

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 19

Artikel: Elektrotechnik und Atomphysik

Autor: Tank, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916774>

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: 16.01.2026

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

Elektrotechnik und Atomphysik

Von F. Tank, Zürich

621.3:621.039

Es wird ein Überblick über die grundlegenden Beziehungen zwischen Elektrotechnik und Atomphysik gegeben. Der Maxwell'schen Lehre als reiner Kontinuumstheorie ist der Atombegriff fremd. Atomistische Betrachtungen werden aber notwendig, wenn die Konstanten der Maxwell'schen Lehre (Dielektrizitätskonstante, magnetische Permeabilität, Leitfähigkeit) physikalisch verstanden werden sollen. Die Tatsache, dass das Atom aus elektrischen Ladungen aufgebaut und durch elektrische Kräfte zusammengehalten ist (Elektronen, Kern) führt zur Elektronik und zur Kerntechnik und macht die Beziehungen zwischen Elektrotechnik und Atomphysik besonders reich und fruchtbar; sie sind auf Jahrzehnte hinaus noch nicht ausgeschöpft.

Technik ist ihrem Wesen nach durch Wissenschaft bedingt, und Wissenschaft existiert nicht, wenn sie nicht in ihrer Reinheit um ihrer selbst willen interessiert, und sie kann nicht interessieren, wenn die Menschen nicht mehr um die allgemeinen Grundlagen der Kultur bemüht sind.

Ortega y Gasset

I

Das Wesen der Elektrizität ist auch heute noch ein grosses Geheimnis. Unter Elektrizität in einem engeren, präziseren Sinn verstehen wir den physikalisch wohl definierten Begriff der elektrischen Ladung. Ladungen sind Quellen elektrischer Felder; bewegte Ladungen sind elektrische Ströme. Die elektrischen Erscheinungen sind im Grunde äusserst abstrakter Natur. Wenn wir Ausdrücke wie Ladungen und Felder oder Ströme, Spannungen und Widerstände verwenden, so reden wir gewissermassen in Gleichnissen; der Kern der Dinge aber ruht in der Tiefe.

Die gesetzmässigen Zusammenhänge unter den elektrischen Vorgängen kennen wir sehr genau. Fussend auf Anschauungen Faradays hat James Clark Maxwell in seinen Feldgleichungen dafür die angemessene Form gefunden. Das Feld ist Träger der Energie; in ihm breitet sie sich als Welle aus. Feld und Ladungen sind miteinander in der Weise verknüpft, dass aus den Ladungen ebenso auf den Feldverlauf geschlossen werden kann, wie aus dem Feldverlauf auf die Ladungen. Der gesamte Einfluss der Materie ist in Maxwell's Lehre durch drei integrale Konstanten zusammengefasst: die Dielektrizitätskonstante ϵ , die magnetische Permeabilität μ und die elektrische Leitfähigkeit σ . Diese Tatsache ist beachtenswert, denn sie erlaubt eine vollkommen geschlossene Darstellung der Theorie und bietet eine vollkommen sichere Grundlage für die Berechnungen der klassischen Elektrotechnik mit ihren Maschinen und Apparaten. Solange sich die Elektrotechnik mit dem reinen Feld befasst, hat sie keine Berührung mit der Atomistik; sobald aber Ladungen in den Kreis der Betrachtungen gezogen werden, wird sie mit Notwendigkeit zur Atomistik geführt.

In jenen Konstanten σ , ϵ und μ liegt eine neue Welt verborgen: die Welt des Atoms, und mit ihr eine neue Technik: die Elektronik. Diese Welt erschliessen hiess die Elektrotech-

Aperçu général des relations fondamentales entre l'électrotechnique et la physique atomique. La théorie de Maxwell, basée sur la loi de la continuité pure, ne tient pas compte de l'atome. Des considérations dans le domaine atomique sont toutefois indispensables pour comprendre, du point de vue physique, les constantes de Maxwell (constante diélectrique, coefficient de perméabilité, conductivité). Le fait que l'atome est constitué par des charges électriques et maintenu par des forces électriques (électrons, noyau) conduit à l'électronique et à la technique nucléaire, rendant ainsi les relations entre l'électrotechnique et la physique atomique particulièrement précieuses et fécondes, mais il faudra encore bien des années avant qu'elles ne soient parfaitement établies.

nik um fruchtbarste Provinzen bereichern. Die Gewinne für die Elektrotechnik waren: Steigerung der Präzision, Beherrschung der schnellsten Vorgänge, Automatisierung geistiger und manueller Arbeit, Nutzbarmachung kleinster und Erzeugung grösster Energien. Das Atom, aufgebaut aus elektrischen Ladungen und zusammengehalten durch elektrische Kräfte, erwies sich als die Urheimat der Elektrizität. Von diesen Dingen soll in den folgenden Zeilen die Rede sein. Man verzeihe, wenn die gebotene Kürze noch manche Lücken und Wünsche offen liess.

