

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 35 (1944)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Atomkerne und Höhenstrahlen  
**Autor:** Wäffler, Hermann  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061623>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

Darstellung die unterschiedliche Gruppierung der Kochherde und Heisswasserspeicher je nach Charakter der Versorgungsgebiete hervor. Die entsprechenden Daten liessen sich für die gewerblichen Backöfen ebenfalls ermitteln, sobald diesbezügliche zuverlässige Angaben beschafft werden können. Sehr schwierig wäre dies jedoch für alle Kleinapparate durchführbar, da über deren Zahl und

Konsum bei den heute üblichen Haushalt-Tariffsystemen keine absolut zuverlässigen Angaben erhältlich sind. Die Verhältnisse werden mit zunehmender Einführung von Grundgebühren- oder Regelverbrauchstarifen keineswegs übersichtlicher werden, so dass sich auch aus diesem Grunde die Frage nach einer eventuellen Umstellung des bisherigen Aufbaus der Verbrauchsstatistik stellt.

## Atomkerne und Höhenstrahlen<sup>1)</sup>

Von Hermann Wäffler, Zürich

537.59:539.152.1

*Es wird ein Ueberblick über die wichtigsten Probleme der heutigen Kernphysik gegeben und der Zusammenhang dieser Fragen mit den Ergebnissen der Höhenstrahlungsforschung diskutiert.*

*L'auteur donne un aperçu des principaux problèmes actuels de la physique moléculaire. Le rapport de ces questions avec les résultats des recherches sur les radiations cosmiques est discuté.*

1. Die Chemie hat bewiesen, dass die ganze Mannigfaltigkeit der Stoffe, die uns in der Natur entgegentreten, sich auf eine bestimmte Zahl von Grundstoffen zurückführen lässt. Es existieren insgesamt 92 solche Grundstoffe; man bezeichnet sie als die *chemischen Elemente*. Jedem Element liegen die gleichen stofflichen Bausteine zugrunde, die man *Atome* nennt. Diese Atome sind Gebilde von äusserster Kleinheit; ihre räumliche Ausdehnung entspricht etwa dem Volumen einer Kugel von  $10^{-8}$  cm Radius. In die Erscheinungswelt des Chemikers gehen die Atome als kleinste und unteilbare Einheiten ein: Wohl werden durch das Zusammentreten verschiedenartiger Atome aus den Elementen neue Stoffe, die Verbindungen, aufgebaut, aber eine Zerlegung der Atome und damit ein Abbau der Elemente ist durch keine chemische Reaktion möglich.

Die Physik hat nun die Aufteilung der Materie noch weiter getrieben als die Chemie. Sie hat nachgewiesen, dass die 92 in der Natur vorkommenden chemischen Atome nur *drei* verschiedene Bausteine enthalten. Der Physiker bezeichnet diese Bausteine als *Elementarteilchen*, und nennt sie *Elektron*, *Proton* und *Neutron*. Die Elementarteilchen lassen sich zurzeit durch *drei* voneinander verschiedene, unabhängige Eigenschaften charakterisieren, nämlich ihre Ladung, ihre Masse und ihr magnetisches Moment. Die Eigenschaft der Ladung erweist sich dabei als universell: es existiert nach allen unsern Erfahrungen nur *ein* Elementarquantum der elektrischen Ladung in der Natur. Dieses tritt beim Elektron sowohl mit positivem, als auch mit negativem Vorzeichen auf. Es ist jedoch zu bemerken, dass lediglich eine Elektronenart als Atombaustein vorkommt; man hat sie als die *negative* bezeichnet. Das positive Elektron wird beim radioaktiven Zerfall beobachtet, eine Tatsache, auf die wir im Folgenden noch zurückkommen werden. Beim Proton wurde bis jetzt nur ein Vorzeichen gefunden, nämlich das positive. Man kann jedoch vermuten, dass die Natur symmetrisch in bezug auf das Vorzeichen der Ladungen

