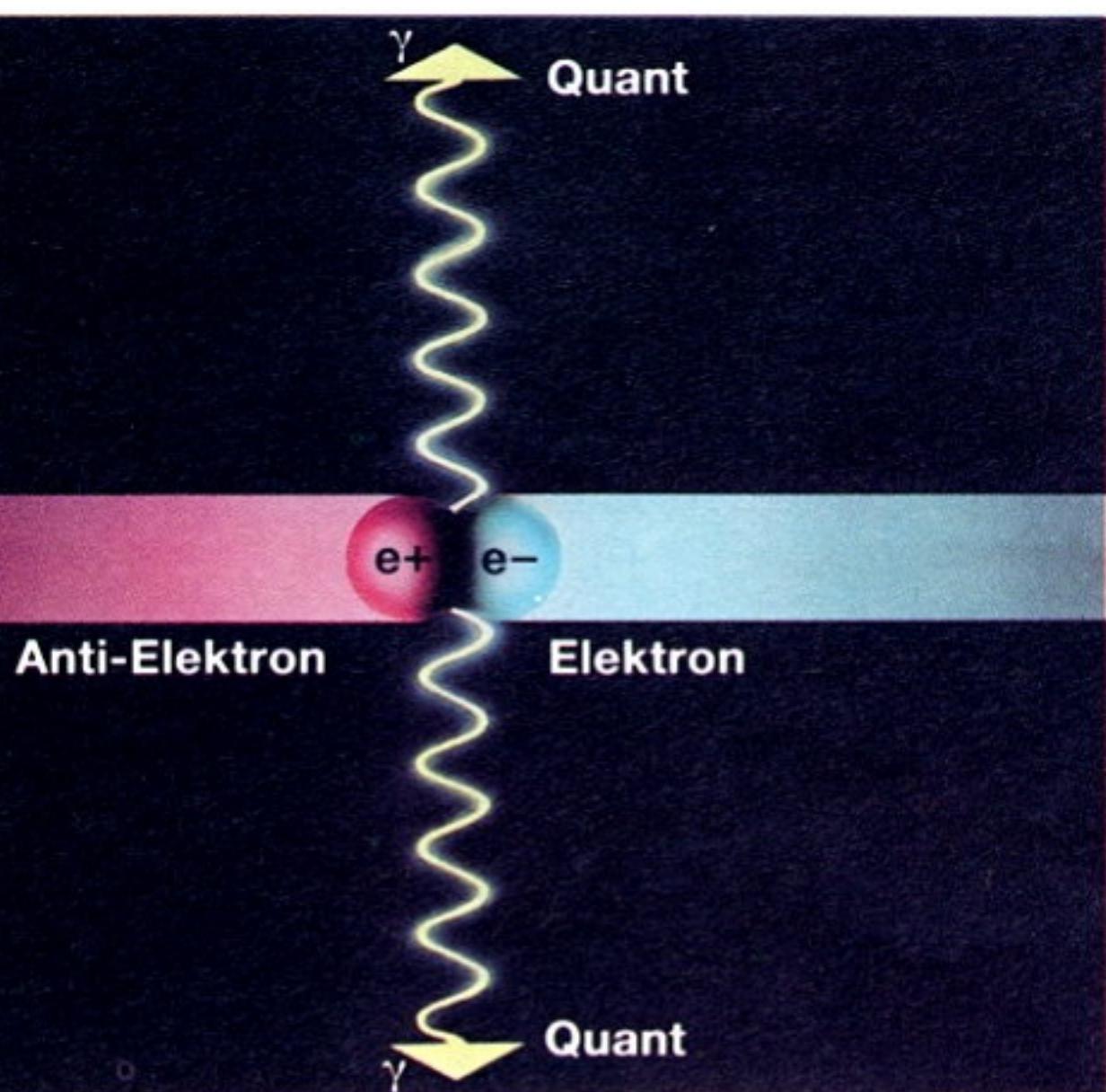
Atomkerne sind aus zwei Arten von Teilchen aufgebaut,

nämlich aus *Protonen* und *Neutronen*. Beide haben eine etwa gleich große Masse und

sind fast 2000mal schwerer als das Elektron. Während jedoch das Proton eine positive elektrische Ladung hat, die den gleichen Zahlenwert wie die negative des Elektrons besitzt, ist das Neutron, wie sein Name sagt, neutral, also nicht elektrisch geladen. Protonen und Neutronen nennt man auch *Nukleonen*, was soviel wie Kernbausteine heißt. Den Wert der elektrischen Ladung des Elektrons oder Protons nennt man *Elementarladung*.

Die Zahl der Protonen in einem Kern entscheidet, zu welchem chemischen Element dieser Kern gehört. Wasserstoffatome haben z. B. 1 Proton, Kohlenstoffatome 6 und Uranatome 92 Protonen in ihren Kernen. Die Neutronenzahl kann bei einem bestimmten Element variieren. So gibt es z. B. Wasserstoffkerne mit 0, 1 oder 2 Neutronen, die sogenannten *Isotope* des Wasserstoffs. Hat ein Atomkern 6 positive Protonen, so wird er von 6 negativen Elektronen umkreist, so daß das gesamte Atom elektrisch neutral ist. Geht diesem Atom ein Elektron verloren, so stehen 6 Protonen nur noch 5 Elektronen gegenüber. Das Atom hat dann die elektrische Ladung +1. Solche geladenen Atomreste nennt man *Ionen*.

Viele Atomkerne zerfallen in leichtere Kerne und senden dabei Alphastrahlen (Heliumkerne), Betastrahlen (Elektronen) oder Gammastrahlen (Photonen) aus. Dieses Verhalten nennt man *Radioaktivität*. Sie wird, zusammen mit allen Fragen der Kernenergie, in Band 3 der WAS IST WAS-Reihe „Atomenergie“ beschrieben, der eine wertvolle Ergänzung dieses Buches darstellt.



Links: Ein Elektron und ein Antielektron vernichten sich gegenseitig, es entstehen 2 Quanten. Rechts: Aus 2 Strahlungsteilchen oder Quanten bildet sich Materie, nämlich ein Elektron-Antielektron-Pärchen.

Die Antimaterie spielt nicht nur in

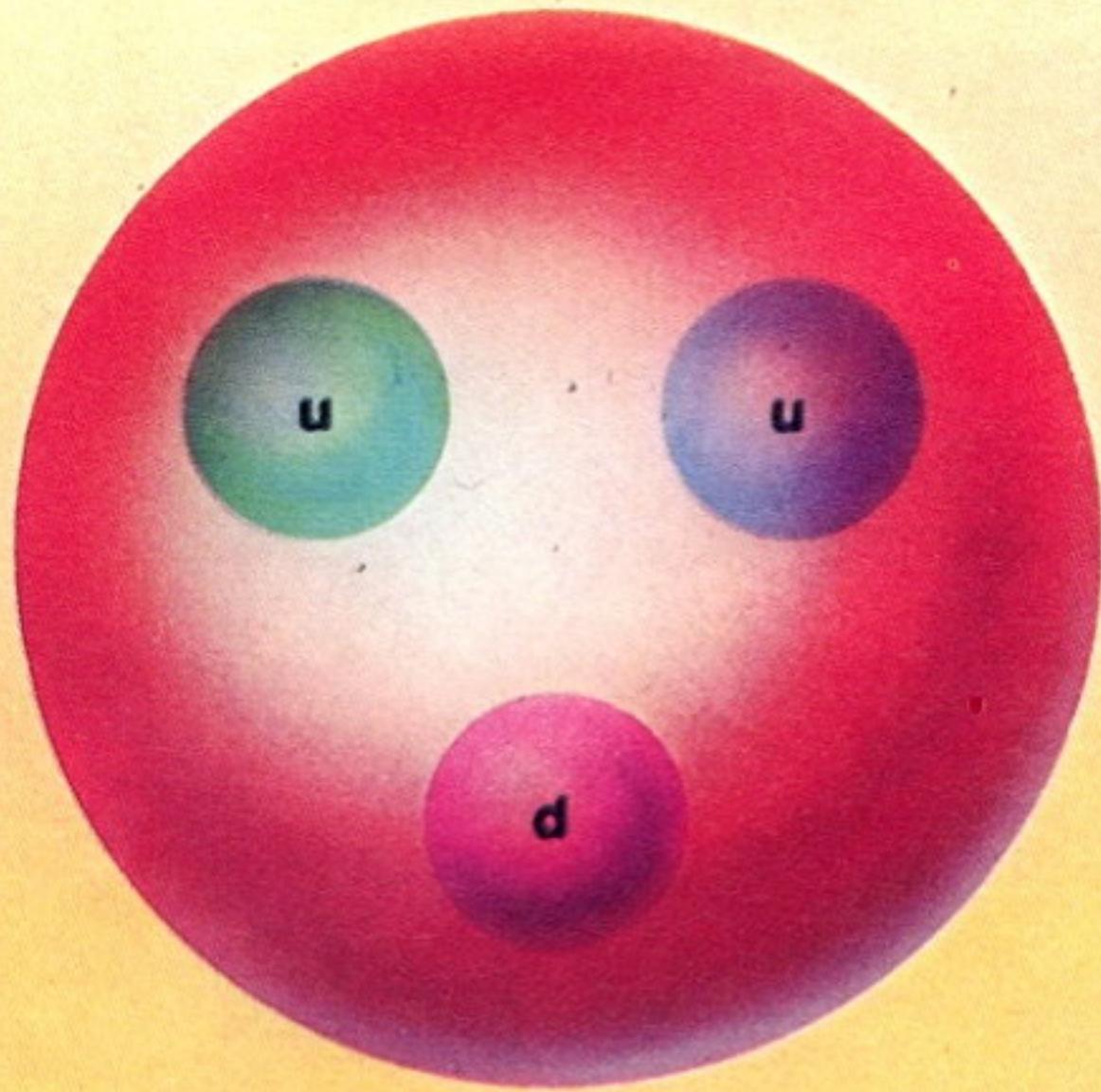
Gibt es Antimaterie?

Science-Fiction-Romanen eine große Rolle, es gibt sie wirklich! Zu allen in den vorherigen Kapiteln ge-

fundenen Teilchen hat man Antiteilchen gefunden. *Antielektronen*, auch Positronen genannt, sind nicht wie „normale“ Elektronen negativ, sondern positiv geladen, haben aber die gleiche Masse wie Elektronen. *Antiprotonen* sind negativ geladen. Materie und Antimaterie vertragen sich nicht. Trifft z. B. ein Elektron mit einem Antielektron zusammen, so vernichten sich die beiden gegenseitig und verwandeln sich in Energie, genau gesagt in zwei masselose Strahlungsteilchen oder Quanten. Umgekehrt können aber auch zwei Quanten ein Elektron-Antielektron-Pärchen bilden. Den ersten Vorgang nennt man oft „Zerstrahlung“, den zweiten „Paarbildung“. Einmal mehr bestätigt sich hier die alte Einsteinsche Gleichung $E = mc^2$. Masse kann in Energie, Energie in Masse umgewandelt werden. Bei der Zerstrahlung von Materie und Antimaterie wird die

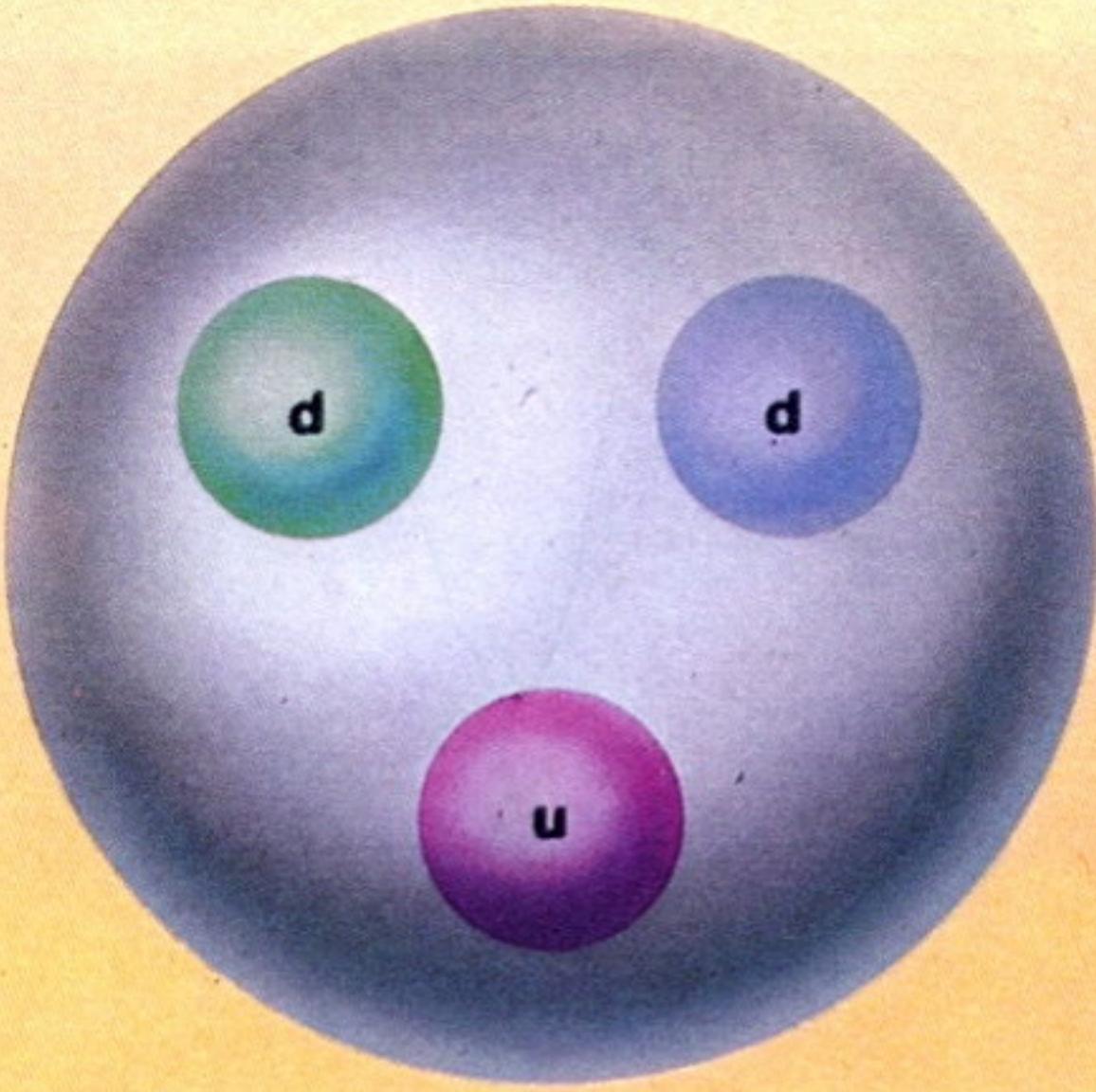
vorhandene Masse allerdings hundertprozentig in Energie umgewandelt, während im Kernreaktor oder im Sonnenzentrum noch nicht einmal 1 % des Brennstoffs ausgenutzt wird. Dort bleibt ja „Asche“ in Form von Atommüll oder Helium übrig, bei der Zerstrahlung verschwindet die Materie völlig. Könnte man Kraftwerke oder Raumschiffe bauen, bei denen sich kontrolliert Materie und Antimaterie in Energie verwandeln, so wären diese über 100-mal wirkungsvoller als normale Kernkraftwerke. Allerdings fehlt uns hierzu die nötige Antimaterie, da Erde und Sonnensystem aus normaler Materie aufgebaut sind. Es gibt jedoch Wissenschaftler, die annehmen, daß es auch Milchstraßensysteme aus Antimaterie gibt, die genau so beständig wie unsere Welt sind, solange sie nicht auf normale Materie treffen. Diese Theorie wird neuerdings wieder stark bezweifelt. Auf der Erde kann man Antiteilchen immer nur für ganz kurze Zeit in physikalischen Labors herstellen. Ihre Chancen, auf unserem Planeten zu überleben, sind klein, da sie überall sofort auf normale Materie treffen und vernichtet werden.

PROTON



Sandini

NEUTRON



Ein Proton besteht aus 2 u-Quarks und einem d-Quark. Das Neutron enthält 2 d-Quarks und ein u-Quark.

Lange Zeit glaubte man, daß Protonen

Was sind Quarks?

und Neutronen *Elementarteilchen*, also ähnlich wie das Elektron nicht mehr teilbar sind und keine innere

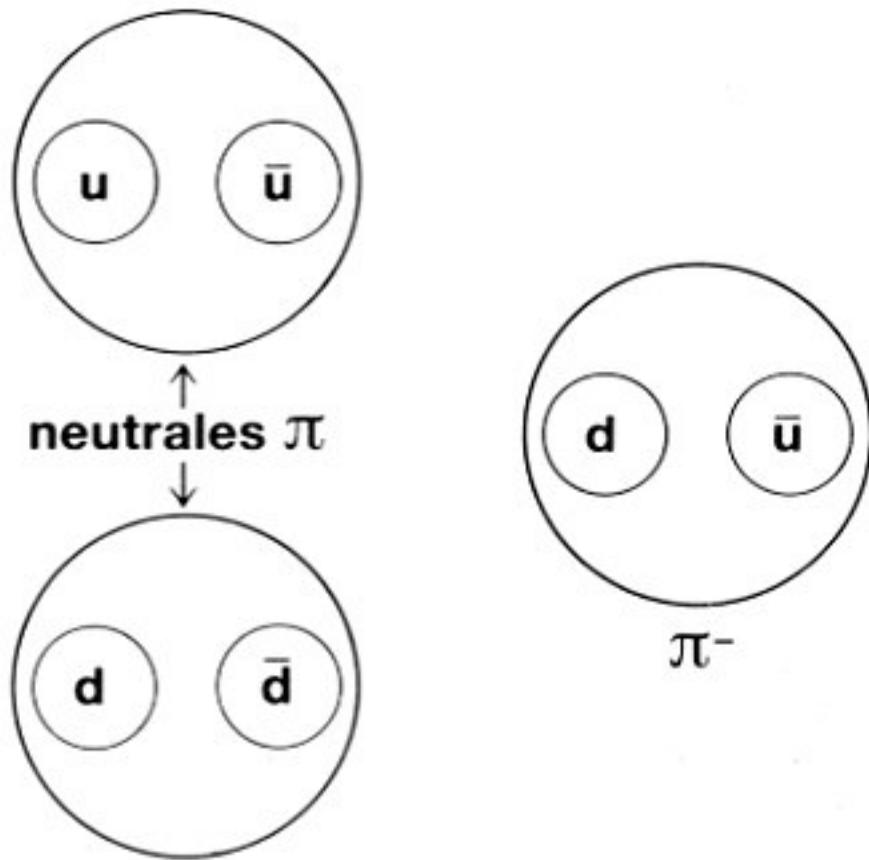
Struktur haben. Heute wissen wir, daß die Nukleonen, also die Protonen und Neutronen, aus noch kleineren Teilchen, den *Quarks*, aufgebaut sind. Wir kennen heute sechs verschiedene Quarks; für die normale, stabile Materie spielen jedoch nur zwei eine Rolle, das u- und das d-Quark. u ist eine Abkürzung für „up“, d für „down“. Das u-Quark hat die elektrische Ladung $\frac{2}{3}$, das d-Quark $-\frac{1}{3}$ (Elektron = 1). Das positive Proton besteht aus 2 u-Quarks und einem d-Quark. Dadurch ergibt sich seine Ladung: $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$. Ein Neutron enthält dagegen 2 d-Quarks und ein u-Quark. Seine Ladung ist $-\frac{1}{3} - \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 0!$

Wenn sich schon die Verhältnisse in den vergleichsweise großen Atomen der An-

schauung entziehen, so gilt dies für die winzigen Quarks natürlich noch viel mehr. So können Quarks z. B. nie einzeln, sondern nur in Zweier- oder Dreiergruppen vorkommen. Teilchen, die aus zwei Quarks bestehen, nennt man *Mesonen*, Teilchen mit drei Quarks *Baryonen*.