Vor mehr als zweitausend Jahren gab es im alten Griechenland Philosophen, welche die Existenz von Atomen postulierten. Sie gingen in ihren Überlegungen aus vom Satz von der Erhaltung der Materie und vom Satz der Unmöglichkeit unendlicher Teilbarkeit; der Rest war Intuition. Weshalb forderte man nicht die atomistische Struktur der Elektrizität, als ihre Erhaltung bewiesen und ihre Teilbarkeit längst bekannt war? Faraday hat im Jahre 1843 durch seinen «Eiseimer-Versuch» gezeigt, dass elektrische Ladung weder erschaffen noch zerstört werden kann. Diese Tatsache steht an Bedeutung den aus demselben Jahrzehnt stammenden Nachweisen über die Erhaltung der Energie keineswegs nach. Aber die Zeiten hatten sich geändert und mit ihnen das wissenschaftliche Denken. Man war nicht mehr geneigt, Schlüsse zu ziehen, deren Folgen sich nicht überprüfen liessen. Dem Experiment gehörte der Vortritt; die Überlegungen hatten sich den Befunden anzupassen.

Die Befunde sollten nicht ausbleiben. Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit — erst an Flüssigkeiten, dann an Gasen und schliesslich an festen Körpern — brachten wichtige Fortschritte. Sie führten unter anderem zur Entdeckung der Ionen und Elektronen. Faraday schreibt in seinen «Experimental Researches in Electricity»:

«... Eine zweite Art der Leitung kann elektrolytische Entladung genannt werden; bei dieser findet ein chemischer Prozess statt, und die Teilchen müssen in gewissem Grade verschoben werden.»

Im Jahre 1834 veröffentlichte er sein berühmtes Äquivalentgesetz der elektrolytischen Massenabscheidung. Seit Dalton war der Atombegriff in der Chemie geläufig; seit Faraday weiss man um wandernde elektrisch geladene Atome oder Atomgruppen, die Ionen (der Ausdruck stammt von

Faraday) in Lösungen. Die Elektrochemie hatte begonnen. Aber noch war die Grösse der Ionenladungen nicht bekannt. Den entscheidenden Schritt tat *Hermann von Helmholtz*. Anlässlich der Faraday-Gedächtnisfeier, 1881, hielt er in der Royal Institution, am selben Ort, wo *Faraday* so oft zu staunenden Hörern gesprochen hatte, einen Vortrag über «Die neuere Entwicklung von Faradays Ideen über Elektrizität», worin er den Nachweis führte, dass die Ionenladungen, je nach der Wertigkeit des Ions einfache oder mehrfache Beträge einer letzten Ladungseinheit, «Elementarladung» genannt, sein müssten. Zugleich wies er auf den engen Zusammenhang zwischen Valenz und Ionenladung hin. Die Elektrizität hatte also eine atomistische Struktur! Die Elementarladung beträgt $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Wie stand es nun mit der elektrischen Leitfähigkeit der Gase? Es war wiederum *Faraday*, der hierüber als einer der ersten eingehende Versuche machte. Die Gasentladungen erwiesen sich als ebenso faszinierend wie bizarr. Ihr Verständnis schien ausweglose Schwierigkeiten zu bieten. Es zeigte sich nun, dass bei Entladungen in verdünnten Gasen eine unsichtbare Strahlung auftrat, die von der Kathode ausging und sowohl elektrisch wie magnetisch ablenkbar war. Sie erwärmte die Körper, auf die sie traf und erregte an bestimmten Substanzen Fluoreszenzleuchten. Diese Eigenschaft diente als wichtiges Mittel für ihren Nachweis. *Julius Plücker* hat im Jahre 1859 diese Strahlen entdeckt; *Eugen Goldstein* gab ihnen 1876 den Namen «Kathodenstrahlen». Während mehrerer Jahrzehnte blieb ihre Natur umstritten; teils hielt man sie für Korpuskeln, teils für Wellen. Man fühlte aber, dass man ganz neuen Tatsachen gegenüberstand. Der verdiente *J. W. Hittorf* äusserte sich hierüber (1865):

«Täusche ich mich nicht, so sind diese Verhältnisse äusserst günstig, um uns Schlüsse auf den Vorgang des elektrischen Stromes selbst zu gestatten ... und die moderne Physik von ihren letzten Imponderabilien, den elektrischen, zu befreien».

Welcher Optimismus! Und doch, wo wären wir ohne solchen Optimismus der Gelehrten?

Aus genauen Messungen von *Wiechert*, *J. J. Thomson* und anderen ergab sich gegen Ende des letzten Jahrhunderts, dass die Kathodenstrahlen als Korpuskeln betrachtet werden können, begabt mit einer negativen Elementarladung und einer Masse, die nahezu zweitausendmal geringer als die Masse eines Wasserstoffatoms ist. Einen von *J. Stoney* 1890 geprägten Ausdruck verwendend, nannte man diese Teilchen «Elektronen». Waren sie wirklich Atome der Elektrizität? Welches waren ihre weiteren Eigenschaften, und wie waren sie am Aufbau der Materie beteiligt? Was konnten sie nützen?

