Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 9

Artikel: Erklärung für die Herkunft der schweren Elemente im Universum
Autor: Frese, Walter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75093

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Erklärung für die Herkunft der schweren Elemente im Universum

Der Beta-Zerfall, ein «Standard-Prozess» der Kernphysik, verläuft nach anderen Normen als bisher angenommen: Zu diesem aufsehenerregenden Ergebnis, abgeleitet aus experimentellen Befunden und einem verfeinerten theoretischen Ansatz, gelangte Prof. Hans-Volker Klapdor vom Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik. Aus Klapdors Arbeiten, die mit dem Physik-Preis 1982 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet wurden, ergeben sich ebenso vielfältige wie weitreichende Konsequenzen. Unter anderem lässt sich auf ihrer Grundlage erstmals die Bildung der schweren Elemente im Universum schlüssig erklären; damit verbunden, kommt man auf ein neues «Aktiniden-Alter» der Milchstrasse, das durch neueste astronomische Datierungen gestützt wird. Als weiteres kosmologisches Problem wird auch die Frage der Neutrino-Masse berührt. Und nicht zuletzt bieten sich «irdische» Nutzanwendungen: Die Restwärme von Kernreaktoren, für die ersten Minuten nach einer Notabschaltung bisher nur auf 30 Prozent bestimmbar, lässt sich anhand der neuen Zerfallsdaten sehr viel genauer berechnen, was eine rationellere Auslegung von Notkühlsystemen erlaubt.

Die Atomkerne aller Materie bestehen aus zwei Sorten von Bausteinen oder «Nukleonen», nämlich aus *elektrisch positiv geladenen Protonen* und *ungeladenen Neutronen.* Dabei bestimmt die Zahl der Protonen die chemische Natur und damit die Element-Eigenschaften des Kerns; beispielsweise hat ein Eisen-Atomkern stets 26, ein Uran-Atomkern stets 92 Protonen. Die Zahl der Neutronen wächst zwar systematisch mit der Protonenzahl, ist jedoch nicht streng verbindlich vorgeschrieben. Sie kann bei Kernen ein und desselben Elements verschieden sein. Man spricht dann von *Isotopen,* jeweils gekennzeichnet durch die Gesamtzahl ihrer Nukleonen: So besteht das Uran-Isotop U-235 aus 92 Protonen und 143 Neutronen, das Uran-Isotop U-238 aus ebenfalls 92 Protonen, aber 146 Neutronen.

Ein Neutron wird zum Proton

Allerdings «verkraftet» ein Atomkern nicht beliebig viele Neutronen. Übersteigt deren Zahl eine bestimmte Grenze, wird der Kern *instabil,* und es kommt zum sogenannten *Beta-Zerfall:* Dabei wandelt sich ein Neutron in ein Proton um, und gleichzeitig strahlt der Kern ein negativ geladenes Elektron sowie ein ungeladenes Antineutrino ab – beides Teilchen, die nicht ursprünglich im Kern vorliegen, sondern erst während des Zerfalls entstehen. Die Gesamtzahl der Nukleonen bleibt beim Beta-Zerfall also unverändert; doch gehört der Endkern, da er anstelle eines Neutrons ein Proton mehr als der Ausgangskern aufweist, einem neuen Element an.

«Neben den rund 300 Atomkern-Sorten oder ‹Nukliden›, die stabil sind und als natürliche Elemente und Isotope auftreten», erläutert Prof. *Hans-Volker Klapdor,* «gibt es einige Tausend beta-instabile Nuklide. Sie spielen nicht nur in der Kernphysik, sondern ebenso in der Astrophysik sowie in der Reaktortechnik eine vielfältige Rolle – wobei es im Einzelfall, sei es im Rahmen experimenteller oder theoretischer Fragestellungen, entscheidend darauf ankommt, das jeweils individuelle Zerfallsverhalten der einzelnen Nuklide so genau wie möglich zu kennen.» Individuell ist dieses Verhalten insofern, als ein einzelner instabiler Kern nur mit einer gewissen *Wahrscheinlichkeit* zerfällt, die von struktur-spezifischen Energiezuständen des Ausgangs- und Endkerns abhängt. Als *sprunghafter* Übergang zwischen zwei solchen Zuständen erfolgt der Beta-Zerfall bei jedem Nuklid mit einer anderen, jeweils statistischen Zeitkonstanten, der sogenannten *Halbwertszeit:* Sie gibt an, nach welcher Zeit eine beliebige Menge eines instabilen Nuklids zur Hälfte zerfallen ist. Für beta-instabile Nuklide liegen diese Halbwertszeiten zwischen Millionen von Jahren und Tausendstelbruchteilen einer Sekunde.