Neben ihrer elektrischen Ladung haben die Quarks noch eine andere, geheimnisvolle Eigenschaft, die man „Farbe“ nennt. So unterscheiden wir „rote“, „grüne“ und „blaue“ Quarks. Darunter darf man sich jedoch keine echten Farben vorstellen, sondern eine Art Ladung. Freie in der Natur herumfliegende Teilchen müssen immer „farbneutral“, also „weiß“ sein. Dies kann man folgendermaßen erreichen: ein rotes, ein grünes und ein blaues Quark bilden eine Dreiergruppe, z. B. ein Proton.

Genauso wie eine Kombination aller Regenbogenfarben „weiß“ ergibt, ist es auch bei einem Zusammenwirken aller drei Quark-Farben. Es entsteht ein weißes, erlaubtes Teilchen. Eine andere

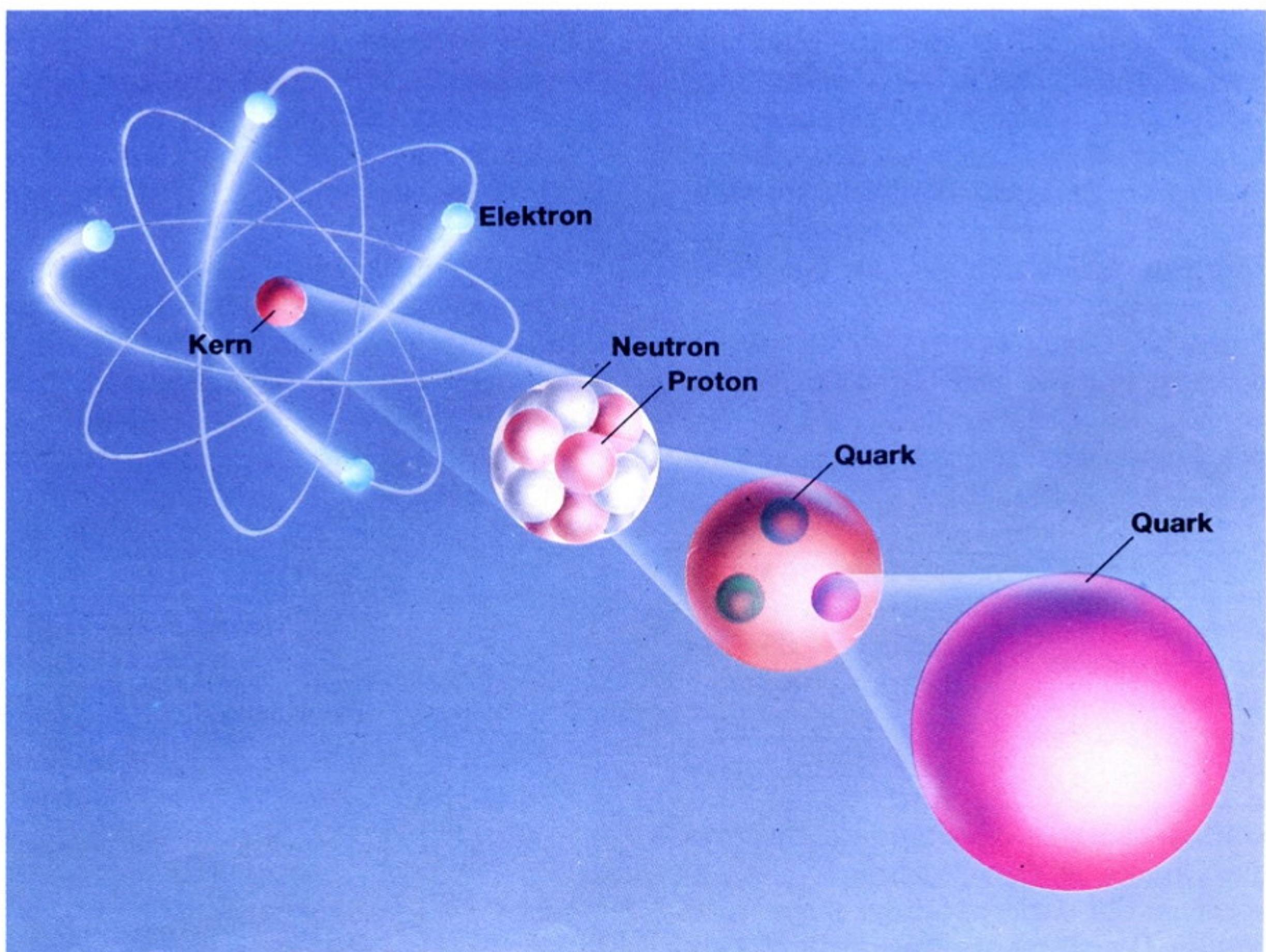


π -Mesonen bestehen aus einem Quark und einem Antiquark, das mit einem Querstrich über dem Buchstaben bezeichnet ist. Da solche Mesonen aus Materie und Antimaterie bestehen, zerfallen sie schnell.

Der Aufbau der Materie: Atome bestehen aus Elektronen und Kernen, Kerne aus Protonen und Neutronen, diese aus Quarks.

Möglichkeit ist die, daß ein „rotes“ Quark mit einem Antiquark, das die Farbe „antirot“ trägt, ein Paar bildet. Rot und Antirot heben sich auf und ergeben einen neutralen Farbton. Da diese Zweiergruppen (Mesonen) jedoch aus Materie und Antimaterie bestehen, zerfallen sie schnell. Daher sind die Mesonen nicht stabil.

Fassen wir also zusammen: Quarks kommen nie als freie unabhängige Teilchen in der Natur vor. Teilchen aus zwei Quarks, also die Mesonen, sind möglich, aber nicht stabil. Dagegen sind Dreiergruppen, also die Protonen und Neutronen, sehr stabile Gebilde. Die Menschen, die Erde, ja das ganze Milchstraßensystem sind praktisch aus drei Grundbausteinen aufgebaut: u-Quarks, d-Quarks und Elektronen. Ein 30 kg schweres Kind besteht z. B. aus $2,8 \cdot 10^{28}$ u-Quarks, $2,6 \cdot 10^{28}$ d-Quarks



und 10^{28} Elektronen, wobei 10^{28} eine 1 mit 28 Nullen ist.

Die Quarks bilden Nukleonen, diese schließen sich zu Atomkernen zusammen. Kerne und Elektronen vereinigen sich zu Atomen, diese fügen sich zu kleinen oder riesigen Molekülen wie Wasser oder Eiweiß zusammen. Milliarden von Molekülen bilden unsere Körperzellen, von denen ein Mensch wiederum viele Billionen besitzt. Aber so verschieden Menschen, Tiere, Pflanzen, Planeten oder Sterne auch sein mögen, sie alle sind nur aus drei Grundteilchen aufgebaut: u-Quarks, d-Quarks und Elektronen.

Natürlich kann man die Quarks nicht

Kann man Quarks beobachten?

dabei ähnlich vor wie vor 75 Jahren Rutherford und beschießt Protonen mit sehr schnellen Elektronen. Die meisten Elektronen ändern dabei ihre Richtung kaum. Einige jedoch werden völlig aus ihrer Bahn geworfen, so, als würden sie mit winzigen Kugelchen innerhalb des Protons zusammenstoßen. Diese Kugelchen sind die gesuchten Quarks. Eine genaue Untersuchung ergab, daß das Proton aus insgesamt drei solchen Urbausteinen besteht.

Zwischen den Elementarteilchen wirken

Was versteht man unter den vier Urkräften?

vier Arten von Kräften, die wir Urkräfte nennen.

- 1. Die starke Quarkkraft.** Sie wird auch Farbkraft genannt und verhindert, daß sich die Quarks in den Nukleonen zu weit voneinander entfernen oder sogar wegfliegen. Die starke Kraft wird durch Aus-

tauschteilchen, sogenannte *Gluonen*, übertragen, die zwischen den Quarks hin- und herfliegen und wie Klebstoff für ihren Zusammenhalt sorgen. Die Kernkraft, welche die Protonen und Neutronen im Atomkern zusammenhält, ist keine Urkraft, sondern läßt sich aus der Farbkraft ableiten, welche die stärkste der hier beschriebenen Kräfte ist.

- 2. Die elektromagnetische Kraft.** Sie tritt auf, wenn elektrische Ladungen im Spiel sind. Ein positiv geladenes Teilchen wird von einem anderen positiven abgestoßen, von einem negativen angezogen. Die Kraft wird von Photonen übertragen, die zwischen den geladenen Teilchen hin- und herfliegen und diese zusammenkitten.

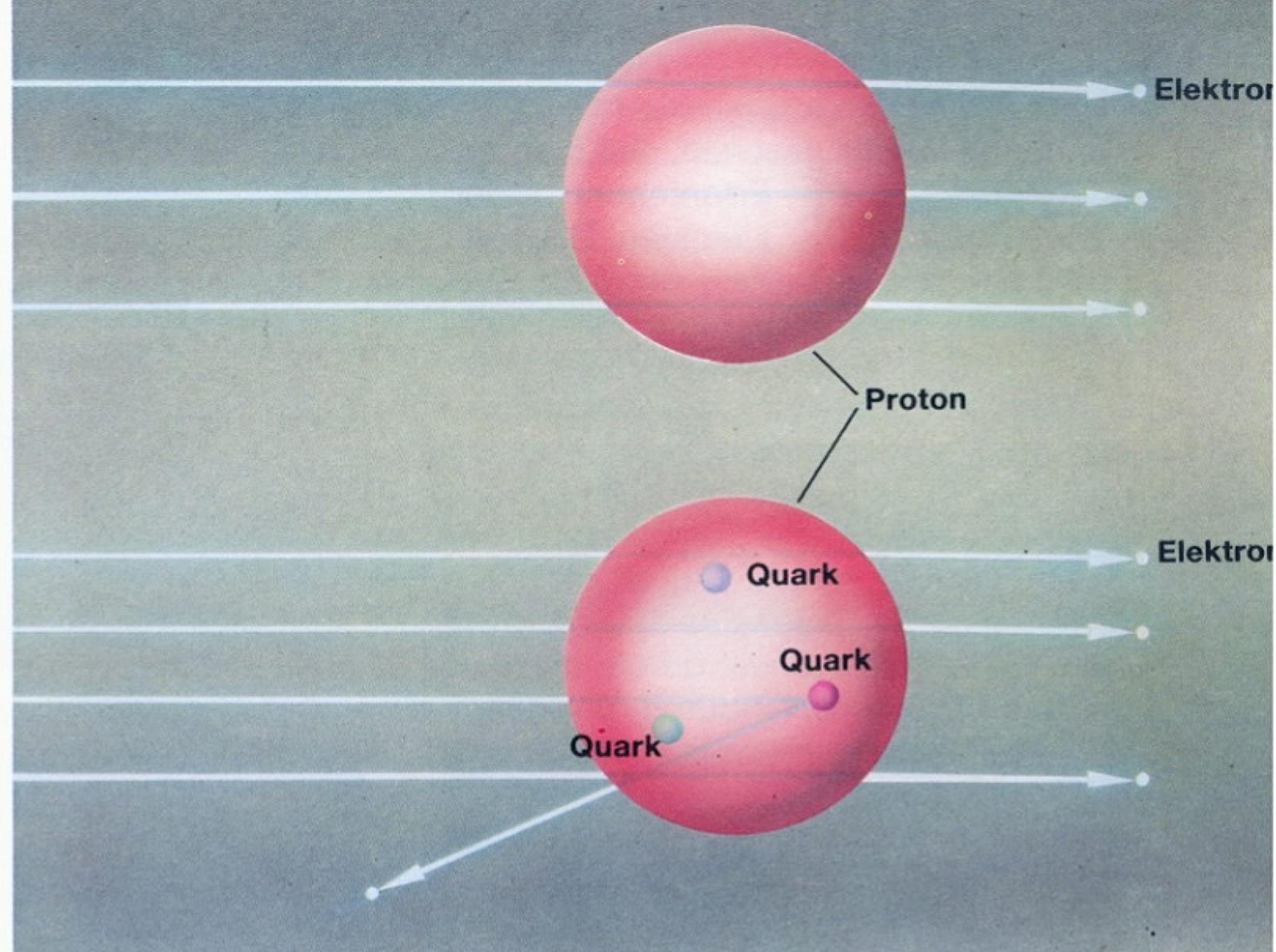
- 3. Die schwache Kraft.** Viele Teilchen reagieren weder auf die starke Quarkkraft noch auf die elektromagnetische Kraft, z. B., wenn sie keine elektrische Ladung und keine „Farbe“ haben. Es gibt nun noch eine weitere Urkraft, die nur auf äußerst kleine Distanzen wirkt, die sogenannte schwache Kraft, der ohne Ausnahme alle Teilchen ausgesetzt sind. Sie wird durch die *Weakonen* übertragen.

- 4. Die Gravitation oder Schwerkraft.** Sie zieht alle Teilchen, die eine Masse haben, an, ist aber gemessen an den anderen drei Urkräften so schwach, daß wir sie hier vernachlässigen können. Da sie aber auf große Distanzen wirkt, ist sie für die Himmelskunde wichtig.

Die vier Urkräfte		
Typ	Ladung	Austauschteilchen (Kitt)
1. Stark	Farbladung	Gluonen
2. Elektromagnetisch	Elektr. Ladung	Photonen
3. Schwach	Schwache Ladung	Weakonen
4. Gravitation	Masse	Gravitonen

Wäre die Materie im Proton gleichmäßig verteilt, so würden Elektronen, die durch das Proton hindurchgeschossen werden, kaum abgelenkt.

Dies ist auch bei vielen Elektronen der Fall, einige ändern jedoch stark ihre Richtung, da sie mit Quarks zusammenstoßen.



Leptonen sind Elementarteilchen, auf

Was sind Leptonen?

welche die starke Kraft nicht wirkt. Das bekannteste ist das Elektron. Insgesamt kennen wir sechs Leptonen und sechs Quarks, also 12 „echte“ Elementarteilchen, die sich nicht weiter zerlegen lassen. Wichtig für den Aufbau der Materie sind jedoch nur drei dieser Urbausteine, die Quarks u und d sowie das Elektron.

Wir hatten bereits gesehen, daß sich die elektromagnetischen Strahlen, zu denen ja auch das Licht gehört, einmal wie Wellen, dann wieder wie

Sind Elektronen Teilchen oder Wellen?

Teilchen verhalten. Dasselbe gilt nun auch für einen Strahl schneller Elementarteilchen. Elektronen verhalten sich in den meisten Fällen wie Teilchen, andere Experimente wiederum zeigen, daß

Elektronenstrahlen auch Welleneigenschaften haben. Auch hier erkennen wir wieder, daß alle anschaulichen Modelle, mit denen wir die Welt der kleinsten Teilchen beschreiben wollen, nur einen Teil einer nicht anschaulichen Wirklichkeit beschreiben.

e	μ	τ
Elektron	Myon	Tau
ν_e	ν_μ	ν_τ
Leptonen		

u	c	t
up	charm	top
d	s	b
Quarks		

Die Urbausteine der Materie

Wir hatten bereits gesehen, daß man zur

Wie erforscht man die kleinsten Teilchen?

Erforschung der kleinsten Bausteine der Materie Strahlen aus sehr schnellen Teilchen benötigt, die sich fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegen und sehr viel Energie mit sich führen. Diese Teilchen benutzt man dann als Sonden zur „Durchleuchtung“ größerer Materiebausteine. Zum Beispiel schießt man kleine Elektronen durch die viel größeren Protonen hindurch, um deren inneren Aufbau kennenzulernen, ähnlich wie ein Arzt Röntgenstrahlen durch den menschlichen Körper jagt, um dessen Innenleben zu studieren.

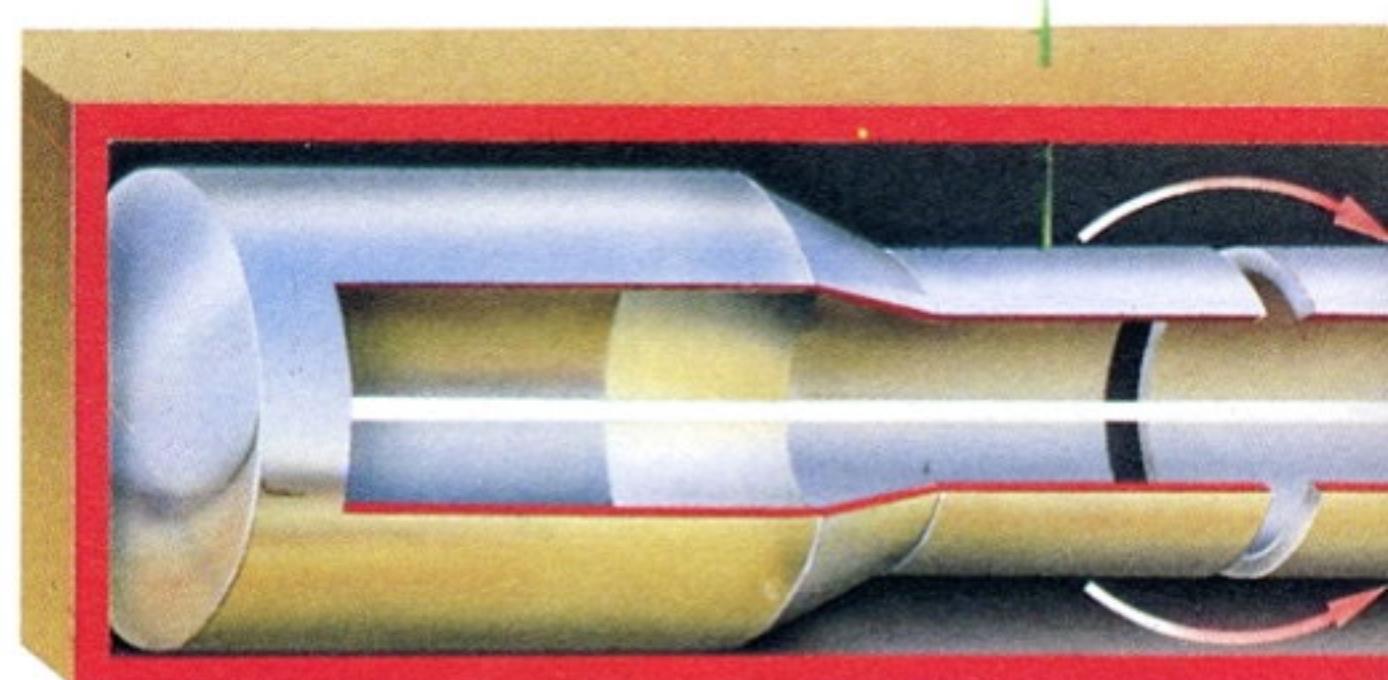
Es gibt noch eine andere Methode, den Aufbau der Materie zu erforschen: man läßt schnelle Elektronen oder Protonen auf andere Teilchen prallen oder noch besser hochbeschleunigte Materiebausteine frontal zusammenstoßen. Die hierbei freigesetzte Energie kann dann zur Bildung neuer, noch unbekannter Teilchen verwendet werden, da man ja bekanntlich Energie in Materie umwandeln kann. Auf jeden Fall benötigt man schnelle Teilchen, die in den sogenannten Hochenergiebeschleunigern erzeugt und auf Höchstgeschwindigkeiten gebracht werden.