ist; demnach sollten auch negative Protonen existieren. Was die Masse der Elementarteilchen anbelangt, so ist sie sehr ungleichmässig zwischen Proton und Elektron verteilt: auf das Elektron entfällt nur etwa der 2000ste Teil der Masse des Protons. Das Neutron schliesslich besitzt keine elektrische Ladung, es ist ein neutrales Teilchen. Seine Masse übersteigt die des Protons um etwa 1%/<sub>00</sub>. Wir haben allen Grund zur Annahme, dass das freie, vom Atomverband losgelöste Neutron nicht stabil ist, sondern in ein Proton und ein negatives Elektron zerfällt. Man kann das Neutron in diesem Sinne als das *leichteste radioaktive Element* ansprechen. Der experimentelle Nachweis dieses Zerfalls ist bis jetzt allerdings noch nicht geglückt. Die Ursache für das negative Ausfallen aller dahingehenden Versuche ist leicht einzusehen. Man kann nämlich in einfacher Weise abschätzen, welcher Wert für die Lebensdauer des freien Neutrons zu erwarten ist. Der so gefundene Zeitraum liegt zwischen 30 und 60 Minuten. Nun ist aber das Neutron infolge seiner Ladungsfreiheit sehr durchdringend. Es gibt kein Material, das Neutronen zurückzuhalten gestattet. Lässt man also Neutronen in einen Versuchsraum, in dem der Zerfall nachgewiesen werden soll, eintreten, so werden sie infolge ihrer Temperaturbewegung innerhalb Bruchteilen von Sekunden wieder aus demselben austreten. (Die kleinste Geschwindigkeit, die ein Neutron bei gegebener Temperatur besitzt, ist bekanntlich durch die gaskinetische Geschwindigkeit gegeben.) Die Zahl der Neutronen, welche während dieses kurzen Aufenthaltes im Versuchsraum zerfallen, ist infolge ihrer millionenfach grösseren Lebensdauer verschwindend klein, so dass ein Nachweis fast hoffnungslos erscheint.

Die vermutliche Radioaktivität des Neutrons weist darauf hin, dass unsere Definition der Elementarteilchen, so weit sich dieser Ausdruck auf ihre Unzerlegbarkeit bezieht, nur ein Provisorium darstellen dürfte, das vielleicht später einer vertieften Einsicht Platz zu machen hat. Den gleichen Schluss muss man auch aus dem magnetischen Verhalten dieser Teilchen ziehen. Wie experimentell festgestellt wurde, besitzen sowohl das Elektron als

<sup>1)</sup> Antrittsvorlesung, gehalten an der Eidg. Technischen Hochschule am 4. Juni 1944.

auch Proton und Neutron den gleichen mechanischen Drehimpuls vom Betrage  $\frac{1}{4\pi} h$  (Planksches Wirkungsquantum  $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$  erg·s). Das Vorhandensein dieses Drehimpulses führt für Elektron und Proton zu dem anschaulichen Bild einer rotierenden Ladungswolke, mit welcher zwangsläufig die Existenz eines magnetischen Moments verknüpft ist. Für das ladungsfreie Neutron hingegen ist auf Grund des gleichen Bildes *kein* magnetisches Moment zu erwarten. In Wirklichkeit besitzen nun alle drei genannten Elementarteilchen ein magnetisches Moment. Man kann dieses überraschende Phänomen in der Weise erklären, dass man das Neutron aus Elektron und Proton zusammengesetzt annimmt, wobei sich zwar die Ladungen der beiden Partner kompensieren, nicht aber ihre Impulsmomente, so dass für das Neutron ein resultierender Drehimpuls und damit auch ein magnetisches Moment übrigbleibt.

2. Innerhalb eines Atoms hat man scharf zwischen zwei räumlichen Gebieten zu unterscheiden: ein äusseres, in welchem sich ausschliesslich Elektronen befinden, und ein inneres, das den Protonen und Neutronen zugewiesen ist. Das äussere Gebiet bezeichnet man als *Atomhülle*, das innere als *Atomkern*. Die Zahlenverhältnisse zwischen den Hüllenelektronen und den Kernteilchen sind sehr einfach: Die Zahl der Elektronen in der Hülle ist stets gleich der Zahl der Protonen im Kern, so dass das Atom als Ganzes elektrisch neutral ist. Die Neutronenzahl eines Atoms ist nicht eindeutig bestimmt; am häufigsten sind die Atome, welche ebenso viele Protonen wie Neutronen enthalten, weniger häufig sind jene, bei denen die Zahl der Neutronen von der der Protonen nach oben oder unten abweicht.