Nun erreichen jedoch Kerne mit hohem Neutronen-Überschuss durch einmaligen Zerfall noch keine Stabilität. Denn der dabei gebildete *Tochterkern* hat nach wie vor überzählige Neutronen und zerfällt deshalb weiter – was auf verschiedene Weise geschehen kann:

- Durch neuerlichen Beta-Zerfall, also erneute Umwandlung eines Neutrons in ein Proton;
- Durch Ausstoss eines Neutrons aus dem Kern, das heisst durch «beta-verzögerte Neutronen-Emission», oder
- Durch Spaltung des Tochterkerns in zwei kleinere Kerne, das heisst durch «beta-verzögerte Spaltung».

Energie bestimmt Zerfallsweg

Welchen dieser Wege der Tochterkern nimmt, hängt vom Energie- oder Anregungszustand ab, in den er durch den vorangegangenen Beta-Zerfall versetzt wurde. Unterhalb einer bestimmten Anregung kommt es zu weiterem Beta-Zerfall, oberhalb dieser Schwelle – bezeichnet als *«Neutronen-Separations-Energie»* – zu *beta-verzögerter Neutronen-Emission* und konkurrierend dazu bei schwereren Kernen oberhalb der sogenannten «Spaltbarriere» zu *beta-verzögerter Spaltung.*

Auch hier regieren *statistische* Gesetze. Denn ein neutronenreicher Kern geht beim Beta-Zerfall jeweils mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu den verschiedenen möglichen Anregungszuständen über. Entsprechend diesen Übergangswahrscheinlichkeiten ergeben sich von Nuklid zu Nuklid andere, spezifische Raten für beta-verzögerte Neutronen-Emission oder Spaltung – und damit zwei weitere Grössen, die neben der Halbwertszeit das Zerfallsverhalten neutronenreicher Kerne charakterisieren: Sie bestimmen einerseits Art und Häufigkeit der stabilen Endkerne, die schliesslich erreicht werden, andererseits das Spektrum der freigesetzten Elektronen, Antineutrinos und Neutronen.

Nun lassen sich *neutronenreiche Kerne,* wie sie in manchen *Sternen* gebildet werden, in irdischen Laboratorien nicht erzeugen und daher nicht experimentell untersuchen. Will man ihre Zerfallseigenschaften ermitteln, ist man auf Berechnungen angewiesen, und dafür wiederum ist die genaue Kenntnis der sogenannten *Betastärke-Funktion* erforderlich: Diese Funktion gibt für jedes beta-instabile Nuklid die Übergangswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Anregungsenergie des Tochterkerns an und liefert sowohl die Halbwertszeit als auch die Raten für nachfolgende Neutronen-Emission oder Spaltung.