Ein elektrisch negativ geladenes Elektron wird von einer positiven Ladung angezogen, von einer anderen negativen aber abgestoßen. Man

Wie funktioniert ein Beschleuniger?

kann ein Elektron immer schneller machen, indem man dafür sorgt, daß immer vor ihm eine positive und hinter ihm eine negative Ladung ist. Beim *Linearbeschleuniger* fliegen Elektronen nacheinander durch mehrere Metallzylinder hindurch. Durch Anlegen einer Wech-

selspannung kann man erreichen, daß der vor dem Elektron liegende Zylinder immer positiv, der hinter ihm gelegene immer negativ geladen ist. Jeder Zylinder, den das Teilchen hinter sich gelassen hat, stößt es also ab, jedes vor dem Elektron liegende zieht es an, so daß es immer schneller wird und mehr Bewegungsenergie bekommt. Natürlich kann man auf ähnliche Weise auch andere Teilchen beschleunigen.

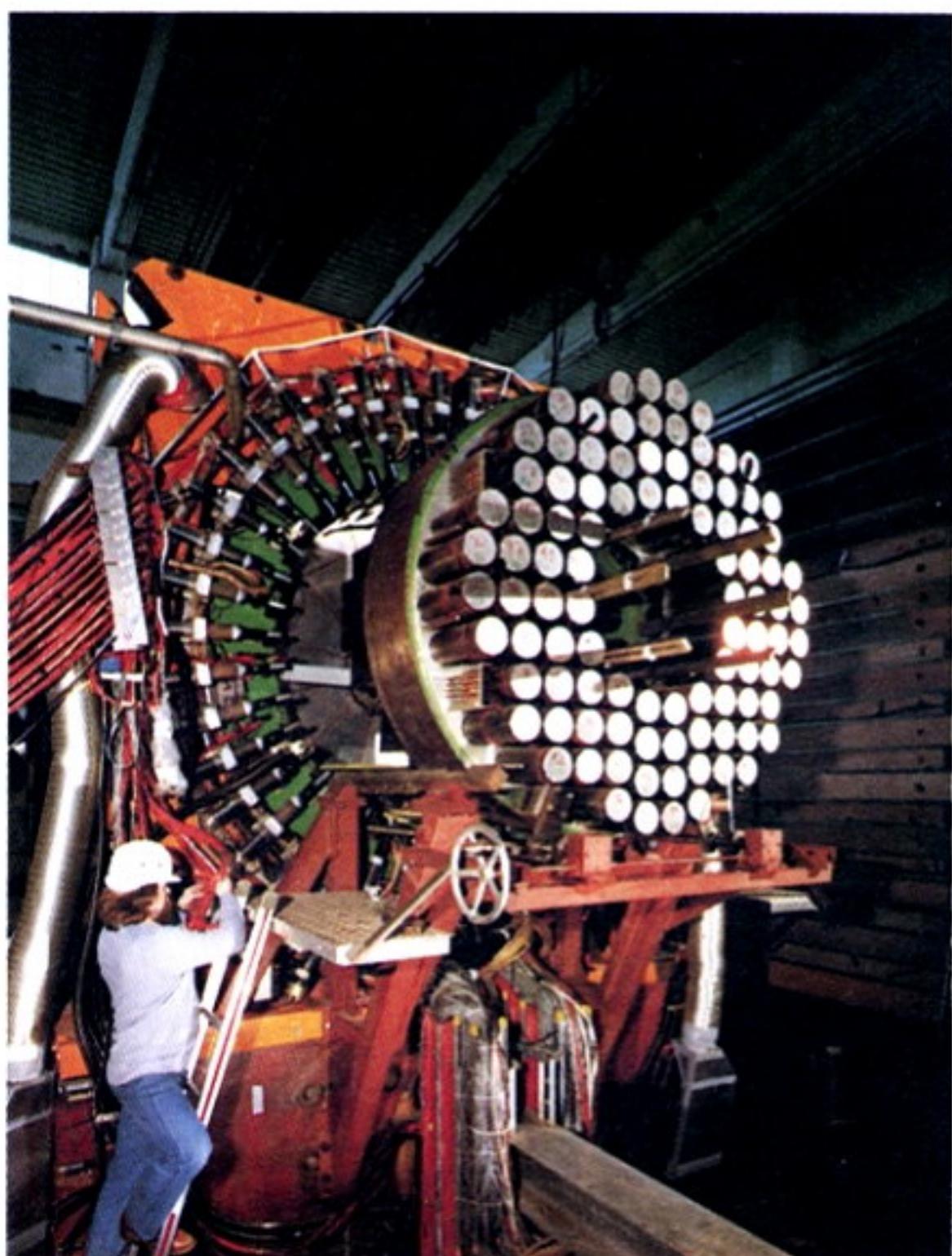
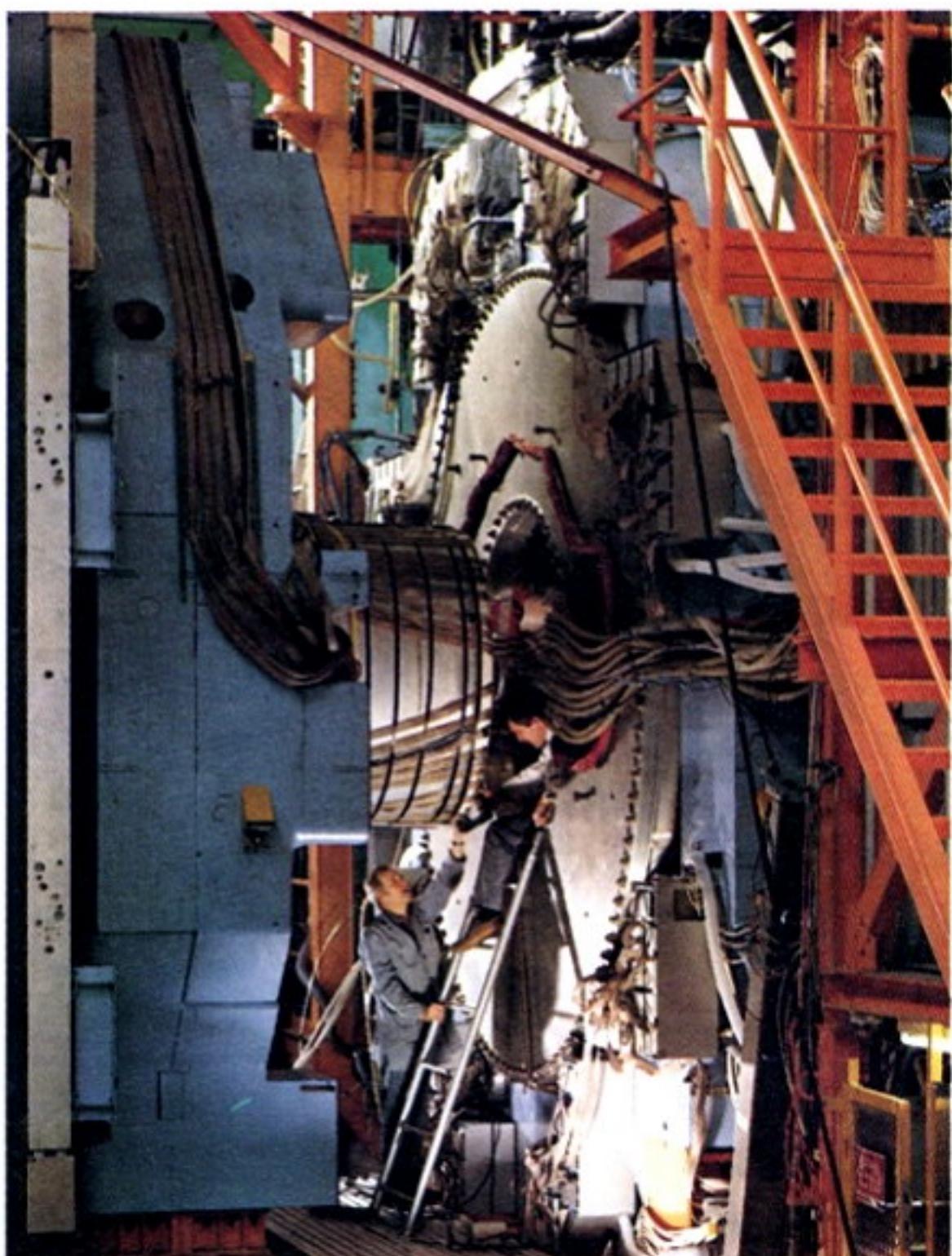
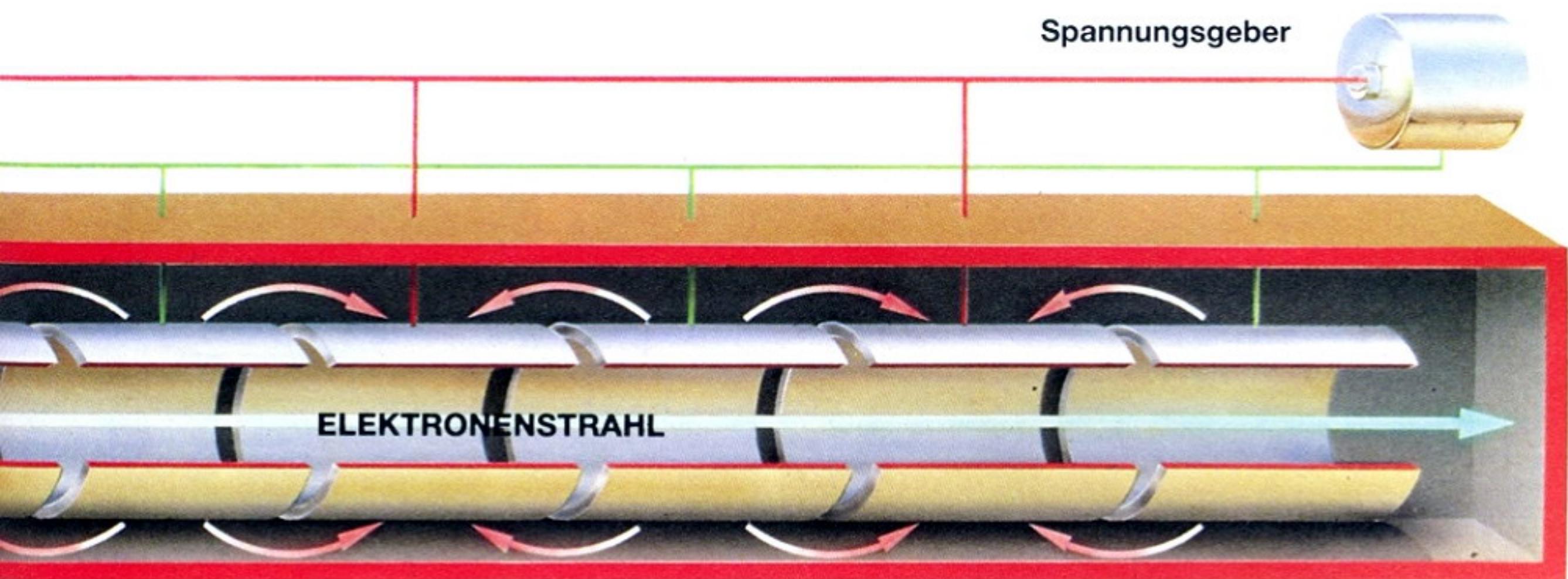


Beim *Linearbeschleuniger* fliegen Elektronen nacheinander durch mehrere Metallzylinder. Der vor dem Elektron liegende Zylinder zieht es an, der hinter ihm stößt es ab. Dadurch wird es immer schneller.

selspannung kann man erreichen, daß der vor dem Elektron liegende Zylinder immer positiv, der hinter ihm gelegene immer negativ geladen ist. Jeder Zylinder, den das Teilchen hinter sich gelassen hat, stößt es also ab, jedes vor dem Elektron liegende zieht es an, so daß es immer schneller wird und mehr Bewegungsenergie bekommt. Natürlich kann man auf ähnliche Weise auch andere Teilchen beschleunigen.

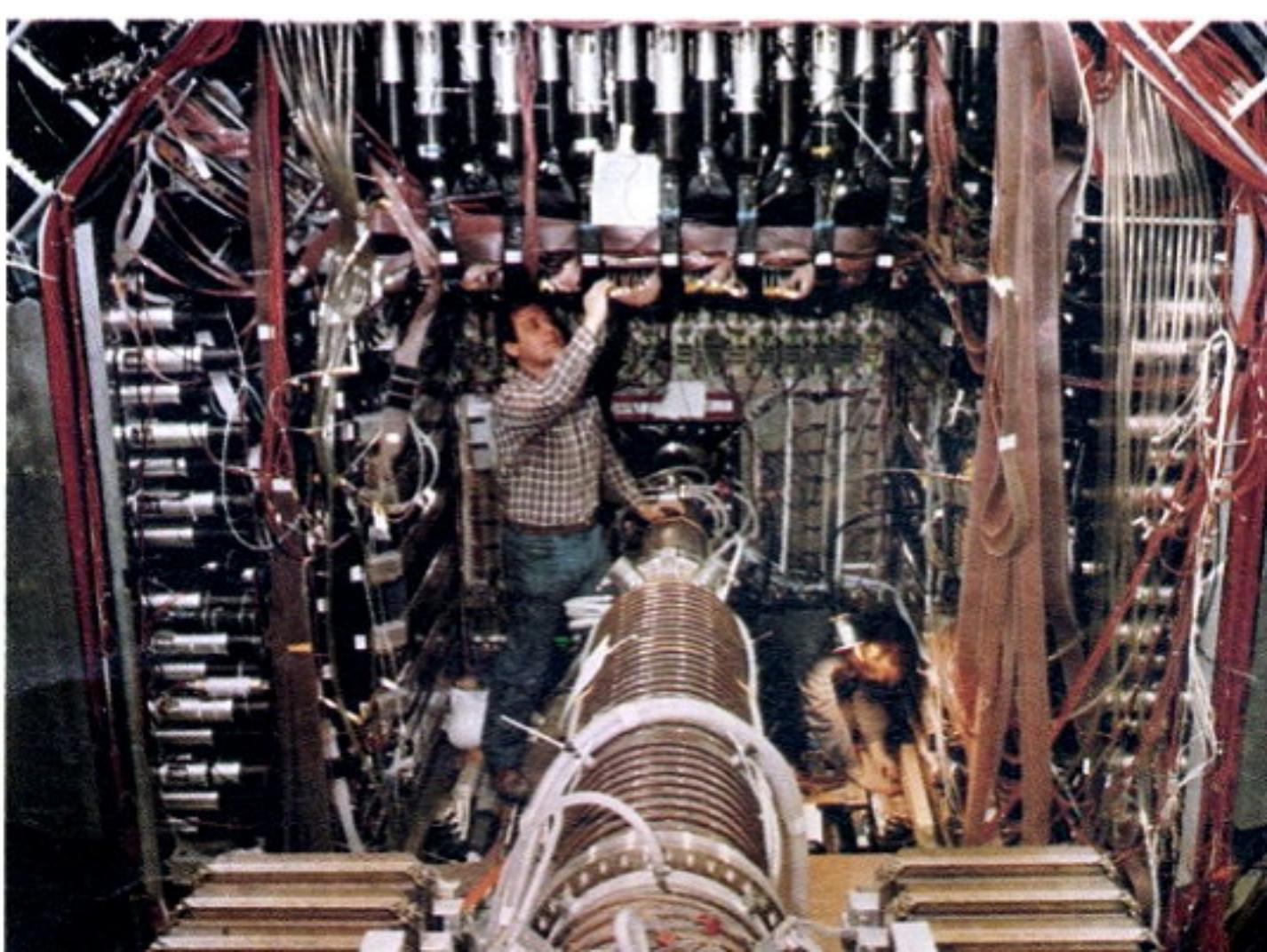
Beim *Elektronensynchrotron*, das wir z. B. bei DESY, einem Zentrum der Forschung auf dem Gebiet der Hochenergiephysik in Hamburg, finden, werden Elektronen zunächst durch einen Linearbeschleuniger vorbeschleunigt, dann werden sie in einen Ringspeicher eingeleitet. Diese Anlage, deren Durchmesser