Die Hülle ist die Domäne, in der sich alle chemischen und optischen Erscheinungen abspielen. Sie umfasst, wie bereits erwähnt, ein Raumgebiet, das etwa demjenigen einer Kugel vom Radius  $10^{-8}$  cm entspricht. Von grundsätzlich anderer Grössenordnung ist die räumliche Ausdehnung des Kerns: obschon er die schweren Teilchen und damit fast die gesamte Masse des Atoms enthält, beansprucht er nur etwa den 10 000. Teil des ganzen Atomvolumens. Die Tatsache, dass praktisch alle Materie in Raumgebieten von subatomarer Kleinheit konzentriert ist, erscheint sehr merkwürdig. Sie ist es um so mehr, als nach den Gesetzen der Elektrostatik Ladungen gleichen Vorzeichens sich abstossen, die im Kern befindlichen Protonen also abstossende Kräfte aufeinander ausüben müssten. Dass die Gesetze der Elektrostatik auch *innerhalb des Atoms* gültig bleiben, lässt sich experimentell beweisen: beschiesst man einen Atomkern beispielsweise mit Protonen, so erfahren diese eine abstossende Kraft, die bis auf Abstände des Kerndurchmessers genau das gleiche Kraftgesetz befolgt, wie zwei elektrische Punktladungen.

Aus der empirischen Stabilität der Atomkerne müssen wir aber schliessen, dass *im Innern des*

*Kerns* die elektrischen Kräfte unwirksam werden. Ja, es müssen sogar sehr starke anziehende Kräfte zwischen den Kernteilchen herrschen. Die Existenz solcher Anziehungskräfte macht sich deutlich bemerkbar bei Versuchen, die darauf hinzielen, ein einzelnes Teilchen, entweder ein Neutron oder ein Proton, aus einem Kern abzuspalten. Ein solcher Abtrennungsprozess findet nämlich nur unter Energiezufuhr statt, beispielsweise durch Einstrahlung von Licht. Ich möchte hier an den analogen Vorgang in der Atomhülle erinnern: es ist der bekannte lichtelektrische oder Photoeffekt, welcher in der Ablösung eines Hüllenelektrons durch ein Lichtquant besteht. Dieser Prozess ist mit Licht durchführbar, welches dem sichtbaren Gebiet angehört, d. h. Quantenenergien von einigen Elektronvolt (eV)<sup>2</sup> besitzt. Der entsprechende Vorgang beim Kern, der sogenannte *Kernphotoeffekt*, benötigt nun millionenfach grössere Energien; die experimentell gemessenen Werte betragen  $10^7$  eV und mehr. Nun wird die höchste in der Natur vorkommende Quantenenergie beim Zerfall des radioaktiven Elements Thorium emittiert; sie beträgt 2,65 MeV (1 MeV =  $10^6$  eV), reicht also für einen Kernphotoeffekt bei weitem nicht aus. (Eine Ausnahme bilden die beiden leichten Elemente Deuterium und Beryllium, bei welchen die zur Abtrennung eines Neutrons erforderliche Energie 2,18 bzw. 1,7 MeV beträgt.) Die experimentelle Beobachtung des Kernphotoeffekts ist deshalb erst in jüngster Zeit möglich geworden. Wir besitzen nämlich heute in den *künstlichen Kernumwandlungen* ein Mittel zur Erzeugung von Lichtquanten der erforderlichen hohen Energie. Das Grundsätzliche dieser Vorgänge lässt sich der folgenden Uebersetzung entnehmen: Die gleiche Energie, welche für die Abspaltung eines Kernbausteins aufgewendet werden muss, kann unter Umständen beim Einbau eines solchen Teilchens in einen Kern freigesetzt werden. Wenn also ein solcher Kernaufbau in der Weise geleitet werden kann, dass die dabei frei werdende Energie in Form eines Lichtquants emittiert wird, so darf man für dieses Licht etwa die gleichen Quantenenergien erwarten, die für einen Kernphotoeffekt erforderlich sind. Man hat nun in der Tat künstliche Kernumwandlungen gefunden, welche diese Erwartung bestätigen. Eine der wichtigsten ist die folgende: Der Atomkern des Lithiums wird durch den Einbau eines Protons in den Berylliumkern übergeführt. Die hierbei freiwerdende Energie wird vom Beryllium in Form eines Lichtquants emittiert, dessen Quantenenergie 17 MeV beträgt:



(In dieser Reaktionsgleichung bedeutet der untere Index die Zahl der Protonen, der obere die Gesamt-

<sup>2</sup>) Der Physiker misst in der Atomtheorie die Energie bequem in Elektronvolt (eV). Das Elektronvolt ist folgendermassen definiert:

Wenn ein Teilchen mit der Elementarladung  $e = 1,601 \cdot 10^{-19}$  Coulomb in einem elektrischen Feld eine Spannung von 1 V durchlaufen hat, dann hat es den Energieinhalt von 1 Elektronvolt.

1 eV =  $1,601 \cdot 10^{-19}$  Ws

zahl der Teilchen für den betreffenden Kern.) Infolge der elektrostatischen Abstossung zwischen dem positiven Lithiumkern und dem gleichnamig geladenen Proton erfordert die Annäherung der beiden Teilchen einen gewissen Energieaufwand. Diese Energie kann einem der beiden Kerne, beispielsweise dem Proton, dadurch erteilt werden, dass man ihn ein elektrisches Beschleunigungsfeld durchlaufen lässt. Wie die Versuche gezeigt haben, muss das Proton ein Spannungsgefälle von mindestens 500 kV durchlaufen, damit der Einbau in den Lithiumkern stattfindet. Man benötigt somit für die Durchführung dieses Prozesses Anlagen, mit denen derart hohe Spannungen erzeugt werden können.

Mit den bei dem oben erwähnten Prozess freiwerdenden Lichtquanten extrem hoher Energie wurden die meisten Atome des periodischen Systems auf die Abspaltung eines Kernteilchens hin untersucht. Aus den Ergebnissen dieser Versuche kann man schliessen, dass sich die Bindungsenergie für ein einzelnes Kernteilchen von Atom zu Atom nur wenig ändert. Man kann somit von einer *mittleren* Bindungsenergie pro Kernteilchen sprechen, welche nach Ausweis der Versuche etwa 8...10 MeV beträgt. Diese Energie, welche die Kräfte, mit denen sich die Kernbausteine anziehen, als Ursache hat, übertrifft also die chemischen Bindungsenergien, welche von der elektrostatischen Kraftwirkung zwischen Hüllenelektronen und Kern herrühren, um ein millionenfaches. Da wir unter den bis jetzt bekannten Naturerscheinungen kein Analogon zu diesen enormen Bindungsenergien besitzen, müssen wir deren Ursache, nämlich das Kraftfeld der Kernbausteine, als ein neues, auf nichts Bekanntes zurückführbares Phänomen betrachten. Wir dürfen ferner erwarten, dass eine genaue Einsicht in dieses Phänomen auch eine Beantwortung aller Fragen bringt, welche das Verhalten der Atomkerne uns stellt.

3. Um nun einem Verständnis dieser Wechselwirkungskräfte zwischen den Kernbausteinen näher zu kommen, müssen wir unsere Aufmerksamkeit denjenigen Erscheinungen zuwenden, bei welchen die Kernteilchen miteinander in Wechselwirkung treten. Eine der auffallendsten unter denselben ist die Radioaktivität. Ebenso wie sich die Lichtemission der Atome als Lebensäusserung der Atomhülle ansprechen lässt, kann man die Radioaktivität als Lebensäusserung des Atomkerns betrachten. Es existieren nämlich in der Natur Elemente, deren Atome nicht stabil lebensfähig sind, sondern sich unter Emission von Elektronen in Atome der Nachbar-elemente umwandeln. Man bezeichnet die so emittierten Elektronen als  *$\beta$ -Strahlen* und spricht in diesem Sinn von  *$\beta$ -Aktivität*. Die durch das Experiment erfassbaren Vorgänge, welche sich beim  *$\beta$ -Zerfall* abspielen, sind die folgenden: Ein Atomkern emittiert ein Elektron — es kann negativ oder positiv geladen sein — und bleibt mit einer um die Ladung dieses Elektrons verminderten Kernladung zurück. Durch diesen Prozess hat sich also der ursprüngliche Kern in einen neuen verwandelt, nämlich in den Kern desjenigen Atoms, das ihm im

periodischen System nach oben oder nach unten benachbart ist. Ausschlaggebend für das Auftreten einer solchen Umwandlung ist der Energieumsatz. Sie findet nämlich nur dann statt, wenn beim Uebergang des Ausgangskerns in den Endkern Energie frei wird. Ein radioaktives Atom hat somit stets einen höheren Energieinhalt, als das stabile Nachbaratom, in das es sich umwandelt.