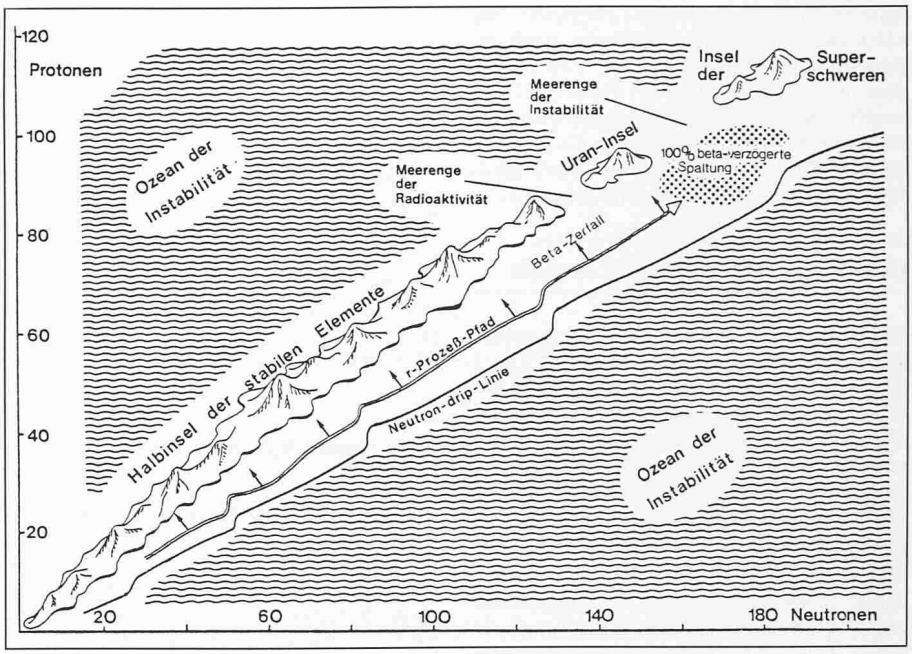
Wie *Klapdor* nun fand, war man bei solchen Rechnungen bisher von einer falschen Voraussetzung ausgegangen. Danach sollte die Betastärke-Funktion im gesamten Energiebereich gleichmässig, das heisst ohne sprunghafte Maxima verlaufen. Anders ausgedrückt: Es sollten beim Beta-Zerfall nicht Tochterkerne mit bestimmter Anregungsenergie bevorzugt gebildet werden. In Wirklichkeit aber, das erbrachten zunächst experimentelle Befunde und liess sich dann auch theoretisch untermauern, ist die *Betastärke-Funktion scharf strukturiert* und zeigt ausgeprägte *Gipfel* – was bedeutet, dass die Übergangswahrscheinlichkeit zu einzelnen Anregungszuständen stark erhöht ist, und dass demzufolge beim Beta-Zerfall gehäuft Tochterkerne mit ganz bestimmten Anregungsenergien entstehen.

Neue Daten für 6000 Kerne

Das hiess weiter, dass man alle früheren Zerfallsdaten für neutronenreiche Kerne korrigieren musste. «Auf der Grundlage dieser Erkenntnis», so *Klapdor,* «haben *Josef Metzinger,* Dr. *Takeshi Oda* und ich die Zerfallseigenschaften für rund 6000 beta-instabile Nuklide neu berechnet. Dabei ergab sich zum einen eine systematische Verkürzung sämtlicher Halbwertszeiten, und zwar im Mittel um einen Faktor zwischen 5 und 10, in Einzelfällen sogar um Faktoren über 1000. Zum andern kamen wir zu neuen, vielfach deutlich erhöhten Raten für beta-verzögerte Neutronen-Emission und Spaltung.»

An diese *neuen* Zerfallsdaten, das macht die besondere Bedeutung der Erkenntnisse von Prof. Klapdor und seinen Mitarbeitern aus, knüpfen sich zahlreiche und schwerwiegende Konsequenzen, die weit über den engeren Bereich der Kernphysik hinausgreifen. Sie betreffen grundlegende Fragen der Astrophysik ebenso wie praktische Probleme der Kerntechnik – und führten im einen wie im andern Fall zur Lösung bisher offener Fragen.

Eine dieser Fragen gilt der *Herkunft der schweren Elemente* im Universum, das heisst der *Elemente «jenseits» von Eisen oder Nikkel* bis hin zu *Uran* als dem schwersten natürlich vorkommenden Element. Den Ur- und Ausgangsstoff des frühen Kosmos stellten fast ausschliesslich die beiden leichtesten Elemente *Wasserstoff* und *Helium*. Aus ihnen wurden dann im Zuge der thermonuklearen Reaktionen, aus denen die Sterne ihre Energie schöpfen, schwerere Elemente bis hin zu Eisen oder Nickel aufgebaut: Bei ihnen endet der nukleare «Stoffwechsel» und damit der ruhige Abschnitt im Leben eines Sterns. Noch schwerere Elemente konnten nur dadurch entstehen, dass ein Atomkern freie Neutronen «einfing», bis er instabil wurde und durch Beta-Zerfall jeweils um eine Sprosse auf der Element-Leiter höherrückte. Dieser schrittweise Aufbau führte aber nur bis zu *Wismut*, neun Plätze vor Uran. Denn die Neutronendichte ist in gewöhnlichen Sternen so niedrig, dass stets schon der erste instabile Kern zerfällt, noch ehe er weitere Neutronen einfangen kann; und schon das nächste Element nach Wismut, *Polonium*, ist wie alle acht folgenden *natürlich-radioaktiv:* Es zerfällt durch *Alpha-Strahlung*, das heisst durch Abgabe von je zwei Protonen und Neutronen, zurück zu *Blei*.