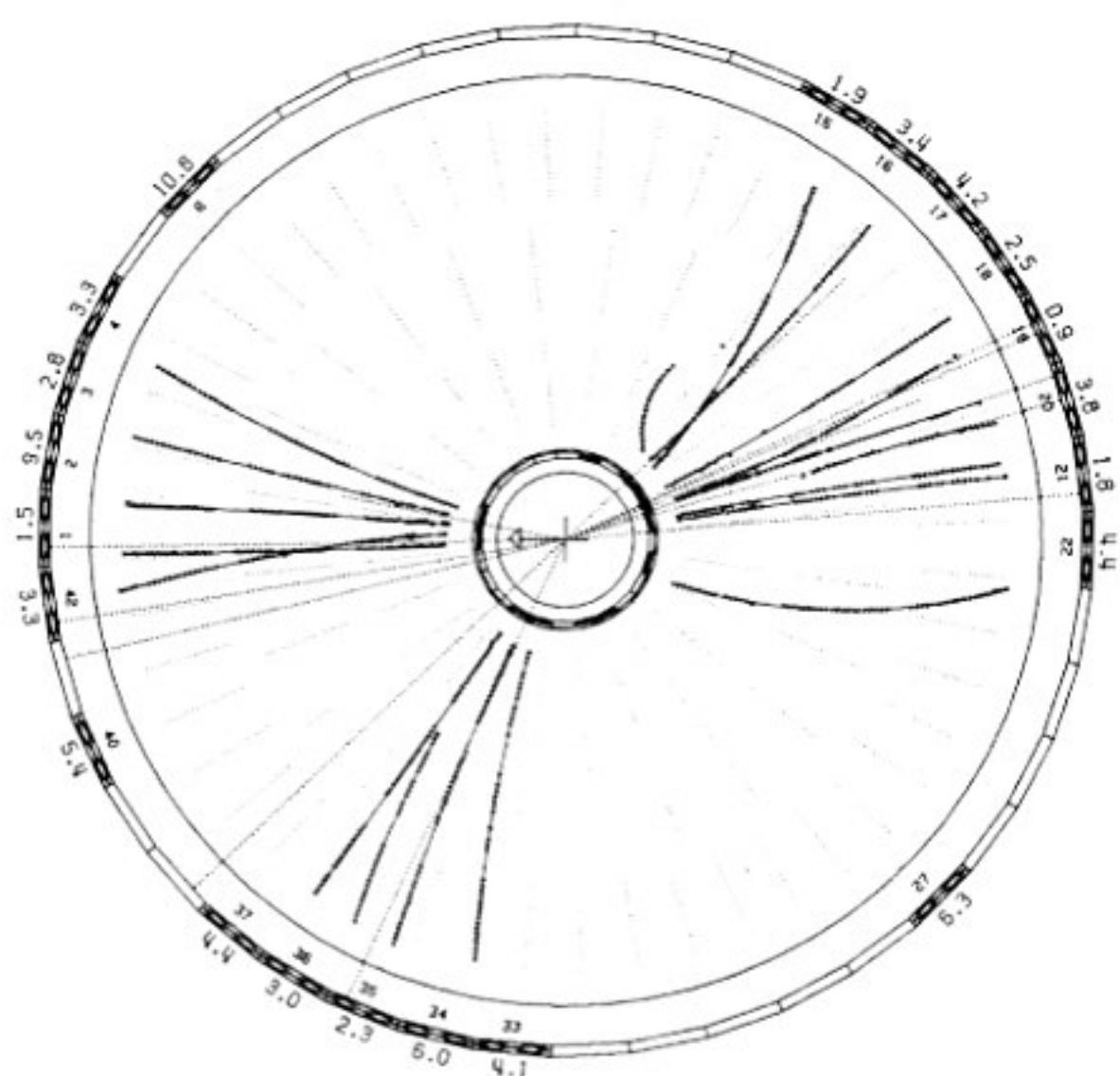




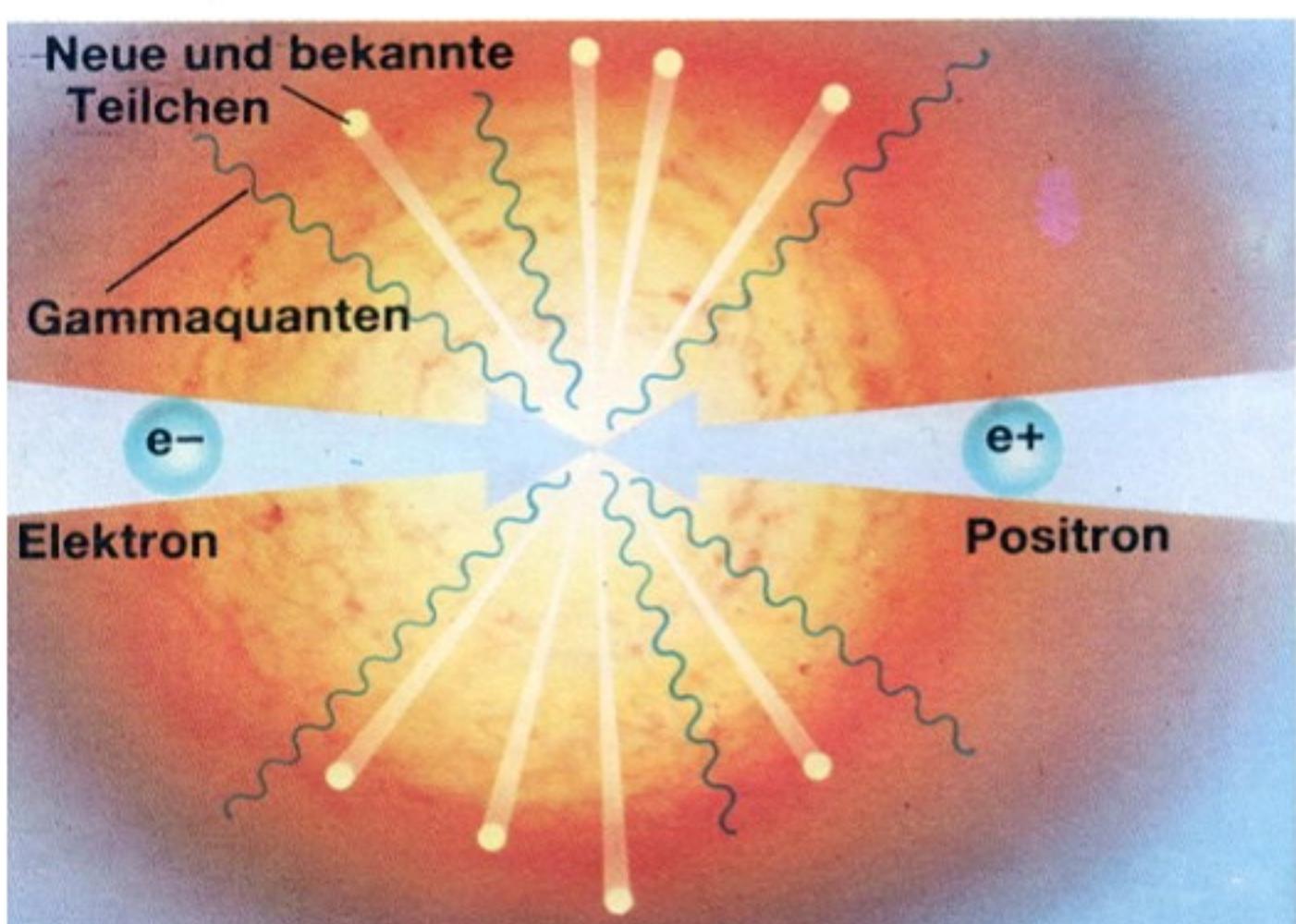
Ein Besuch bei Desy: Physiker, Ingenieure und Facharbeiter entschlüsseln mit hochwertiger Technik die letzten Rätsel der Natur.

Die Speicherringe „Petra“ und „Hera“ (im Bau) bei Desy in Hamburg haben Durchmesser von 700 und 2 000 m. In unterirdischen Ringtunnels werden Teilchen auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Das berühmte Volksparkstadion wirkt dagegen wie ein Kinderspielplatz.





Hier ist ein Elektron mit einem Positron zusammengestoßen. Neu erzeugte Teilchen verlassen in 3 Richtungen den Ort der Kollision.



Im Speicherring stoßen Elektronen und Positronen zusammen und erzeugen neue Teilchen.

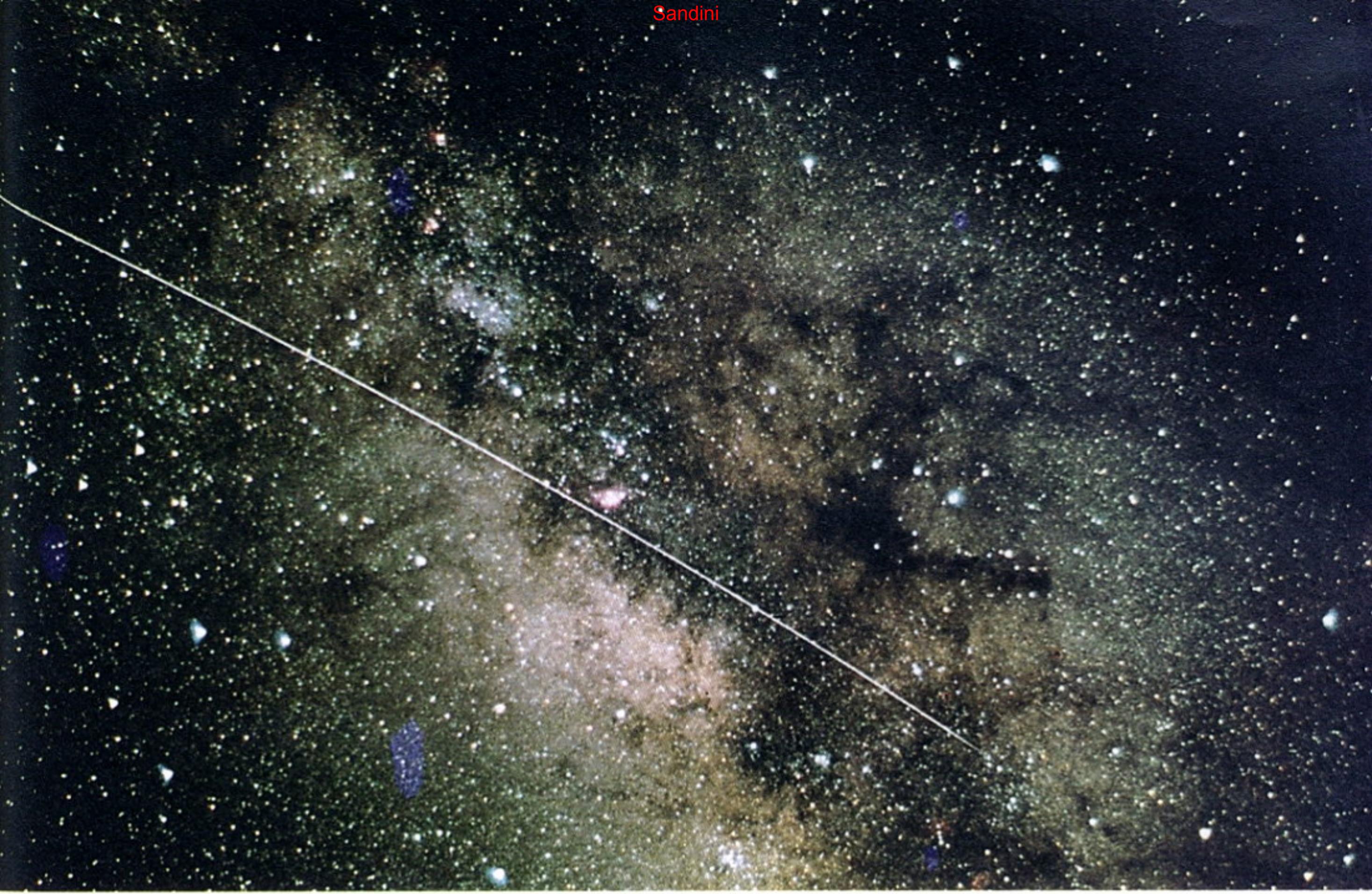
mehrere 100 m betragen kann, ist ein ringförmiger Tunnel. In diesem Tunnel erhöht man die Geschwindigkeit der Elektronen durch Anlegen von Spannungen immer mehr, Magnete sorgen dafür, daß die Elektronen auf ihrer kreisförmigen Bahn bleiben. Schließlich werden sie aus dem Kreis herausgelenkt und für verschiedene Versuche verwendet, indem man sie auf andere Teilchen, sogenannte „Targets“ prallen läßt. Die Elektronen erreichen auf ihrer Kreisbahn fast die Lichtgeschwindigkeit, legen also in einer Tausendstelsekunde 300 km zurück. Ihre Masse steigt dabei um das Viertausendfache!

Besonders wirkungsvoll sind die Speicherringe, bei denen man hochbeschleunigte Teilchen frontal aufeinanderprallen läßt. Ihre gesamte geballte Bewegungsenergie steht dann für die Bildung neuer bekannter und unbekannter Materiebausteine zur Verfügung.

Schon Albert Einstein hatte sich bemüht, alle Naturkräfte zu einer Urkraft zusammenzufassen. Heute, über 30 Jahre nach seinem To-

de, ist es den Physikern gelungen, zu zeigen, daß bei sehr hohen Temperaturen und Energien der Unterschied zwischen der elektromagnetischen und der schwachen Kraft verschwindet. Es ist möglich, daß bei noch viel höheren Temperaturen und Teilchenenergien auch der Unterschied zwischen der starken und der schwachen Kraft verschwindet, aber auch der Unterschied zwischen Leptonen und Quarks, so daß es dann nur noch ein Urteilchen und eine Urkraft gibt.

Solche Verhältnisse sind auch mit den größten Beschleunigern nicht herzustellen, könnten aber kurz nach dem Urknall geherrscht haben, als das ganze Universum noch ein superdichter und energiegeladener Feuerball war. Es gibt im Bereich des Kleinsten noch viel zu erforschen, zum Beispiel könnten sich die Physiker des 21. Jahrhunderts die Frage vorlegen, ob Quarks und Elektronen aus noch kleineren Bestandteilen aufgebaut sind. Bis zu Beantwortung der hier aufgeworfenen Fragen müssen wir mit dem an sich ja recht zufriedenstellenden Zwischenergebnis leben, daß es 12 Urteilchen, nämlich sechs Quarks und sechs Leptonen gibt, von denen aber nur 3 für den Aufbau der Welt eine Rolle spielen.



Ein Blick ins Weltall: unser Bild zeigt Tausende von fernen Sonnen.

Urknall und Ewigkeit

Mit bloßem Auge kann man in einer klar-

Warum leuchten die Sterne?

ren mondlosen Nacht rund 2 500 Sterne erkennen, mit Hilfe von Fernrohren viele Millionen. Sieht man von den Planeten unseres Sonnensystems wie Venus und Saturn ab, so sind alle diese Sterne ferne Sonnen, also heiße Gaskugeln, die an ihrer Oberfläche mehrere Tausend, in ihrem Inneren sogar viele Millionen Grad heiß sein können. Manche von ihnen leuchten in Wirklichkeit zehntausendmal stärker als unsere Sonne, andere sind viel lichtschwächer als unser Zentralgestirn. Aber alle Sterne haben eines gemeinsam: Sie erzeugen tief in ihrem Inneren

Kernenergie, hauptsächlich durch die Umwandlung von Wasserstoff in Helium. Diese fast unerschöpfliche Energiequelle verhilft den Sternen zu einem sehr langen Leben, unsere Sonne z. B. kommt 10 Milliarden Jahre mit ihrem Brennstoff aus. Die im Sternzentrum erzeugte Energie wird nach außen transportiert und von der Oberfläche des Sterns in Form von UV-, Röntgen- und Teilchenstrahlung, Licht, Wärme und Radiowellen abgestrahlt. Am Ende ihres Lebens gehen die Sterne teilweise durch gewaltige Explosionen zugrunde. Von ihnen bleiben dann nur superdichte, kleine Materiekugeln übrig, die man „Weiße Zwerge“, „Neutronensterne“ und „Schwarze Löcher“ nennt. Auch unsere Sonne wird einmal ein Weißer Zwerg.



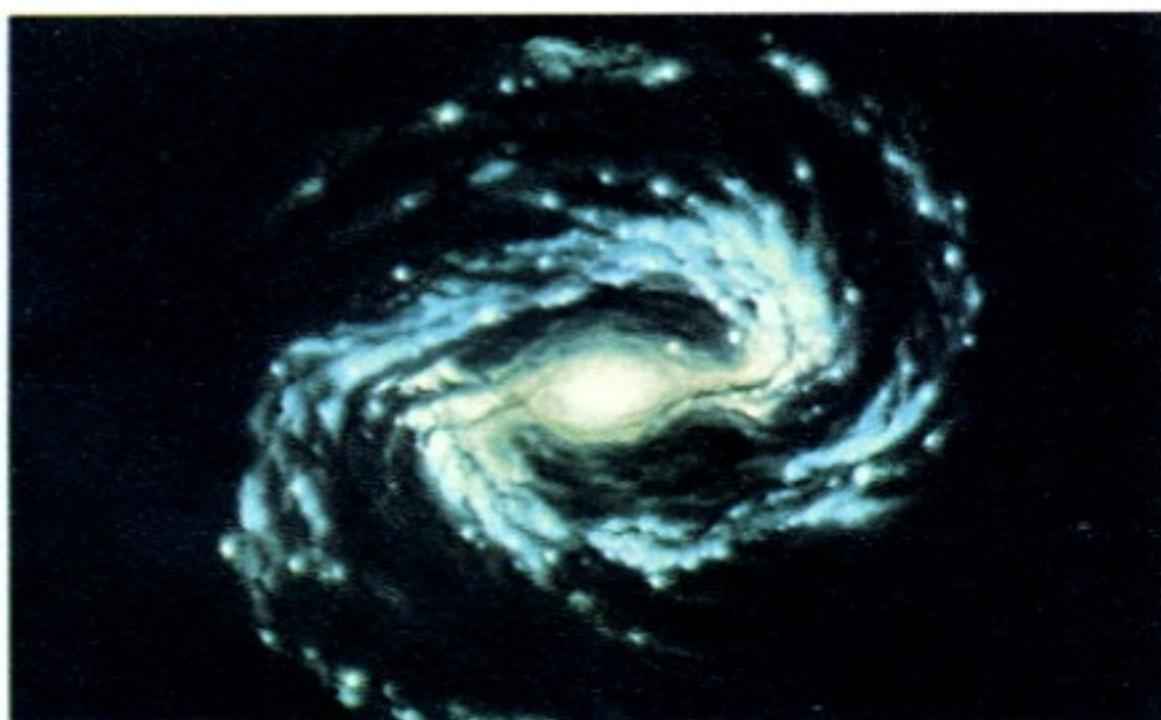
Unser Milchstraßensystem hat rund 200 Milliarden Sterne. Die Lage unserer Sonne ist eingezeichnet.



Die Sterne sind nicht gleichmäßig im Weltall verteilt, sie bilden gewaltige Familien, die man Galaxien nennt. Unsere Sonne z.B. ist nur einer von 200 Milliarden Sternen unserer Heimatgalaxie, des *Milchstraßensystems*, das

Was sind Galaxien?

Die wichtigsten Galaxientypen:
links Spiralgalaxie und Balkenspirale, unten elliptische Galaxie



trotz seiner gewaltigen Masse nur guter Durchschnitt ist: Wir kennen nämlich Galaxien mit vielen Billionen Sonnen, andere haben „nur“ einige Milliarden Sterne.