Wir besitzen nun heute in den künstlichen Kernumwandlungen ein Mittel, um durch *Energiezufuhr* stabile Kerne auf künstlichem Wege in radioaktive zu verwandeln und an diesen künstlichen radioaktiven Elementen den Prozess des  *$\beta$ -Zerfalls* zu studieren. Das zur Verfügung stehende experimentelle Material ist sehr reichhaltig: man kennt zurzeit einige hundert solcher radioaktiver Elemente.

Das Bild, das man sich auf Grund dieses experimentellen Tatbestandes von den Vorgängen im Innern eines radioaktiven Atoms gemacht hat, ist das folgende: Im Innern des Kerns verwandelt sich entweder ein Proton in ein Neutron und ein positives Elektron oder ein Neutron in ein negatives Elektron und ein Proton. Das so erzeugte Elektron verlässt den Kern und tritt als  *$\beta$ -Strahl* in Erscheinung. Diese Vorstellung ist sehr naheliegend, sie setzt einfach die Kernbausteine und das experimentell beobachtete Elektron in Beziehung zueinander. Nun wird aber bei dem radioaktiven Umwandlungsprozess eine ganz bestimmte, experimentell messbare Energie frei. Diese Energie sollte sich als Bewegungsenergie des austretenden Elektrons wiederfinden. Wie der Versuch zeigt, wird jedoch nicht die ganze freiwerdende Energie auf das Elektron übertragen, sondern alle Energiebeträge zwischen null und dem zur Verfügung stehenden Wert. Da ein Verschwinden von Energie unsern Grundauffassungen von den Naturvorgängen widersprechen würde, müssen wir annehmen, dass der fehlende Energiebetrag durch ein weiteres Teilchen aus dem Kern weggeführt wird. Dieses Teilchen, das man *Neutrino* nennt, muss derart beschaffen sein, dass es sich dem direkten Nachweis in unsern Messapparaten entzieht, denn es konnte bis heute nicht gefunden werden. Man hat jedoch versucht, seine Existenz auf indirektem Wege nachzuweisen. Diese Experimente, die mit grossen Schwierigkeiten verbunden sind, haben zwar noch zu keinem quantitativen Resultat geführt, sind jedoch qualitativ alle positiv im Sinn der Existenz des Neutrinos ausgefallen.

Der radioaktive Umwandlungsprozess, der im Innern des Kerns die eine Teilchenart in die andere überführt, muss ebenso wie die Bindungsenergie seine Ursache in dem Kraftfeld der Kernbausteine haben. Es ist also zu erwarten, dass er in engen Zusammenhang mit den ihrer Natur nach noch unbekannt Kernkräften gebracht werden kann. Aus dem experimentell beobachteten Energieumsatz sowie der mittleren Lebensdauer beim radioaktiven Zerfall lässt sich die Wechselwirkungskraft zwischen Proton und Neutron auch tatsächlich berechnen. Führt man nun aber diese Rechnung auf Grund der erwähnten Vorstellung über den  *$\beta$ -Zerfall* durch, so



zeigt sich, dass die so berechnete Wechselwirkung viel zu klein ist, um die experimentell beobachteten Bindungsenergien der Kerne richtig wiederzugeben. Hält man also an der Vorstellung der direkten Umwandlung der Kernteilchen ineinander unter gleichzeitiger Emission eines Elektrons und Neutrinos fest, so erweist es sich als unmöglich, die Erscheinungen des radioaktiven Zerfalls mit den empirischen Kernkräften in Übereinstimmung zu bringen.