Die Elementsynthese durch raschen Neutronen-Einfang – r-Prozess – in schematischer Darstellung: Die Nuklide, die in Supernova-Explosionen kurzzeitig, für 0,4 Sekunden, aufgebaut werden, liegen auf dem sogenannten r-Prozess-Pfad weitab von der Halbinsel der stabilen Elemente und nahe der Neutron-drip-Linie, an der die Neutronen-Abtrennungsenergie gleich Null wird, das heisst die Kerne mit Neutronen voll «gesättigt» sind. Nach Absinken der Neutronendichte zerfallen die neutronenreichen Nuklide durch Beta-Zerfall zurück zur Halbinsel der stabilen Elemente; auch die Uran-Insel wird dabei noch erreicht. Bei noch schwereren Kernen aber bricht der r-Prozess-Pfad durch beta-verzögerte Spaltung ab, was die Bildung superschwerer Elemente verhindert

Rascher Neutronen-Einfang

Das bedeutet: Um über diese «radioaktive Hürde» hinweg zu Uran zu gelangen, hätte ein Wismut-Kern sehr schnell – noch ehe er durch Beta-Zerfall in Polonium übergeht – mindestens weitere 23 Neutronen einfangen müssen, um dann über neun Beta-Zerfälle in einen Uran-Kern übergehen zu können. Ein derart «rascher Neutronen-Einfang», auch *r-Prozess* genannt, setzt jedoch extrem hohe Neutronendichten voraus, wie sie kein normaler Stern bietet. Schon vor 25 Jahren war allerdings die Vermutung ausgesprochen worden, dass bei *Sternexplosionen*, beim Ausbruch einer *«Supernova»*, solche Neutronenkonzentrationen erzielt würden – und seitdem versuchte man, derartige Szenarios in Modellrechnungen durchzuspielen. Dies blieb bis vor kurzem unbefriedigend, unter anderem auch deshalb, weil man noch von den herkömmlichen, sprich falschen, Beta-Halbwertszeiten für neutronenreiche Kerne ausging. Die damit errechnete Häufigkeit der schweren Elemente wich erheblich von der tatsächlichen, heute beobachtbaren Verteilung ab.

Erst jetzt konnten Prof. *Klapdor* und seine Mitarbeiter gemeinsam mit Dr. *Wolfgang Hillebrandt* vom *Max-Planck-Institut für Astrophysik* in *Garching bei München* diese Unstimmigkeiten ausräumen. Sie liessen dazu, bildlich gesprochen, einen gealterten, eisen- und nickelhaltigen Stern im Computer «explodieren»: Ein *Simulationsprogramm*, das detailliert die Explosion eines solchen Sterns nachvollzog, lieferte auf der Grundlage der neuen Beta-Zerfallsdaten sehr genau die relativen und absoluten Häufigkeiten der schweren Elemente, wie man sie heute vorfindet. «Dem Modell zufolge», schildert *Klapdor*, «treten die für den r-Prozess, also für die Produktion neutronenreicher Kerne, erforderlichen hohen Neutronendichten in einer äusseren Schicht des explodierenden Sterns auf, nämlich in der sogenannten heliumbrennenden Schale – und zwar für die kurze Spanne von nur 0,4 Sekunden: Innerhalb dieser Frist werden sämtliche Atomkerne in dieser Schicht regelrecht mit Neutronen vollgepumpt. Und dabei entstehen auch schwere neutronenreiche Kerne, die anschliessend über Beta-Zerfälle zu Uran, Thorium oder den anderen, jenseits von Wismut liegenden Nukliden übergehen.»

Für diese Arbeiten, die erstmals schlüssig den Ursprung der schweren Elemente im Universum erklären, wurden *Klapdor* und *Hillebrandt* mit dem *Physik-Preis 1982* der *Deutschen Physikalischen Gesellschaft* ausgezeichnet.