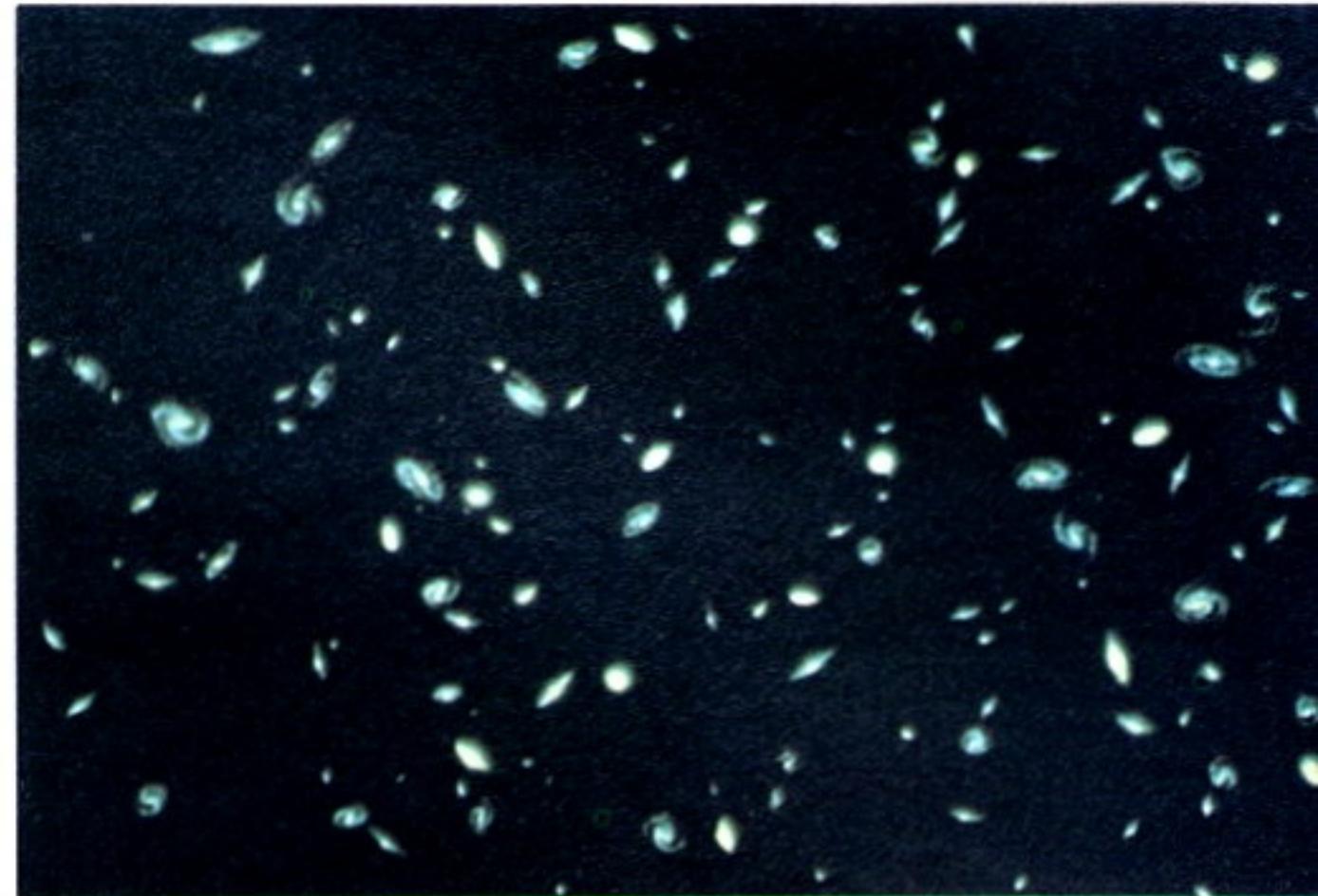
Galaxien können ganz verschiedene Formen haben. Man unterscheidet Sprialgalaxien, Balkenspiralen und elliptische Systeme. Die Galaxien bilden große oder kleinere Gruppen, die Galaxienhaufen. Unsere Milchstraße gehört z. B. zur „Lokalen Gruppe“, die etwa 30 Mitglieder hat und deren größtes System der Andromedanebel mit rund 400 Milliarden Sternen ist. Es gibt aber auch Galaxienhaufen mit Tausenden von Welteninseln. Soweit die großen Teleskope blicken können, findet man Galaxien, viele sind Milliarden von Lichtjahren von uns entfernt.

Wenn sich eine Lichtquelle, also z. B.

Kann man die Geschwindigkeit von Sternen messen?

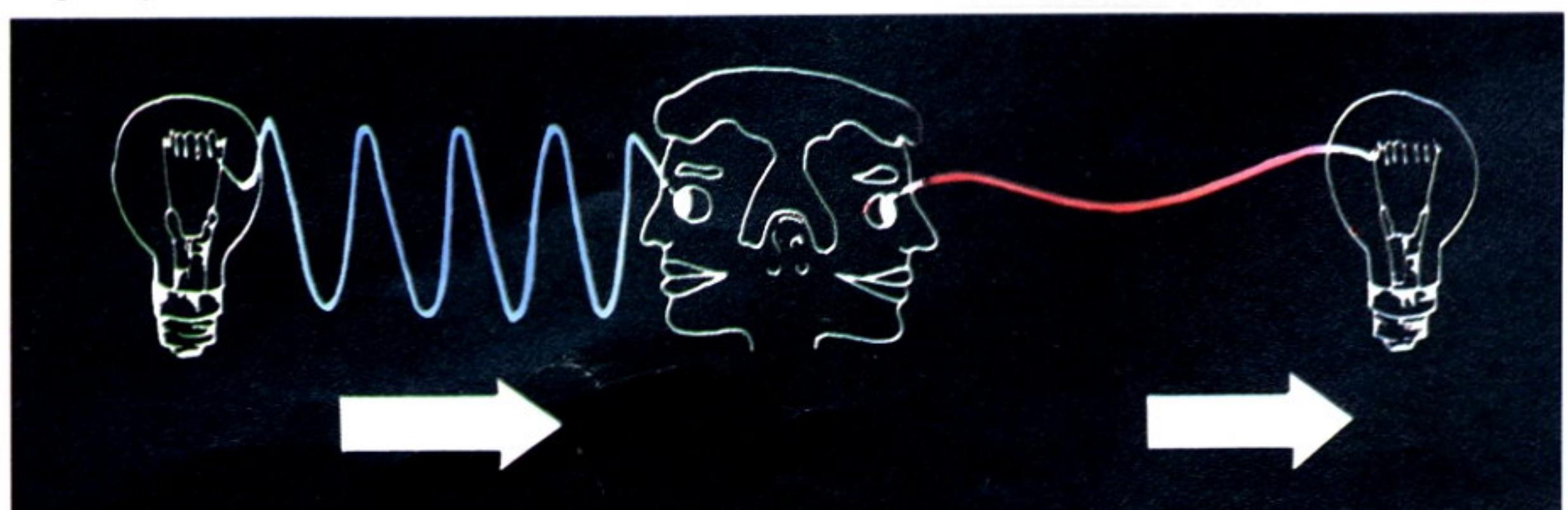
ein Stern oder eine ferne Galaxie, mit großer Geschwindigkeit auf uns zu bewegt, so wird ihr Licht kurzwelliger. Das kann so weit gehen, daß in Wirklichkeit langwelliges rotes Licht als kurzwelliges Blau erscheint. Bewegt sich die Lichtquelle dagegen von uns weg oder entfernen wir uns selbst mit einem schnellen Raumschiff von ihr, so wird ihr Licht langwelliger. Eine blau leuchtende Lampe, die sich sehr schnell von uns entfernt, erscheint uns gelb oder rot.

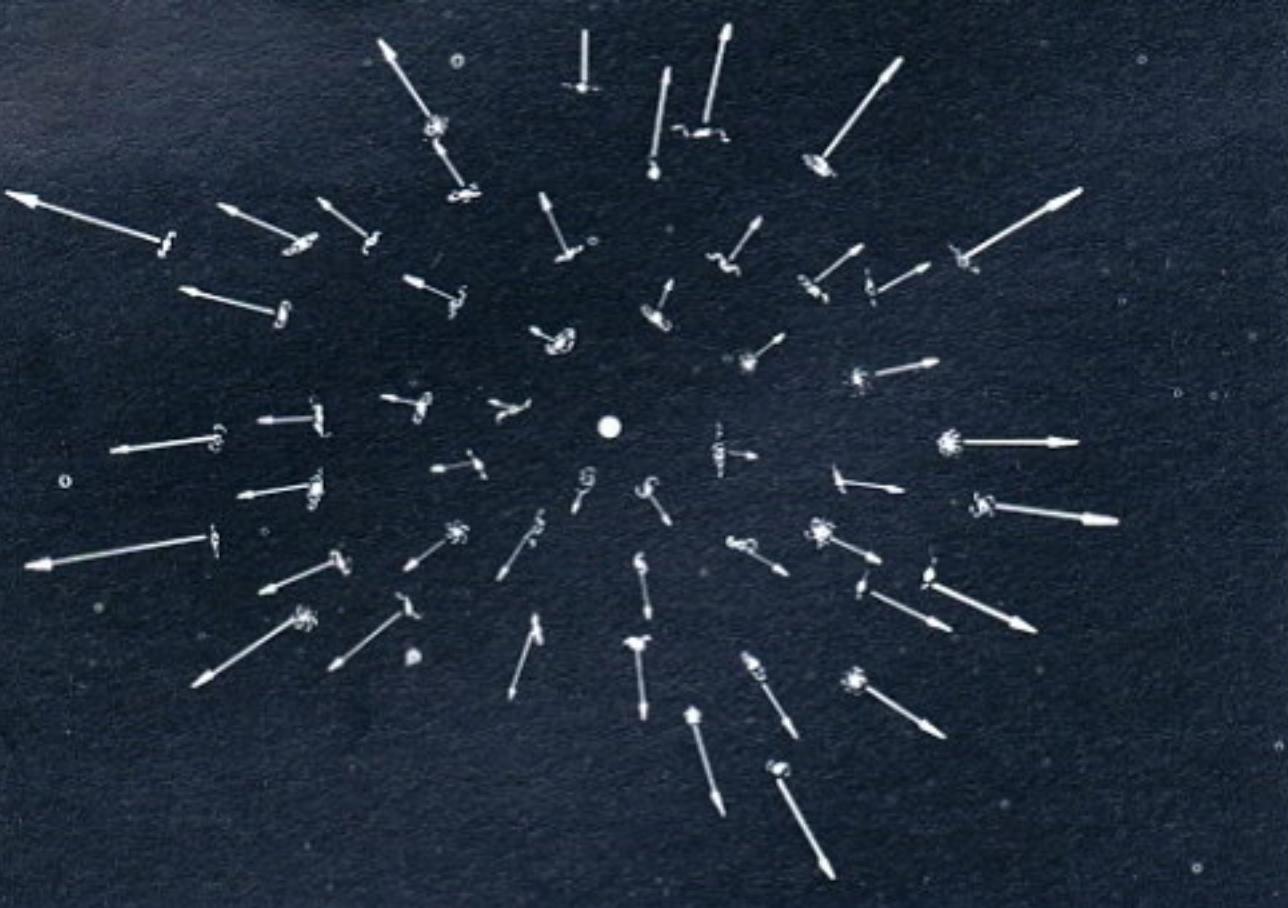
Bewegt sich eine Lichtquelle auf uns zu, so wird ihr Licht kurzwelliger, entfernt sie sich von uns, so wird es langwelliger.



Blick in einen Galaxienhaufen: jedes Scheibchen ist in Wirklichkeit eine gewaltige Weltinsel, die Milliarden oder Billionen von Sternen enthält. Auch unsere Milchstraße gehört zu einem Galaxienhaufen.

Nun haben wir im vorigen Kapitel gesehen, daß der überall im Weltraum vor kommende Wasserstoff Licht ganz bestimmter, genau bekannter Wellenlängen ausstrahlt. Bewegt sich ein heißer, wasserstoffhaltiger Stern von uns weg, so erscheint uns dieses Licht langwelliger als erwartet, rast er auf uns zu, so ist es kurzwelliger. Aus dieser Wellenlängenänderung, die man natürlich auch beim Licht anderer Atomsorten feststellen kann, berechnen die Astronomen ganz genau, wie schnell sich ein Stern auf sie zu oder von ihnen weg bewegt. Unser schnellster Nachbar rast z. B. mit 543 km/s von uns weg, andere Sterne nähern sich uns mit bis zu 500 km/s, ohne natürlich je mit der Sonne zusammenzustoßen, da sie sich ja nie ganz genau auf diese zubewegen.



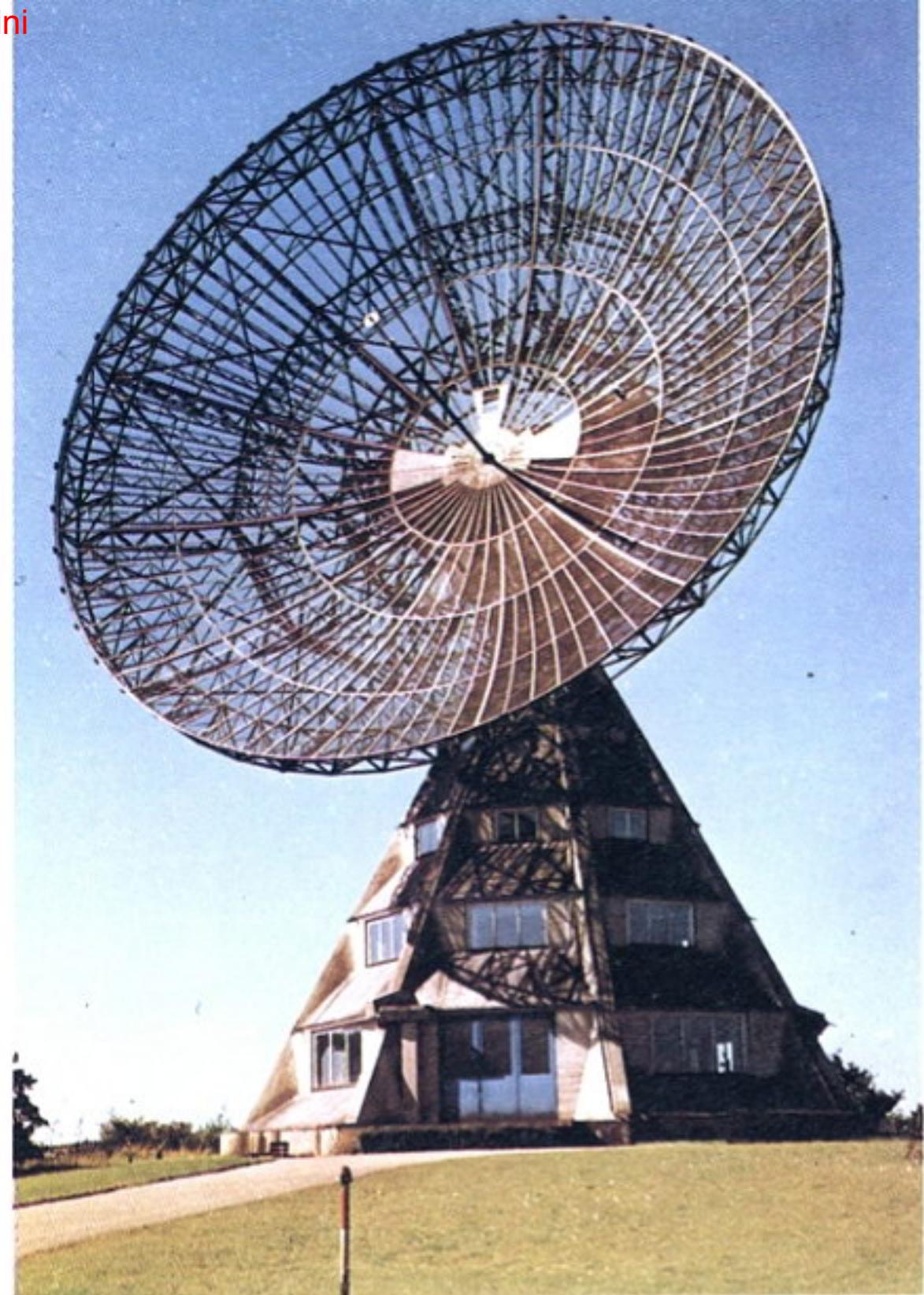


Alle fernen Galaxien rasen von uns weg, je größer ihre Entfernung ist, um so höher ist ihre Geschwindigkeit.

Nicht nur die Sterne, auch die Milchstraßen sind in Bewegung. Unsere Nachbargalaxien rasen teils auf uns zu, teils von uns weg. Der Andromedanebel z. B. nähert sich uns mit 270 km/s, während sich die sogenannten Magellanschen Wolken mit einer ähnlichen Geschwindigkeit von uns entfernen. Eine vergleichbare Geschwindigkeitsverteilung könnte man nun auch von den fernen Galaxien und Galaxienhaufen erwarten. Zu ihrer Überraschung mußten die Astronomen jedoch feststellen, daß sich alle fernen Welteninseln von uns wegbewegen. Je größer ihre Entfernung ist, um so schneller rasen sie von uns fort. Dies bedeutet natürlich nicht, daß unser Milchstraßensystem der Mittelpunkt des Universums ist, von jedem anderen Standort hätte man einen ähnlichen Eindruck. Halten wir also fest: die Galaxien rasen auseinander, das Weltall dehnt sich aus, es expandiert.

Wenn sich aber zwei bestimmte Milchstraßensysteme z. B. mit einem Zehntel der Lichtgeschwindigkeit voneinander wegbewegen und 1,5 Milliarden Lichtjahre voneinander entfernt sind, dann müssen sie vor rund 15 Milliarden Jahren ganz nahe beieinander gewesen

Bewegen sich die Galaxien?



Unsere Radioteleskope empfangen Botschaften aus der Frühgeschichte des Universums.

sein (wenn man einmal die Abbremsung ihrer Bewegung vernachlässigt). Eine ähnliche Berechnung kann man für alle anderen Galaxien durchführen. Vor rund 10 bis 20 Milliarden Jahren muß dann das ganze uns bekannte Weltall ein superdichtes, heißes Materiekopak gewesen sein, dessen Bestandteile sich durch eine Urexpllosion voneinander zu entfernen begannen. Es muß einen gewaltigen Schöpfungsakt, den sogenannten „Urknall“, gegeben haben.

Die Aussagen der Wissenschaftler werden immer unsicherer, je weiter sie in die Vergangenheit und Zukunft blicken. Während wir z. B.

die Mondentfernung oder die jüngere Erdgeschichte sehr gut kennen, ist es äußerst schwierig, nach nur vier Jahrhunderten moderner Forschungsgeschichte Jahrtausenden zu überblicken.

Gab es den Urknall wirklich?



Die Kugelsternhaufen sind die ältesten Sternfamilien, man schätzt ihr Alter auf rund 10 Milliarden Jahre. Viele ihrer Sterne zeigen noch eine Materiezusammensetzung, wie sie kurz nach dem Urknall geherrscht haben muß.

Die Expansion des Alls würde für sich allein nicht ausreichen, mit Sicherheit auf den Urknall zu schließen. Aber es kommt eine andere, sehr wichtige Beobachtung hinzu. Je weiter wir in die Tiefen des Alls schauen, umso weiter blicken wir auch in die Vergangenheit. Einen 10 Lichtjahre entfernten Stern sehen wir so, wie er vor 10 Jahren aussah, eine ferne Galaxie so, wie sie vor Jahr-milliarden war. Die fernsten Objekte, die man mit großen Teleskopen beobachten kann, die *Quasare*, sind ja nichts anderes als ganz junge, werdende Galaxien im Frühstadium.

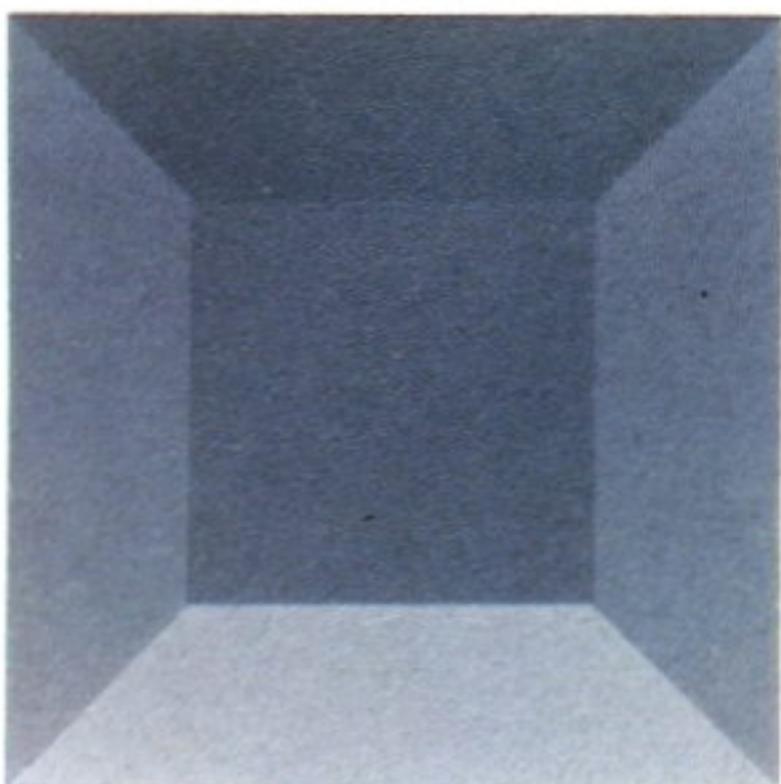
Blickt man nun in beliebiger Richtung noch weiter ins All hinaus, so muß man an eine Grenze kommen, bei der man die Anfänge der Schöpfung sieht, also das heiße Urgas, aus dem dann Galaxien, Sterne, Planeten und Lebewesen entstanden. Wir müßten also von einer fernen, hellglühenden Schale umgeben sein, der Himmel müßte nachts so hell

sein wie am Tage. Nun rast diese Feuerwand jedoch von uns weg, das All dehnt sich ja aus, dadurch wird ihr Licht langwelliger, ja sogar so langwellig, daß es uns nur als unsichtbare Radiostrahlung erreicht. Genau diese Strahlung wurde nun gefunden, die berühmte, von allen Richtungen gleichmäßig auf uns einströmende „3K-Hintergrundstrahlung“, die man mit Radioteleskopen leicht nachweisen kann. Sie ist eine wesentliche Stütze der Urknalltheorie, welche mehr und mehr alle anderen Vorstellungen über die Weltentstehung verdrängt.