Um aus dieser Situation einen Ausweg zu finden, hat der japanische Forscher Yukawa im Jahre 1935 die Vorstellung über den Mechanismus des radioaktiven Ueberganges in folgender Weise geändert: Bei der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton ( $\beta^-$ -Zerfall) bzw. eines Protons in ein Neutron ( $\beta^+$ -Zerfall) soll zunächst ein Zwischenteilchen entstehen, welches seinerseits radioaktiv ist, und in ein Elektron und ein Neutrino zerfällt. Durch die Einführung dieses hypothetischen Teilchens geht eine weitere Naturkonstante in die Rechnung ein, nämlich seine mittlere Lebensdauer. Diese kann nun so gewählt werden, dass die Wechselwirkung zwischen Proton und Neutron gerade den Wert annimmt, der durch die empirische Bindungsenergie der Kerne gefordert wird. Die Durchführung der Rechnung ergibt für diese mittlere Lebensdauer den Wert von ca.  $10^{-8}$  s. Auch die Masse dieses von Yukawa eingeführten Teilchens lässt sich berechnen, sie beträgt das 160fache der Elektronenmasse.

Die Yukawasche Annahme erscheint sehr künstlich, und sie fand auch zunächst keine grosse Beachtung. Allein, sie hat in jüngster Zeit von einem andern Forschungsgebiet her eine ganz unerwartete, überraschende Bestätigung erfahren.

4. Dieses Forschungsgebiet, auf das ich zum Schluss noch kurz eintreten möchte, betrifft die *Höhenstrahlung*, auch *kosmische Strahlung* genannt. Man weiss schon seit nahezu 30 Jahren, dass aus dem Weltraum eine Strahlung auf die Erde einfällt, die aus geladenen Teilchen besteht und sich durch ein sehr hohes Durchdringungsvermögen auszeichnet. Dass es sich um geladene Teilchen handelt, geht daraus hervor, dass sie durch das Magnetfeld der Erde auf ihrer Bahn abgelenkt werden. Das Durchdringungsvermögen der Strahlung bestimmt sich aus der Abnahme ihrer Intensität beim Durchgang durch Materie: Misst man die Zahl der pro Zeiteinheit in eine bestimmte Versuchsanordnung (Zählrohr, Ionisationskammer) einfallenden Teilchen in Abhängigkeit von der Schichtdicke eines vorgeschalteten Absorbers, beispielsweise Blei, so zeigt sich, dass die Bleischicht eine Dicke von ca. 15 cm haben muss, damit die Intensität auf die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes zurückgeht. Diese Absorption ist zurückzuführen auf Sekundärprozesse, welche die Höhenstrahlung beim Durchgang durch Materie erfährt, und welche zu verwinkelten Erscheinungen führen, die eine Bestimmung der primären Natur der Strahlung sehr erschweren. So lässt eine genaue Analyse der Absorptionskurve erkennen, dass sich die Strahlung aus mindestens zwei Komponenten zusammensetzt. Die

eine Komponente besitzt ein Durchdringungsvermögen von etwa 10 cm Blei, die andere macht sich noch hinter Bleipanzern von 1 m Dicke bemerkbar. Wenn es auch dank der verfeinerten Experimentiertechnik der letzten Jahre weitgehend gelungen ist, eine Analyse der kosmischen Strahlung auf ihre einzelnen Bestandteile hin durchzuführen, so konnte doch die Art der primär aus dem Weltraum einfallenden Teilchen bis heute noch nicht vollständig sichergestellt werden. Die Ergebnisse von Untersuchungen, welche in sehr grossen Höhen mit selbstregistrierenden Ballonapparaten durchgeführt wurden, machen es jedoch sehr wahrscheinlich, dass die primäre Strahlung aus *Protonen* sehr hoher Energie besteht. Es handelt sich hierbei um Energien, welche die in unsern Laboratorien erreichbaren millionenfach übertreffen. (An einzelnen Höhenstrahlteilchen wurden Energien von  $10^{13}$  eV gemessen.) Infolgedessen sind auch die Erscheinungen, welche bei der Wechselwirkung der Strahlung mit Materie auftreten, für die Physik von grösstem Interesse, denn es sind hierbei Kernprozesse von viel radikalerer, tiefgreifenderer Art als die im Laboratorium durchführbaren zu erwarten.