Alter der Milchstrasse

Eng verknüpft mit der Entstehung der schweren Elemente im r-Prozess ist die Frage nach dem Alter des Kosmos beziehungsweise der Milchstrasse. Denn einige dieser schweren Nuklide, die durch natürliche Radioaktivität zerfallen, dienen als *«kosmische Chronometer»*. Ein derartiges Chronometer-Paar bilden beispielsweise das *Uran-Isotop U-238* und das *Thorium-Isotop Th-232*. Diese beiden Nuklide werden im r-Prozess gleichzeitig und in einem bestimmten Mengenverhältnis erzeugt. Von da an aber zerfallen sie mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, und zwar U-238 rund dreimal rascher als Th-232, so dass sich im Laufe der Zeit ihr Häufigkeitsverhältnis ändert. Da man jedoch die Radioaktivitäts-Halbwertszeiten sehr genau kennt, kann man aus dem gegenwärtigen Häufigkeitsverhältnis auf die Startzeit dieses «Zerfalls-Wettlaufs» zurückrechnen – vorausgesetzt allerdings, man kennt das *ursprüngliche Verhältnis* von *Th-232 zu U-238*, das heisst die Produktionsraten beider Nuklide im r-Prozess. «Insofern», erläutert *Klapdor*, «stand die Kosmochronologie mittels der Aktiniden-Chronometer bislang aber auf recht unsicherem Boden. Denn die Produktionsraten dieser Chronometer werden massgeblich durch die Zerfallseigenschaften der neutronenreichen Kerne bestimmt, die beim r-Prozess kurzfristig entstehen; vor allem die Raten für beta-verzögerte Spaltung spielen hier eine entscheidende Rolle.»

Dass man diese Spaltraten nicht sicher kannte, führte bei früheren Altersberechnungen zu erheblichen Diskrepanzen. So war man, ausgehend von einem Wert von 1,9 für das Ursprungsverhältnis von Th-232 zu U-238, für das Material des Sonnensystems und der Milchstrasse auf ein Alter von 11 bis 12 Mrd. Jahren gekommen. Dies lag deutlich unter der Lebenszeit, die man mit anderen Methoden für die «Senioren» unter den Milchstrassensternen oder etwa aus Beobachtungen fernster Objekte für das Universum erhält: Demnach beträgt das Alter der Welt mindestens 18 Mrd. Jahre.

Auch hier führten nun die neuen Beta-Zerfallsdaten zur Klärung. Prof. *Klapdor* und seine Mitarbeiter *F.K. Thielemann* und *J. Metzinger* errechneten für das Chronometer-Paar Th-232/U-238 ein Ausgangsverhältnis von 1,39 anstelle des alten Werts von 1,9, und sie erhielten auch für andere Aktiniden-Chronometer-Paare – U-235/U-238 sowie Pu(Plutonium)-244/U-238 – systematisch niedrigere Werte. Damit aber ergab sich für die *Materie des Sonnensystems und der Milchstrasse ein Alter von 21 Mrd. Jahren*. Diese Datierung ist konsistent mit neuesten

Rückrechnungen auf den Zeitpunkt des «Urknalls», die sich auf Beobachtungen der Expansion des Alls stützen. Sie wird ausserdem, wie *Klapdor* anmerkt, durch unlängst veröffentlichte Beobachtungsergebnisse der *Europäischen Südsternwarte in Chile* bestätigt, die für das *Alter des Kugelsternhaufens NGC 6397 rund 20 Mrd. Jahre* erbrachten.

Die «Superschweren» gibt es nicht

Nur kurz sei ein weiterer Befund gestreift, der mit der Element-Synthese im r-Prozess zu tun hat. Berechnungen zeigen, dass es neben den Kernen der 92 natürlichen Elemente und ihrer Isotope noch weitere Atomkerne geben sollte, die zwar nicht «ganz stabil», aber immerhin sehr langlebig sind. Nach der Theorie sollten sie jenseits der auf Uran folgenden, nur kurzlebigen Nuklide eine Art «Insel» der superschweren Elemente bilden.

Diese *Superschweren,* mit *Protonenzahlen um 114,* konnten bis jetzt trotz intensiver Suche auf der Erde nicht nachgewiesen werden. Dennoch blieb unentschieden, ob sie nicht grundsätzlich in der Natur als Produkte eines r-Prozesses entstanden sein könnten. Wie nun feststeht, sind solche Spekulationen müssig. Denn Klapdors Untersuchungen zeigen, dass der r-Prozess bei Kernen mit etwa 90 Protonen abbricht: Nuklide mit höherer Protonenzahl und hohem Neutronenüberschuss zerfallen sämtlich über beta-verzögerte Spaltung, also zu leichteren Kernen. Ein neutronenreicher Kern mit 90 Protonen würde aber nach dem Beta-Zerfall zurück zur Stabilitätslinie einen Kern mit 100 Protonen liefern - der somit gewissermassen «weltraumweit» das schwerste Element darstellen sollte.