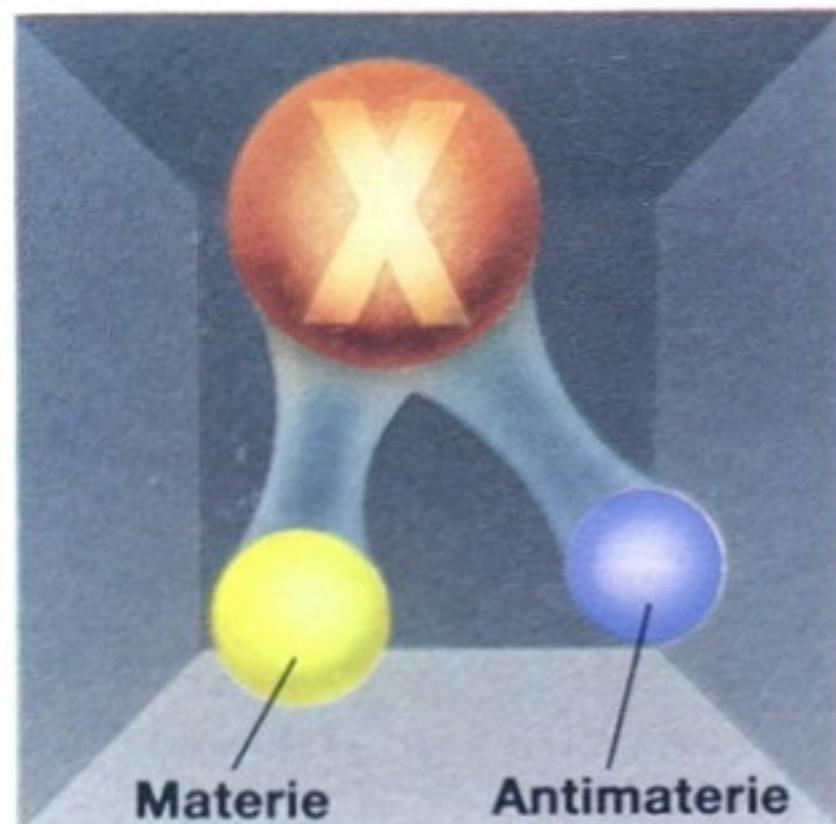
Natürlich kann man das Alter des Weltalls nicht einfach dadurch bestimmen, daß man aus Entfernung und Geschwindigkeit der Galaxien ausrechnet, wann sie alle von einem Ausgangspunkt gestartet sind. Wir wissen

**Wann ist
das Weltall
entstanden?**

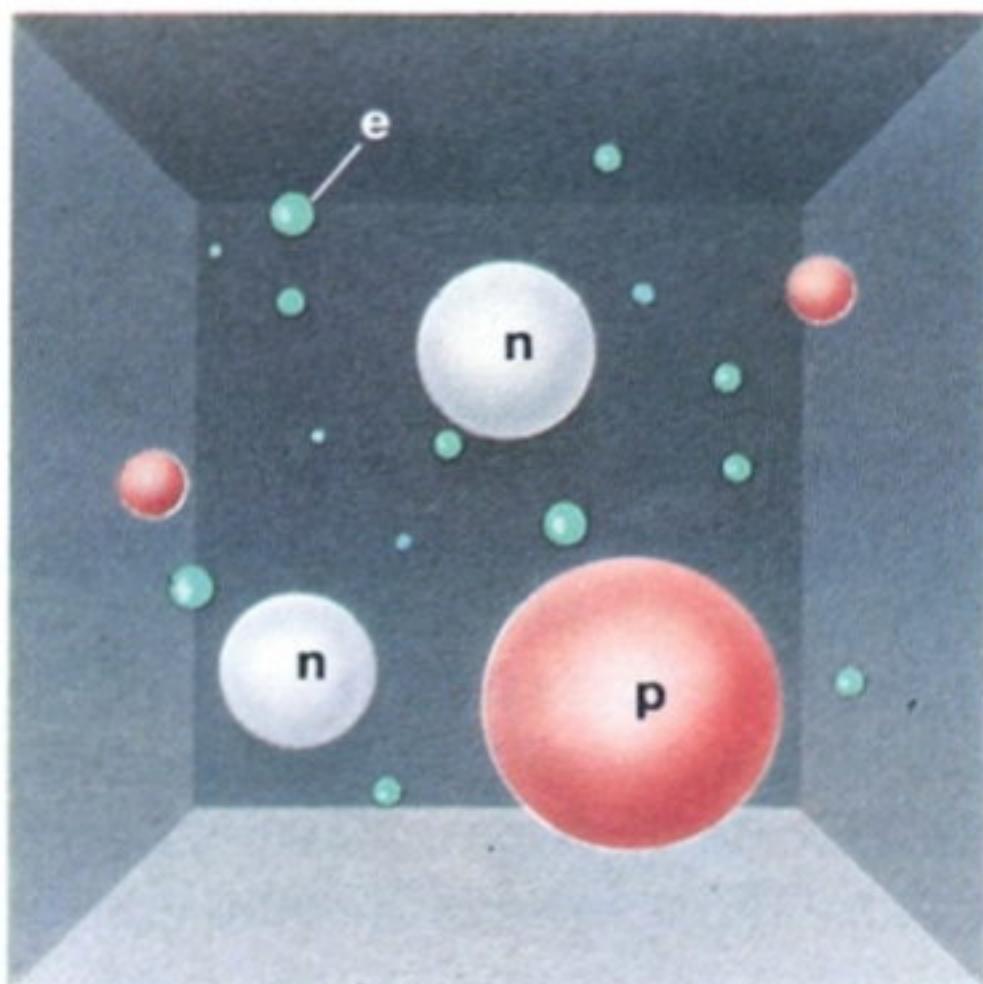
Die 8 Epochen der Schöpfung:



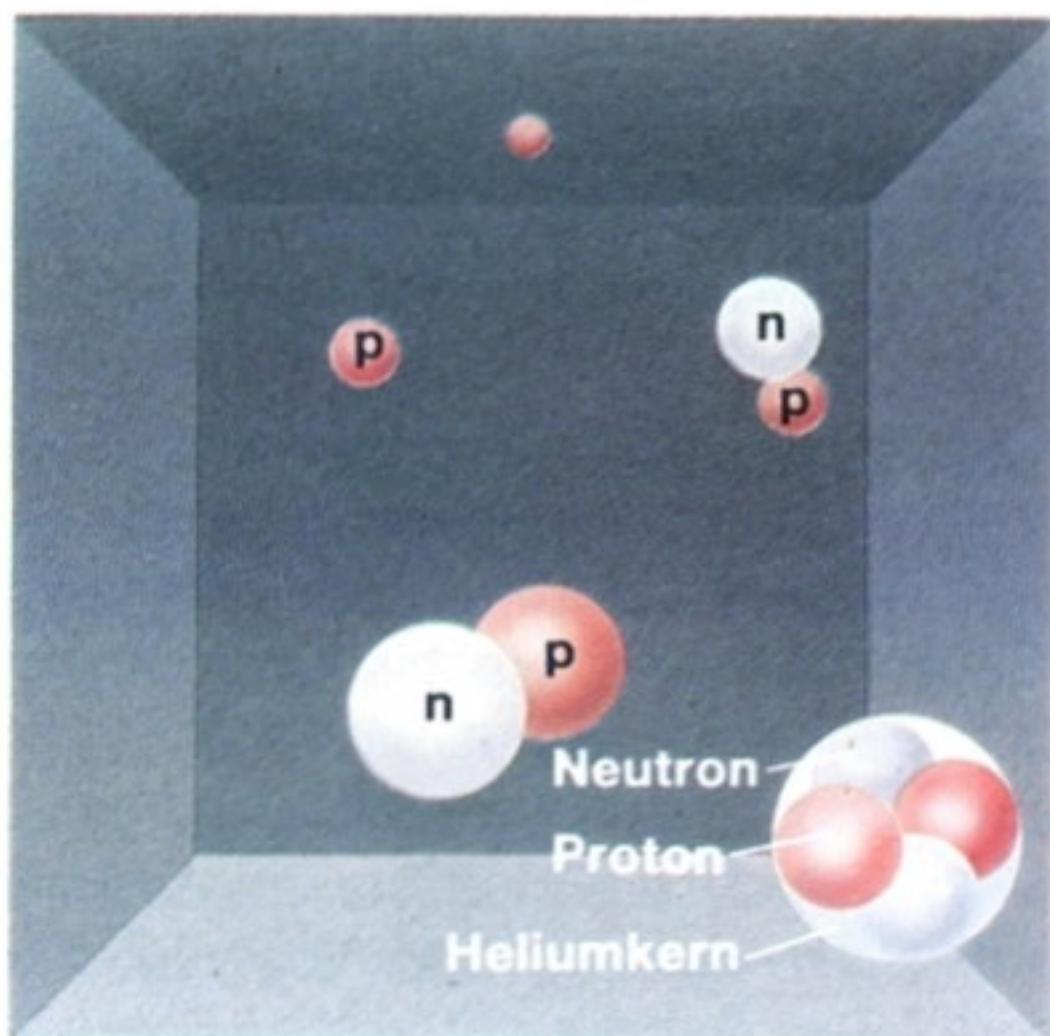
1. $0 - 10^{-43} \text{ s}$



2. $10^{-43} \text{ s} - 10^{-32} \text{ s}$. Aus x-Teilchen entsteht mehr Materie als Antimaterie.



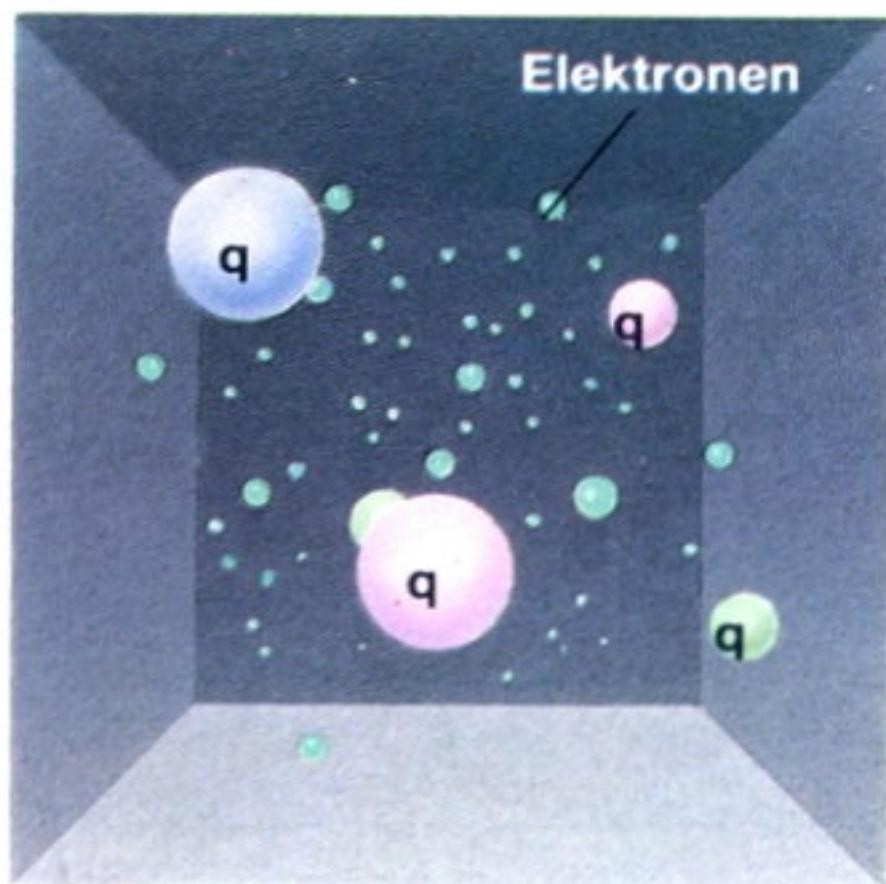
5. $10^{-3} - 100 \text{ s}$. Protonen, Neutronen und Elektronen, die Bausteine der späteren Atome, sind vorhanden.



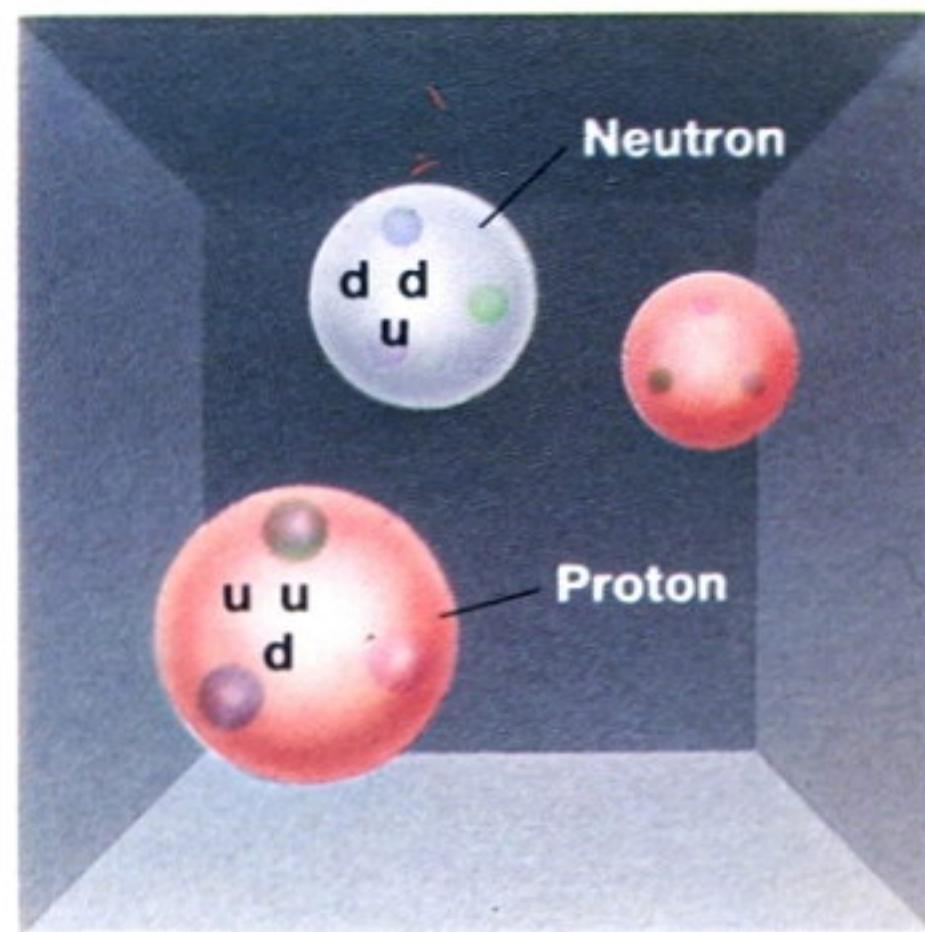
6. $100 \text{ s} - 30 \text{ min}$. Die leichtesten Atomkerne entstehen.

ja nicht genau, wie stark die Fluchtbewegung abgebremst wird. Das hängt von der Materiedichte im Weltall ab. Je größer diese ist, umso stärker ziehen sich die Massen an, umso größer ist die Abbremsung. Leider kennt man die Materiedichte nur ungenau, und deshalb findet man auch sehr verschiedene Angaben für das Alter des Universums. Dazu kommt, daß die Entfernungsbestimmungen ferner Milchstraßensysteme fehlerhaft sind.

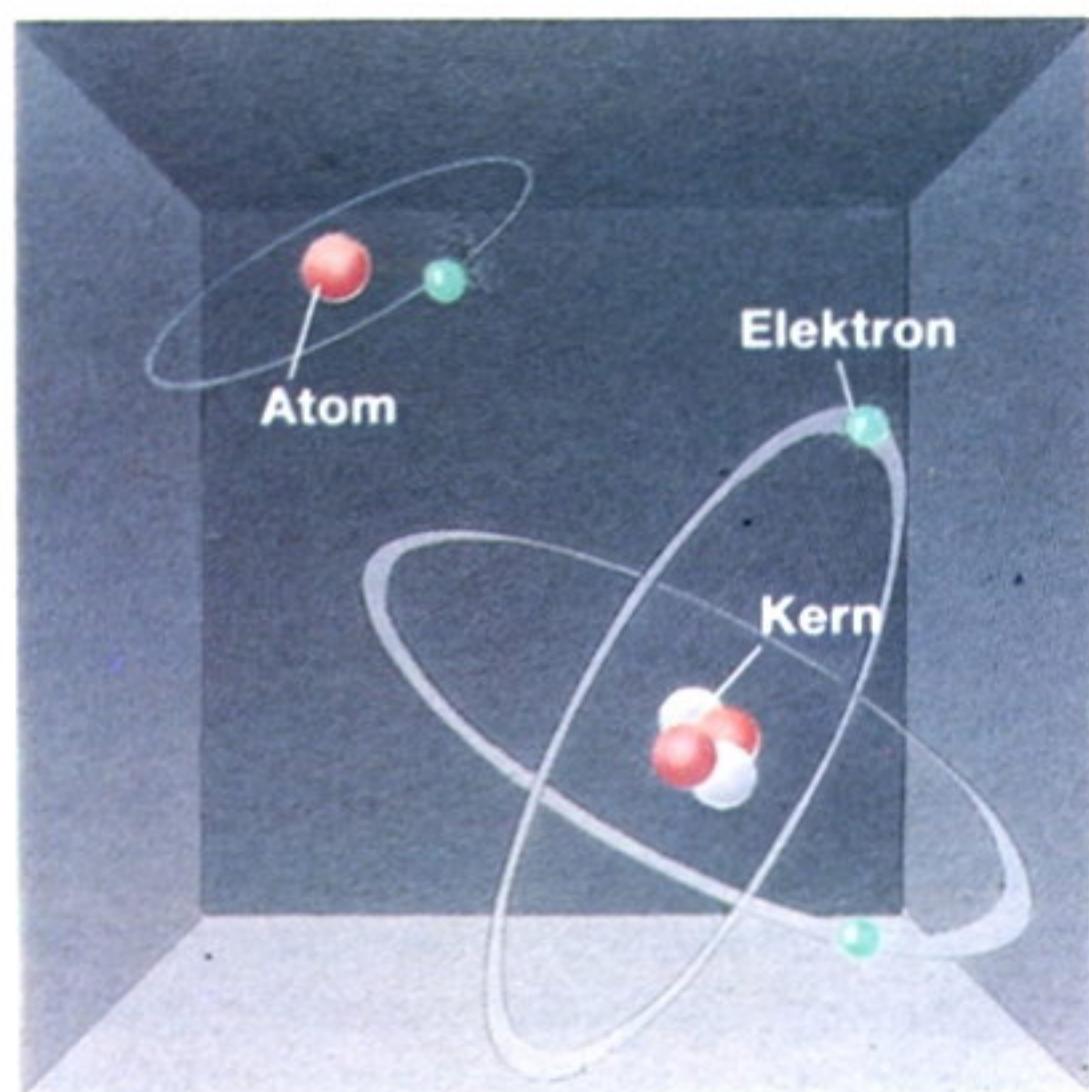
Alle Wissenschaftler sind sich jedoch über die Größenordnung des Weltalters einig und nehmen an, daß das Universum vor 10 bis 20 Milliarden Jahren entstanden ist. Dies paßt gut zum Erdalter von 4,6 Milliarden Jahren, von dem die Geologen heute ausgehen, zum Höchstalter von Mondsteinen und Meteoriten von 4–5 Milliarden Jahren und zum Alter der ältesten Sternfamilien, der Kugelhaufen, die vor rund 10 Milliarden Jahren entstanden sein müssen.