Die in Erdnähe beobachtete Strahlung besteht nun zur Hauptsache aus folgenden Komponenten:

1. sehr schnelle Elektronen beiderlei Vorzeichens,
2. Lichtquanten hoher Energie,

3. Teilchen, die erstmals in der Höhenstrahlung gefunden wurden und die sehr merkwürdige Eigenschaften besitzen. Diese als *Mesonen* bezeichneten Teilchen tragen eine elektrische Ladung von der Grösse des Elementarquantums und besitzen eine Masse, die zwischen der Masse des Elektrons und derjenigen des Protons liegt; sie beträgt nämlich rund ein Zehntel der Masse des Protons. Die bemerkenswerteste Eigenschaft dieser neu entdeckten Teilchen besteht nun darin, dass sie unter Emission eines Elektrons radioaktiv zerfallen. Es ist vor kurzem gelungen, ihre mittlere Lebensdauer experimentell zu bestimmen; der gefundene Wert beträgt etwa  $10^{-6}$  s, ist also 100mal kleiner als die Lebensdauer des Yukawaschen Teilchens. Die Tatsache des radioaktiven Zerfalls der Mesonen zwingt zum Schluss, dass diese Partikel *sekundärer Herkunft*, d. h. also in der Atmosphäre entstanden sein müssen. Denn ein primär aus dem Weltraum einfallendes Meson würde auf seiner Reise längst vor dem Erreichen unseres Planeten zerfallen, und wäre somit einem Nachweis entzogen. Wir müssen also annehmen, dass die primären Protonen beim Eintritt in die Atmosphäre mit den Kernen der Stickstoff- und Sauerstoffatome in eine Wechselwirkung treten, welche die Entstehung der Mesonen zur Folge hat. Eine Einsicht in die Natur dieser Wechselwirkungen fehlt uns heute noch. Allein die überraschende Tatsache, dass in der Höhenstrahlung ein Teilchen vorkommt, welches in seinen Eigenschaften wenn auch nicht quantitativ, so doch qualitativ mit dem von Yukawa zur Erklärung des  $\beta$ -Zerfalls postu-

lierten übereinstimmt, lässt uns dessen Bedeutung für die Vorgänge im Atomkern erkennen. Allerdings bedeutet diese Erkenntnis nur einen Anfang, da die Mesontheorie der Kernkräfte sich in ihrer gegenwärtigen Form nicht in einer mit der Erfahrung widerspruchsfreien Weise formulieren lässt. Sie stellt nur die Andeutung eines Weges dar, den

weiter auszubauen sich die Forschung bemühen muss. Doch das Schöne an diesen neuen Gedankengängen der Physik ist, dass sie eine Brücke schlagen von den Rätseln des Atomkerns zu den Rätseln der kosmischen Strahlung. Und wir haben einigen Grund zur Hoffnung, dass die Verknüpfung dieser Rätsel uns auch ihrer Lösung näherbringen wird.

## Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen

Von D. Brentani, Zürich

621.316.1.053.24 : 621.316.99

*Vor einigen Jahren hat der Verfasser, Starkstrominspektor, im Schosse eines Betriebsleiterverbandes einen Vortrag gehalten, um die mit der richtigen Anwendung der Schutz-erdung und Nullung der Hausinstallationsapparate verbundenen Schwierigkeiten darzulegen. Der Artikel gibt im wesentlichen den Inhalt jenes Vortrages wieder in der Absicht, die Betriebsleiter der mittleren und kleineren Elektrizitäts-unternehmungen mit der Materie besser vertraut zu machen. Wer näher in die einzelnen Fragen eindringen will, sei auf die bedeutend ausführlicheren Untersuchungen über Schutz-massnahmen zur Vermeidung elektrischer Unfälle in Haus-installationen, die M. Wettstein, Oberbetriebsleiter der Elek-trizitätswerke des Kantons Zürich, im Bull. SEV 1934, Nrn. 23...26, veröffentlicht hat, verwiesen. Der Ursprung beider Studien geht ungefähr auf den gleichen Zeitpunkt zurück.*

*Il y a quelques années, l'auteur, inspecteur de l'Inspectorat des installations à courant fort, avait donné une conférence au sein d'une association de chefs d'exploitation, à propos de l'application correcte de la mise à la terre directe ou au neutre des appareils dans les installations intérieures et des difficultés que ce système peut présenter. L'article ci-après est en quelque sorte une répétition de cette conférence, à l'intention des chefs d'exploitation des petites et moyennes entreprises électriques.*