Die Restwärme von Kernreaktoren

Aus den neuen Zerfallsdaten ergeben sich jedoch auch «irdische», praktische Nutzanwendungen. Sie liegen auf dem Gebiet der *Reaktortechnik,* wo man es ebenfalls mit neutronenreichen Kernen zu tun hat: Im Core, das heisst im aktiven Zentrum eines Reaktors, entstehen bei der Spaltung der «Brennstoffe» Uran und Plutonium sehr neutronenreiche Kerne - insgesamt ein Gemisch von rund 800 beta-instabilen Nukliden. Wird ein Reaktor abgeschaltet, also die eigentlich energieliefernde Spaltreaktion unterbrochen, so zerfallen diese beta-instabilen Kerne weiter und setzen dabei über Elektronen, Neutronen und Gamma-Strahlung nach wie vor Wärme frei. Diese sogenannte *Restwärme* macht unmittelbar nach dem Abschalten rund 7 Prozent der normalen Betriebsleistung aus. Sie muss im Notfall, wenn die üblichen Kühlsysteme ausfallen, über *Notkühlsysteme* abgeführt werden; andernfalls würde sie bei Leichtwasser-Reaktoren, dem häufigsten kommerziell genutzten Reaktortyp, innerhalb einer Minute die Umhüllungen der Brennelemente schmelzen lassen. «Während der ersten 100 Sekunden nach dem Abschalten», so *Klapdor,* «wird die Restwärme vor allem durch den Zerfall der sehr neutronenreichen Kerne erzeugt, deren Halbwertszeiten im Bereich von Sekunden liegen. Die freigesetzte Energie hängt dabei wesentlich von den Zerfallseigenschaften dieser Kerne ab - die man bisher experimentell nur unzureichend kennt. Deshalb liess sich die Restwärme für die ersten 100 Sekunden nur auf rund 30% genau angeben.»

Die jetzt verfügbaren, exakten Zerfallsdaten gestatten es, die Restwärme in den kritischen ersten Minuten erheblich genauer zu berechnen. Entsprechend lassen sich Notkühlsysteme für Kernreaktoren, die man angesichts der bisherigen Unsicherheiten sehr grosszügig bemessen musste, künftig rationeller und kostengünstiger auslegen.

Neutrinos - bald fassbar?

Aus der vertieften Kenntnis der Beta-Zerfallsprozesse in Kernreaktoren ergibt sich noch ein anderer Aspekt. Es geht dabei um die *Antineutrinos,* die neben Elektronen beim Beta-Zerfall freigesetzt werden. Bis heute ist ungewiss, ob die Neutrinos, von denen bisher sechs Sorten nachgewiesen sind, eine - wenn auch nur verschwindend kleine - Masse besitzen. Sollte das der Fall sein, müsste es aus theoretischen Gründen, die hier nicht näher beschrieben werden können, zu sogenannten *Neutrino-Oszillationen* kommen: Die verschiedenartigen Neutrinos sollten sich ständig ineinander umwandeln.

Solche Oszillationen, sofern es sie tatsächlich gibt, lassen sich im Prinzip nachweisen, indem man einen *Kernreaktor als Neutrino-Quelle* benutzt. Denn Neutrinos dringen praktisch ohne Wechselwirkung durch Materie und entweichen daher ungehindert aus dem Reaktorkern. Man kann deshalb ihr Spektrum, das heisst die Zusammensetzung der Neutrino-Strahlung, in einer gewissen Entfernung vom Reaktor messen, um es dann mit dem Spektrum im Core zu vergleichen: Daraus liessen sich etwaige Oszillationen der Neutrinos auf dem Weg zwischen Core und äusserem Messplatz nachweisen.