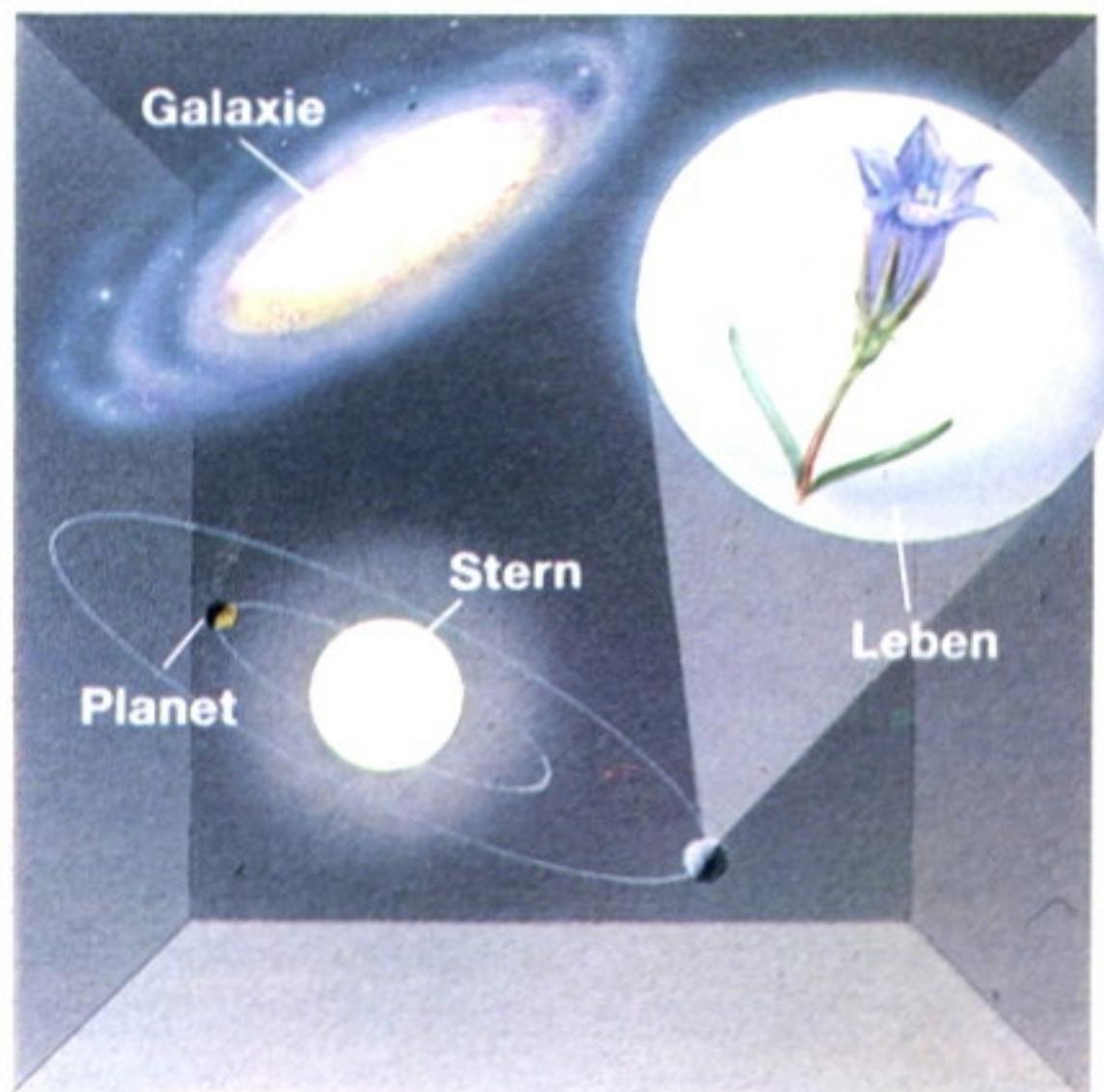
3. $10^{-32} - 10^{-6}$ s. Quarks und Elektronen kühlen ab.



4. $10^{-6} - 10^{-3}$ s. Fast alle Quarks zerfallen. Die übrigen bilden Protonen und Neutronen.



7. 30 min. – 1 Million Jahre. Nach 300 000 Jahren entstehen die ersten Atome.



8. 1 Million Jahre – heute. Galaxien, Sterne, Planeten, schwere Atome und Lebewesen entstehen.

Wenn man Genaues über die ersten Sekunden und Sekundenbruchteile nach dem Urknall erfahren will, so muß man nicht die Astronomen, sondern die Teilchenphysiker befragen, die sich mit Strahlung und Materie unter extremen Bedingungen befassen. Diese benötigen für ihre Arbeit sehr große, aber auch äußerst kleine Zahlenwerte,

Wie sah das Weltall am Anfang aus?

die man am besten in Zehnerpotenzen ausdrückt. Hierzu einige Beispiele:

$$\begin{array}{ll} 10 = 10^1 & \frac{1}{10} = 10^{-1} \\ 100 = 10^2 & \frac{1}{100} = 10^{-2} \\ 1000 = 10^3 & \frac{1}{1000} = 10^{-3} \\ 1\ 000\ 000 = 10^6 & \frac{1}{1000000} = 10^{-6} \end{array}$$

Außerdem muß man, wie im vorigen Kapitel ausführlich beschrieben, wissen, daß aus genügend energiereichen Strahlungsteilchen oder Photonen Materie, aus Materie aber auch Strahlung entstehen kann. Nach diesen unbedingt

nötigen Vorbemerkungen wollen wir nun unsere derzeitigen Vorstellungen von den ersten Sekunden und Jahren des jungen Universums in sehr vereinfachter Form kennenlernen.

Die Geschichte des Alls teilt man gewöhnlich in acht sehr ungleiche Abschnitte ein:

1. Epoche: (0– 10^{-43} Sekunden)

Was sich in diesen allerersten Sekundenbruchteilen im Feuerball, aus dem das Weltall entstehen sollte, ereignet hat, wissen wir nicht. Für die damals herrschenden unbeschreiblich hohen Temperaturen von über 10^{32} Grad besitzen wir keine Formeln und Meßergebnisse.

2. Epoche: (10^{-43} – 10^{-32} Sekunden)

Aus Strahlung entstehen die ersten Materiebausteine, z. B. Quarks und Elektronen mit ihren Antiteilchen. Diese zerfallen teilweise wieder zu Strahlungsquanten. Ganz am Anfang können auch superschwere X-Teilchen entstehen, welche die Eigenschaft haben, bei ihrem Zerfall mehr Materie- als Antimaterienteilchen zu bilden, also z. B. mehr Quarks als Antiquarks. Die X-Teilchen, die nur in den ersten Sekundenbruchteilen vorhanden waren, hinterließen uns also ein wichtiges Erbe: einen Überschuß von Materie gegenüber der Antimaterie.

3. Epoche: (10^{-32} – 10^{-6} Sekunden)

Das Universum besteht aus einem sich schnell abkühlenden Gemisch von Quarks, Leptonen, Photonen und anderen Teilchen, die sich gegenseitig erzeugen und vernichten.

4. Epoche: (10^{-6} – 10^{-3} Sekunden)

Fast alle Quarks und Antiquarks wandeln sich in Energie in Form von Strahlungsteilchen um. Neue Quarks können bei sinkenden Temperaturen nicht mehr entstehen. Da es aber etwas mehr Quarks als Antiquarks gibt, finden einige Quarks keinen Partner und bleiben übrig. Je drei dieser Quarks bilden ein

Proton oder ein Neutron. Die Bausteine der späteren Atomkerne sind entstanden.

5. Epoche: (10^{-3} – 100 Sekunden)

Elektronen und Antielektronen zerstrahlen. Einige Elektronen bleiben übrig, da es mehr Materie als Antimaterie gibt. Sie werden später die Atomhüllen bilden.

6. Epoche: (100 Sekunden – 30 Minuten)

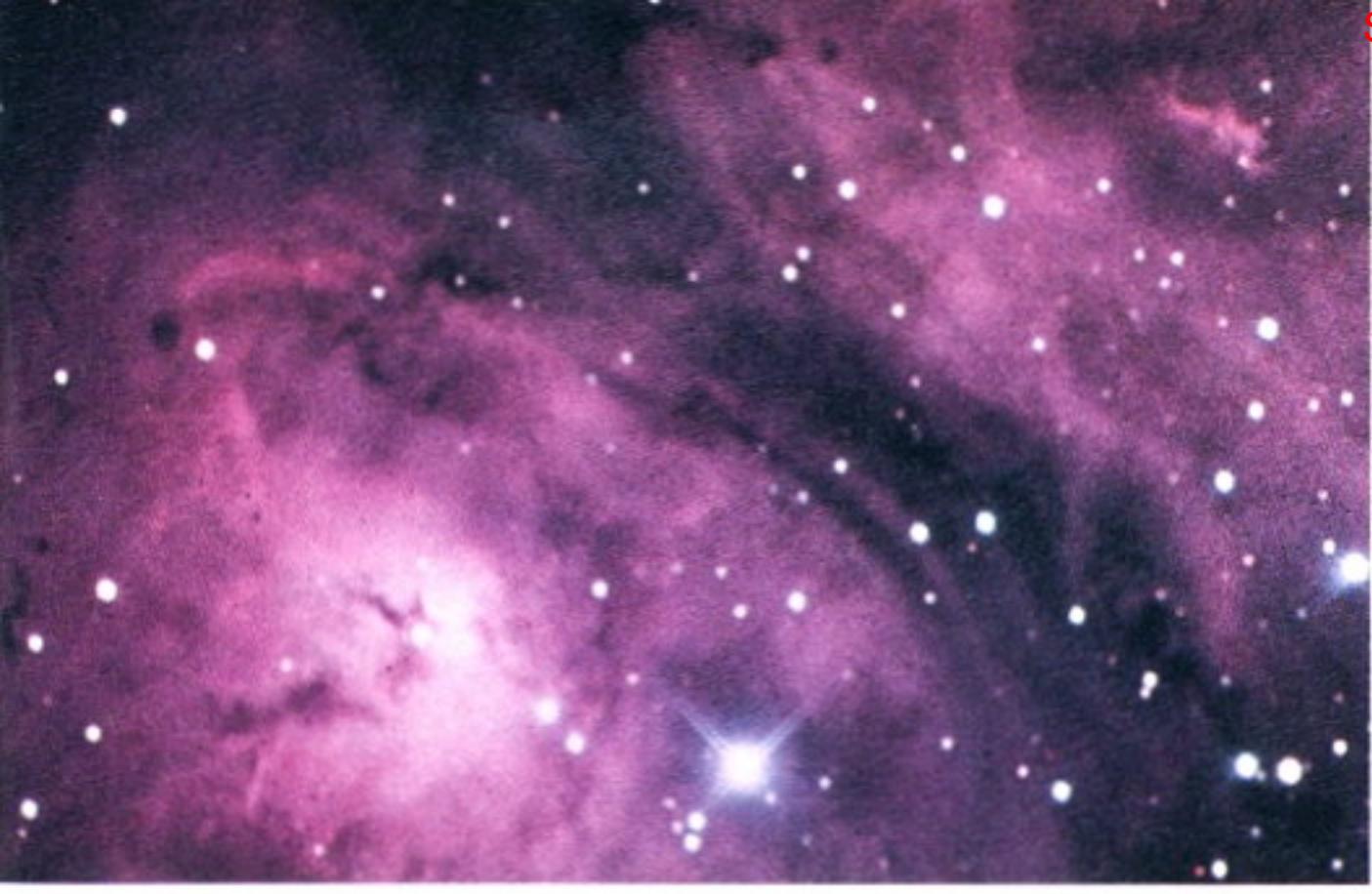
Bei Temperaturen, wie wir sie heute im Inneren der Sterne finden, bilden sich durch Kernfusion die ersten leichten Atomkerne, insbesondere die sehr stabilen Kerne des Heliums, die aus 2 Protonen und 2 Neutronen bestehen. Schwere Atomkerne, wie die des Eisens oder Kohlenstoffs, entstehen zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Am Anfang gab es praktisch nur die beiden leichtesten Grundstoffe Wasserstoff und Helium.

7. Epoche: (30 Minuten–1 Million Jahre)

Nach rund 300 000 Jahren hat sich der Feuerball so abgekühlt, daß sich bei rund 3000° Atomkerne und Elektronen zu Atomen zusammenschließen können, ohne gleich wieder auseinander gerissen zu werden. Jetzt wird das vorher undurchsichtige Teilchengemisch durchsichtig. Erst hier setzen die Möglichkeiten der Astronomen ein. Sie beobachten, wenn sie in große Entfernung und damit in die Urgeschichte blicken, die uns umgebende 3000° heiße Feuerwand, welche allerdings so schnell von uns weg rast, daß sie für uns kein sichtbares Licht, sondern nur Radiowellen abstrahlt.

8. Epoche: (1 Million Jahre – heute)

Aus Wasserstoffwolken entstehen Milchstraßensysteme, Sterne und Planeten. Im Inneren der Sterne bilden sich schwere Atomkerne wie die des Sauerstoffs und Eisens, die später bei Sternexplosionen freigesetzt werden und zum Aufbau neuer Sterne, Planeten und Lebewesen zur Verfügung stehen.



In solchen Gasnebeln entstehen noch heute neue Sonnen und Planetensysteme.

Für die Erde mit ihrer Lebensvielfalt waren besonders drei Dinge wichtig:

Wann wurden die Weichen für unser irdisches Leben gestellt?

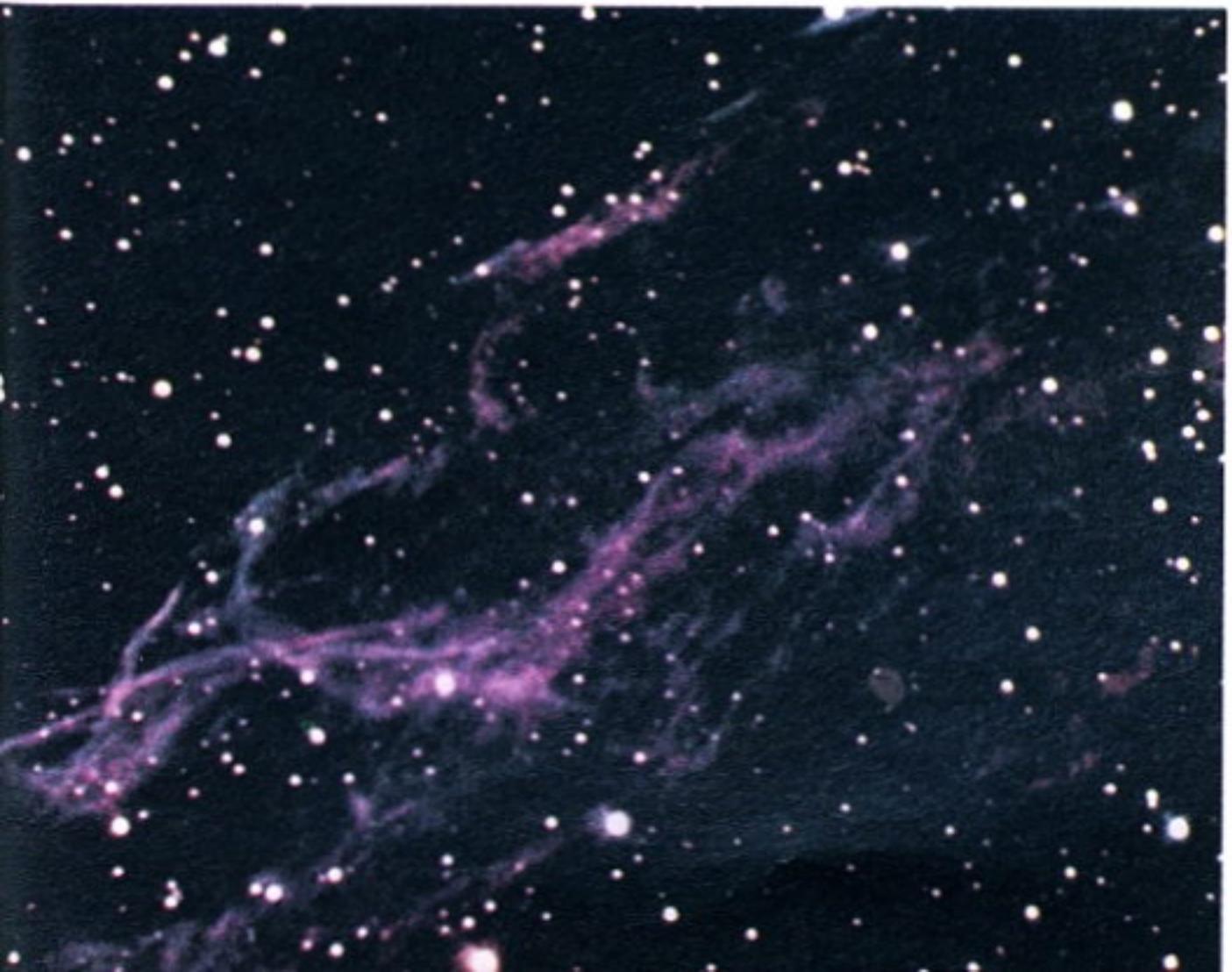
1. Es gab von Anfang an mehr Materie als Antimaterie, dadurch blieb

Materie für uns übrig.

2. In der 6. Epoche entstand der Wasserstoff. Dieses leichteste aller chemischen Elemente ist der Grundbaustein der Galaxien, Sterne und Planeten, aber auch der späteren Lebewesen auf unserer Erde und wahrscheinlich Milliarden anderer Planeten.