*Les lecteurs désireux d'approfondir ces questions peuvent consulter l'article beaucoup plus détaillé de M. Wettstein, chef d'exploitation des Entreprises électriques du Canton de Zurich, paru dans le Bulletin ASE 1934, Nos. 23 à 26, au sujet des mesures de protection destinées à éviter des accidents dus à l'électricité dans les installations intérieures. Les études de MM. Brentani et Wettstein datent d'ailleurs à peu près de la même époque.*

### 1. Allgemeines

Unter den Schutzmassnahmen, die zur Verhütung von Unfällen in elektrischen Hausinstallationen angewendet werden, sind in erster Linie die *Erdung* und die *Nullung* der Apparategehäuse, Metallumhüllungen usw. zu erwähnen. Die Erdung ist dabei die ältere und in der Schweiz am meisten verbreitete Schutzmassnahme; sie bedingt besondere Erdleitungen und Erdelektroden. Bei der Nullung aber werden die in Betracht kommenden Anlageteile an den geerdeten Nulleiter der Installation angeschlossen (Hausinstallationsvorschriften des SEV [HV] § 17). Beiden Schutzmassnahmen kommt für die Sicherheit der Benutzer elektrischer Einrichtungen grosse Bedeutung zu. Sie bezwecken das Entstehen von gefährlichen *Berührungsspannungen* an Apparate-teilen, die normalerweise spannungslos sind, jedoch bei Isolationsdefekten mit spannungsführenden An-lageteilen in Verbindung geraten können, zu ver-hindern.

Vom anfänglichen Irrtum, dass die *Schutzerdung* oder *Nullung* eines metallischen Apparategehäuses an sich genüge, um es bei Spannungsübertritt völlig spannungslos gegen Erde zu machen, ist man u. a. durch schlimme Erfahrungen geheilt worden. Einfache Ueberlegungen zeigen auch, dass bei einem Isolationsdefekt an einem vermeintlich «geschütz-ten» Apparat durch die Erdungswiderstände so grosse Spannungsabfälle entstehen können, dass die Berührungsspannungen an den defekten Teilen trotz Erdung oder Nullung für den Menschen gefährliche Werte annehmen. Sowohl bei der Schutzerdung, als auch bei der Nullung sind zwischen defekten berührbaren Teilen und Erde Spannungen von der Grössenordnung der Sternspannung des Stromsystemes möglich. Beide Schutzsysteme erfordern daher

besondere Berechnungen, sorgfältigste Ausführung und periodische Ueberprüfung.

### 2. Die Berührungsspannung

Der Begriff «*Berührungsspannung*» und ihre Gefährlichkeitsgrenze stehen im Mittelpunkt der Untersuchungen; sie sind von grundlegender Bedeutung. Die Grösse der zulässigen Berührungsspannung ist umstritten. Man ist jedoch gezwungen, sie durch einen Zahlenwert festzulegen, da sonst der freien Auffassung zu viel Raum gelassen würde und ohne eine zahlenmässige Angabe die rechnerische Behandlung des Erdungsproblems nicht möglich ist.

Die Berührungsspannung kann als jene *Spannungsdifferenz* im Erdschlußstromkreis definiert werden, die auf den menschlichen Körper beim Berühren eines defekt gewordenen Apparatenteils entfällt. Spätere Beispiele werden diesen Begriff noch erläutern. Als *Grenze der zulässigen Berührungsspannung* wurde in der Verordnung über Starkstromanlagen (VSt) 50 V festgesetzt. Ein geerdeter oder genullter Apparat darf nach dieser Verordnung als genügend geschützt betrachtet werden, wenn bei Isolationsdefekt die Berührungsspannung zwischen seinem Gehäuse und dem Bedienungsstandort 50 V nicht übersteigt. Es sei an dieser Stelle auf die im Bulletin SEV 1929, Nr. 13, veröffentlichte wertvolle Studie der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) betitelt «Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper» aufmerksam gemacht. Aus den Versuchen der EKZ geht hervor, dass eine Stromstärke von 15 mA als obere Stromgrenze zu betrachten ist, bei der ein unter Spannung stehendes, mit der Hand umfasstes Objekt ohne weiteres losgelassen werden kann. Im Zusammenhang mit den durch Versuche gewonnenen Werten für den Widerstand des