Bisher konnten solche Oszillations-Experimente keine eindeutigen Ergebnisse liefern. Das lag wesentlich auch daran, dass das Antineutrino-Spektrum im Core nicht unmittelbar messbar ist, sondern anhand der Zerfallsdaten der beta-instabilen Nuklide berechnet werden muss. Diese Rechnungen waren bisher aber nur auf 20 bis 50 Prozent genau und damit bei weitem zu unsicher - denn man benötigt, um zu sicheren Aussagen zu gelangen, das Core-Spektrum mit einer Genauigkeit von wenigstens 5 Prozent. «Mit den neuen Zerfalldaten», so Prof. *Klapdor,* «wurde dieser erforderliche Wert jetzt von meinem Mitarbeiter *Metzinger* erreicht. Das dürfte für die derzeit laufenden Neutrino-Oszillations-Experimente bedeutsam sein, die an Reaktoren in *Gösgen* sowie am *Savannah River* unter Leitung von Prof. *Rudolf Mössbauer* beziehungsweise Prof. *Frederick Reines* durchgeführt werden. Die Verlässlichkeit der neuen Zerfallsdaten wiegt hier um so mehr, als die verwendeten Reaktoren eine sehr komplexe und zudem zeitlich veränderliche Brennstoff-Zusammensetzung aufweisen.»

Die Ergebnisse der Oszillations-Experimente wären nicht zuletzt auch für die Kosmologen interessant. Denn Neutrinos finden sich als Produkte des Urknalls sehr zahlreich im Weltraum: Hätte jedes von ihnen auch nur eine noch so geringe Masse, so könnte das doch den gesamten Masseninhalt des Universums entscheidend vergrössern. Davon aber hängt die bisher ungelöste Frage nach der *Struktur des Raums im Grossen* ab - danach, ob wir in einem offenen oder geschlossenen, in einem unendlichen oder endlichen Universum «zu Hause» sind.

Damit sind nur die wichtigsten, die fachübergreifenden Konsequenzen aus dem «neu entdeckten» Beta-Zerfall umrissen. Angesichts ihrer Tragweite wird man Klapdors Meinung teilen, «dass die Beschäftigung mit einem solchen Standard-Prozess der Kernphysik auch heute noch von Interesse ist . . .» *Walter Frese*

Maschinenmarkt

Keine Anzeichen für eine Trendwende in der Maschinen- und Metallindustrie

Schwierigkeiten vor allem im Exportgeschäft

Nach einer Mitteilung des *Vereins Schweizerischer Maschinenindustrieller* (VSM) steht die schweizerische Maschinen- und Metallindustrie unvermindert im Bannkreis der internationalen Investitionsschwäche. Immerhin hat sich der rückläufige Trend im 4. Quartal 1982 abgeschwächt. Gegenüber dem Vorquartal verzeichnete der Bestellungseingang eine - allerdings zur Hauptsache inlandbedingte - Zunahme um 14,8%. Hingegen mussten im Vergleich zum Vorjahr sowohl beim Auftragseingang als auch beim Auftragsbestand und beim Umsatz deutliche Rückschläge hingenommen werden. Der durchschnittliche Arbeitsvorrat fiel auf einen neuen Tiefststand von 5,9 Monaten, wobei insbesondere die starken Rückschläge in den Bereichen Werkzeugmaschinen und Textilmaschinen Sorge bereiten.

Weiter sinkende Exportquote

Der *wertmässige Bestellungseingang,* wie er vom (VSM) regelmässig aufgrund der Angaben von 200 Meldefirmen errechnet wird, belief sich im 4. Quartal 1982 auf rund 3,8 Mrd. Fr. Während die *Auslandaufträge* im Vergleich zum schwachen Vorquartal um 10,1% zunahmen, fielen die *Bestellungen aus dem Inland* namentlich dank eines grossen Einzelauftrages im Rahmen des Rüstungsprogramms 1982 um 22,3% höher aus. Im Vergleich zum Vorjahresquartal resultierte im Exportgeschäft allerdings ein Minuswert von 19,7%.

Mit 15,3 Mrd. Fr. war der Bestellungseingang insgesamt im letzten Jahr um 4,4% niedriger als 1981. Die *Exportquote* belief sich im Jahresdurchschnitt auf 63,2% gegenüber 64,3% im Vorjahr. Im 4. Quartal 1982 resultierte sogar ein Rückgang auf 59,2%. Damit unterschritt diese Kennzahl, von einer Ausnahme abgesehen, erstmals seit 1974 die Marke von 60%.

Der *wertmässige Auftragsbestand* belief sich Ende 1982 noch auf 12,9 Mrd. Fr. und lag da-