3. Im Zentrum früherer Sterne entstanden schwere Atomkerne wie die des Sauerstoffs oder Kohlenstoffs, unentbehrliche Grundbausteine des Lebens.

Hier ist ein massereicher Stern am Ende seines Lebens explodiert. Die in seinem Inneren erzeugten schweren Atomsorten werden teilweise freigesetzt.



Überall im Universum gab es zu Beginn

der 8. Epoche riesige Wasserstoffwolken. Daraus entstanden die Galaxien. In diesen bildeten sich

aus großen Gasnebeln Sterne, ein Vorgang, den wir auch heute noch beobachten. Zieht sich eine Gaswolke, aus der ein Stern entstehen soll, zusammen, so wird sie kugelförmig und immer heißer. Ist in ihrem Inneren die Temperatur so hoch, daß Kernreaktionen möglich werden, so ist eine neue Sonne geboren.

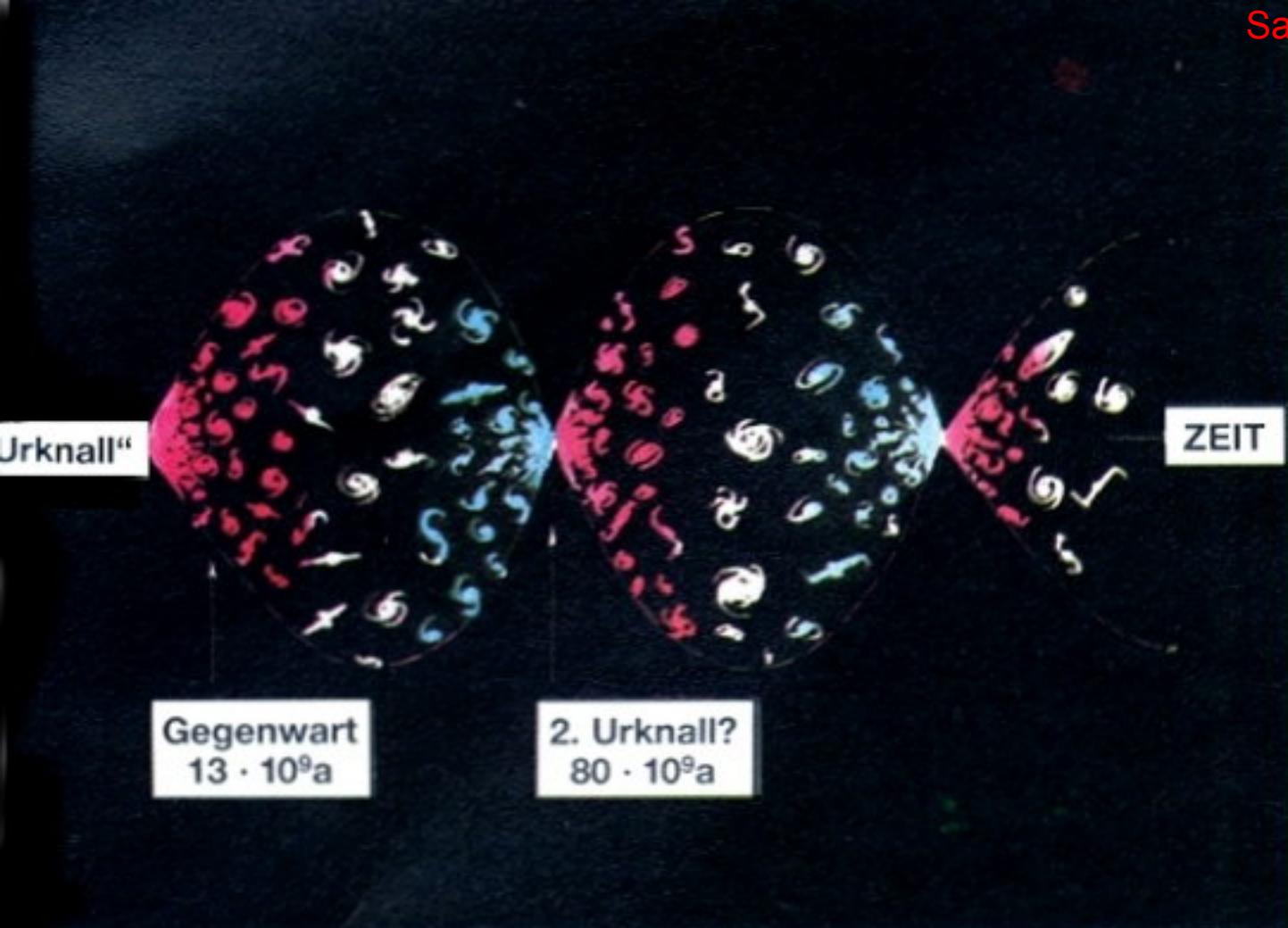
Vor unserer Zeit „lebten“ und „starben“ viele große Sonnen, die in ihrem Inneren schwere Atomkerne wie die des Eisens oder Kohlenstoffs erzeugt hatten. Als diese Sterne am Ende ihres Daseins explodierten, setzten sie diese Stoffe frei: die Grundbausteine für erdähnliche Planeten und Lebewesen waren vorhanden.

In der Urwolke, aus der vor rund 5 Milliarden Jahren unsere Sonne entstand, waren neben Wasserstoff- und Heliumatomen auch schwere Elemente wie Silizium und Sauerstoff enthalten, das Erbe früherer Sternengenerationen. Der Urnebel zog sich zusammen, drehte sich dabei immer schneller und plattete sich zur Scheibe ab. In der Mitte dieser Scheibe entstand die Sonne, in den Außenbereichen die Planeten und Monde.

Die Expansionsbewegung, also das

Wird sich das Weltall immer weiter ausdehnen?

Auseinanderfliegen der Galaxien, verlangsamt sich auf jeden Fall, da sich die Weltinseln ja gegenseitig anziehen und abbremsen. Die Frage ist nur, ob das Ganze einmal zum Stillstand kommt, um dann in sich zusammenzustürzen. Dies hängt sehr von der Mate-



Bei genügend großer Massedichte würde das All irgendwann eine größte Ausdehnung erreichen und dann wieder in sich zusammenstürzen.

riedichte im Kosmos ab. Je größer diese ist, umso stärker sind die Anziehungskräfte zwischen den Galaxien und anderen Bestandteilen des Weltalls, umso schneller werden sie abgebremst. Zur Zeit (1986) sieht es so aus, als wäre die Massendichte viel zu gering, um das sich ausdehnende Universum je zum Stillstand zu bringen.

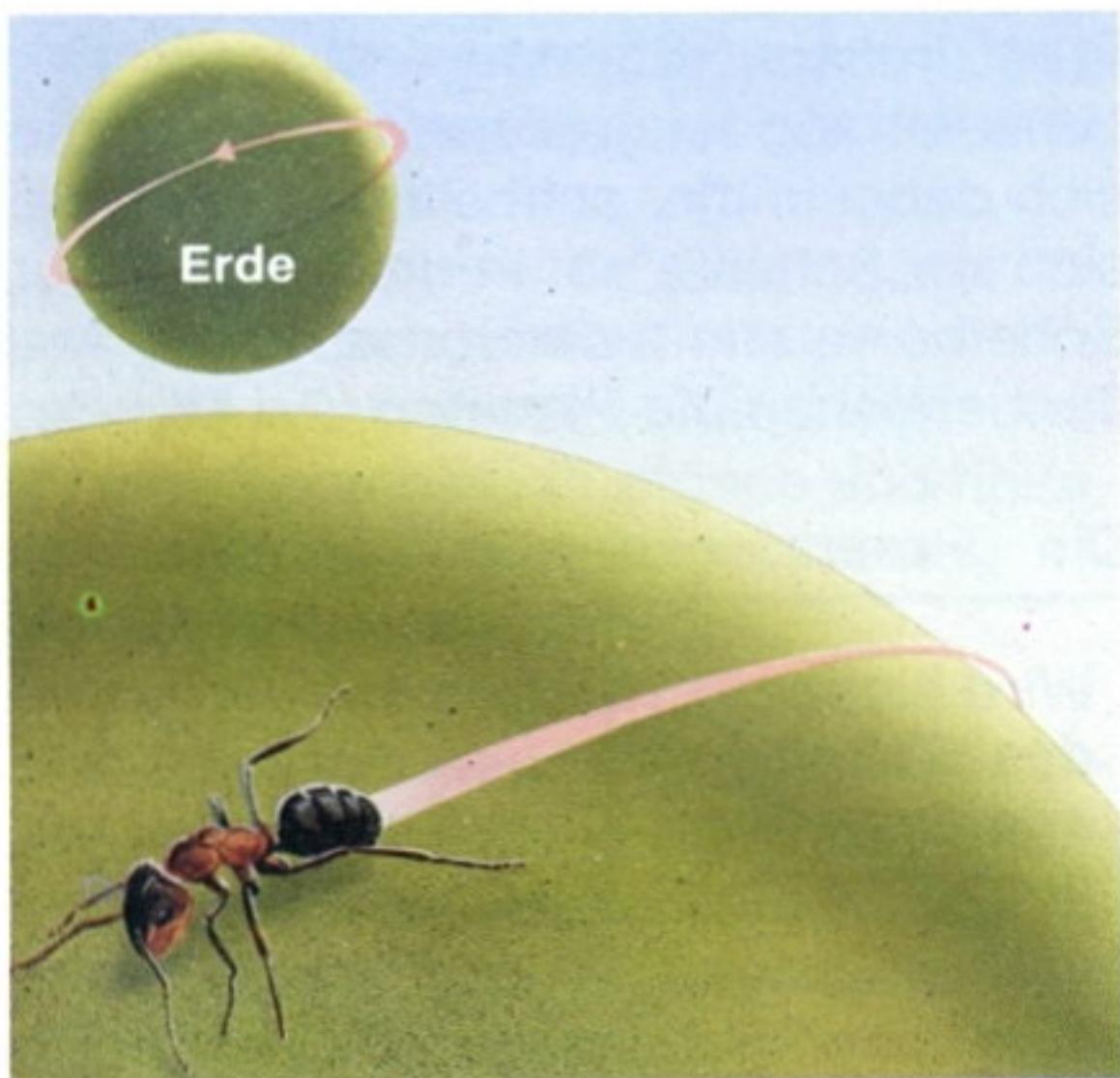
Es ist jedoch möglich, daß es noch unbekannte große Massen wie die geheimnisvollen Schwarzen Löcher oder große dunkle Gaswolken gibt, und daß

die Neutrinos, kleine, für masselos gehaltene Teilchen, doch eine kleine Masse haben. Wenn dies der Fall ist, so würde das All irgendwann, vielleicht in 30 Milliarden Jahren, zum Stillstand kommen, die Galaxien würden aufeinander zuzurasen beginnen, um sich schließlich in einem gewaltigen Feuerball zu vereinigen. Wir hätten dann vielleicht mit einem neuen Urknall, der Geburt eines neuen Universums, zu rechnen. Beim jetzigen Stand der Forschung müssen wir jedoch davon ausgehen, daß sich das Weltall in alle Ewigkeit ausdehnt.

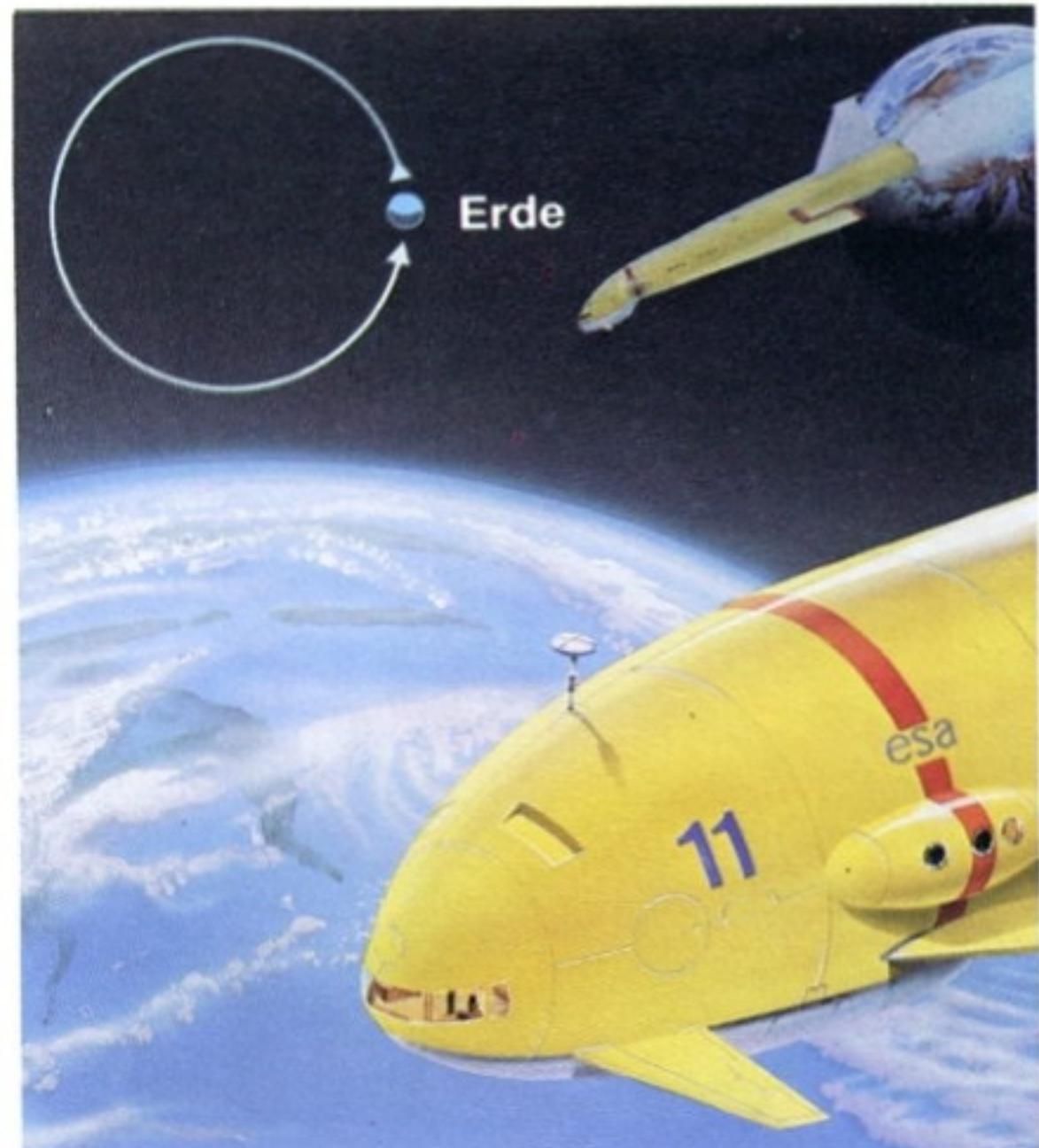
Auch diese Frage kann man leider heute

Ist das Weltall unendlich groß?

noch nicht beantworten. Viele Wissenschaftler nehmen an, daß das Universum zwar keine Grenzen hat, aber doch endlich ist. In diesem Fall würde es auch wieder in sich zusammenstürzen. Auch ein Gummiball hat für eine Ameise, die auf ihm herumkrabbelt, keine Grenzen, und doch hat er eine



Wie die Ameise auf dem Gummiball könnte auch ein Raumschiff, das sich immer geradeaus bewegt, wieder am Ausgangspunkt ankommen.



*Über der glühenden,
ausgedörrten Erde
wird in 5 Milliarden
Jahren eine riesige,
rote Sonne stehen.*



endliche Oberfläche. Würde die Ameise immer geradeauskrabbeln, so käme sie irgendwann wieder am Ausgangspunkt an. Genauso könnte es sein, daß ein Raumschiff, das immer geradeaus fliegt, irgendwann wieder am Startpunkt ankommt, ohne je an eine Grenze zu stoßen. Das All wäre dann zwar unbegrenzt und doch nicht unendlich groß. Es hätte einen bestimmten Rauminhalt, ähnlich wie der Gummiball eine endliche Oberfläche hat. Die 1986 vorliegenden Meßergebnisse lassen allerdings auf ein unendlich großes Weltall schließen. Das letzte Wort ist hier aber noch nicht gesprochen.

Unser blauer Planet wird noch rund 5 Milliarden Jahre lang um die Sonne kreisen. Diese wird sich dann am Ende ihrer Tage gewaltig aufblähen, zu einem sogenannten roten Riesenstern werden und die beiden inneren Planeten Merkur und Venus verschlucken. Unsere Erde wird vorübergehend auf über 1000° C erhitzt, alles Leben wird dann längst erloschen, das Wasser der Ozeane verdampft sein. Ob unser Planet beim Todeskampf der Sonne ganz zerstört wird, wissen wir nicht. Si-

Was wird einmal aus unserer Erde?



Die Protonen sollen nach $6 \cdot 10^{30}$ Jahren zerfallen sein. Dies ist eine unvorstellbar lange Zeit. Würde ein Vogel alle 1 000 Jahre kommen und 1 Gramm eines Berges abwetzen, so hätte er nach $6 \cdot 10^{30}$ Jahren die ganze Erde abgetragen.

cher ist nur, daß kein Lebewesen das Zentralgestirn überleben wird. Unsere Gnadenfrist ist allerdings sehr, sehr lang! Selbst wenn sich die Menschheit noch 5 Millionen Jahre auf diesem Planeten hält, wird die Sonne uns um das Tausendfache dieser Zeit überleben!

Wir müssen heute annehmen, daß sich das Weltall in alle Ewigkeit weiter ausdehnt. Irgendwann, in einer sehr fernen Zeit, werden dann alle Sterne erloschen sein, die Planetensysteme werden zerfallen und die Galaxien zu gewaltigen Schwarzen Löchern zusammenschrumpfen.

Neuere Theorien behaupten, daß nach etwa $6 \cdot 10^{30}$ Jahren die Protonen, die wir als stabile Kernbausteine kennengelernt haben, zerfallen sein werden. Damit sterben auch die Neutronen, die allein ja nicht lebensfähig sind, und alle Atomkerne, Sterne und Planetenreste

Zerfällt einmal alle Materie?

verschwinden. $6 \cdot 10^{30}$ Jahre sind allerdings eine unvorstellbar lange Zeit. Käme alle 1000 Jahre wie im Märchen ein Vögelchen, um seinen Schnabel an einem Berg zu wetzen und würde dabei immer 1 g abtragen, so hätte es nach $6 \cdot 10^{30}$ Jahren die ganze Erde abgewetzt.

Nach viel längeren Zeiträumen sollen auch die Schwarzen Löcher zerfallen, was an sich unvorstellbar und wegen der Quantentheorie doch möglich ist. In einer sehr fernen Zukunft würde es dann praktisch keine Materie mehr geben. Unser buntes Universum mit seinen Galaxien, Sternen, Planeten und Lebewesen würde eine tote Strahlungswüste sein. Gemessen an einem Menschenleben sind solche Zeiträume unvorstellbar. Umso mehr müssen wir die Physiker des 20. Jahrhunderts bewundern, denen es in wenigen Jahrzehnten gelungen ist, mit ihren Formeln und Messungen Anfang und Ende des Universums, die Welt der Quarks und Gluonen, aber auch das Reich der höchsten Geschwindigkeiten zu beschreiben.