Hier möge eine Anekdote Platz finden, die *Faraday* zugeschrieben wird:

Eines Tages erhielt er in seinem Laboratorium den Besuch eines hohen Beamten, der mit Interesse seinen Demonstrationen und Erklärungen folgte. Schliesslich fragte der Besucher: «Was nützt das alles, was Sie hier tun; was kann man damit anfangen?», worauf *Faraday* erwiderte: «Mein Herr, so genau weiss ich das auch nicht, aber ich habe das Gefühl,

dass Ihre Nachfolger einmal Steuern davon bekommen werden».

Der Nutzen stellte sich auch ein. Schon 1895 gelang *C. W. Röntgen*, ausgehend von einer Zufallsbeobachtung, die Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen. Sie entstehen beim Auftreffen schneller Elektronen auf harte Materie; ihrer Natur nach sind sie äusserst kurzwelliges Licht. Der Wissenschaft haben sie bei der Erforschung der Struktur der Materie unschätzbare Dienste erwiesen, in der Medizin sind sie ein unentbehrliches Hilfsmittel bei Diagnose und Therapie. Heute hat man ein grosses Interesse an sehr durchdringenden Röntgenstrahlen, die in jeder Beziehung den radioaktiven γ -Strahlen verwandt sind. Zu ihrer Erzeugung sind äusserst schnelle Elektronen notwendig. Solche gewinnt man durch sinnreiche Apparate wie das Betatron, das besonders in Spitätern Verwendung findet.

II

Vakuum, Feld und Elektronen — einfachere physikalische Voraussetzungen lassen sich nicht denken. Wenn es gelang, aus diesen Komponenten eine Technik aufzubauen — und es gelang bald, und auf die mannigfachste Weise —, dann musste diese Technik imstande sein, ganz neue Aufgaben zu lösen, namentlich solche, bei denen es auf Präzision und Geschwindigkeit ankam. Zunächst führte die technische Ausgestaltung der Kathodenstrahlröhre zum Kathodenstrahl-*oszillographen* mit Ablenkplatten, Ablenkspulen und Leuchtschirm. Er registriert heute Vorgänge bis zu Milliardenstelsekunden (Nanosekunden). Er hat eine besondere Art der Weiterentwicklung in der Fernseh-Bildröhre gefunden. Zur Bildwiedergabe nach dem Zeilenrasterverfahren wird die Intensität des Kathodenstrahles und damit die Helligkeit des wandernden Leuchtfleckes durch das Bildsignal elektrisch gesteuert. Die unerlässliche Schärfe dieses Fleckes wird elektronenoptisch erreicht. Dem Verlauf von Lichtstrahlen in der geometrischen Lichtoptik entsprechen Elektronenbahnen in der Elektronenoptik. Der Bild- bzw. Abbildungsbegriff ist derselbe, und zwar besteht er darin, dass Strahlen oder Bahnen, die von einem Punkte ausgehen, durch geeignete Mittel — seien es optische Linsen oder seien es elektrische bzw. magnetische Felder — so beeinflusst werden, dass sie sich wieder in einem Punkt schneiden; dies ist dann der Bildpunkt. Für die bestimmten Arten verwendeter elektrischer oder magnetischer Felder ist der Ausdruck «Elektronenlinsen» eingeführt worden.

Die Elektronenoptik bildet auch die theoretische Grundlage der Elektronenmikroskopie. Das Elektronenmikroskop gleicht äusserlich einem Hochspannungs-Kathodenstrahl-*oszillographen*. Der «Strahlengang» ist demjenigen eines optischen Mikroskops vergleichbar, jedoch mit dem Unterschied, dass die Bahnbüsche sehr wenig geöffnet sind, was zur hohen Abbildungsschärfe viel beiträgt. Ein sehr homogener Elektronenstrahl «beleuchtet» das Objekt, das die Elektronen zum Teil absorbiert, zum Teil ablenkt. Es wirkt dadurch wie ein Selbstleuchter mit einer seiner Struktur entsprechenden Helligkeitsverteilung, so dass auf einem

Leuchtschirm oder auf einer photographischen Platte ein getreues Bild erzielt werden kann. Weit über 10 000fache Vergrösserungen sind nicht ungewöhnlich, was beim optischen Mikroskop ausgeschlossen ist. So öffnet sich dem Biologen, Mediziner, Chemiker, überhaupt den gesamten Naturwissenschaften der Zugang zu einer Welt des Allerkleinsten, der bisher verschlossen war.

Die wichtigste Elektronenquelle ist die Glühkathode im Vakuum. Heisse Metalle emittieren Elektronen, und zwar mit steigender Temperatur in stark zunehmendem Masse. Die Ströme, die man erhält, sind jedoch begrenzt. Erhebliche Leistungen lassen sich nur durch hohe Betriebsspannungen erzielen; die Schaltungstechnik der Glühkathodenröhre ist hochohmig. Die Glühkathoden- oder Elektronenröhre ist in ihren vielfachen Formen und Anwendungen als Diode, Triode und Mehrgitterröhre, als Gleichrichter, Verstärker und Schwingungserzeuger so bekannt, dass sich hier eine ausführliche Darstellung erübrigt. Sie hat dazu beigetragen, das elektrische Nachrichtenwesen in ungeahnter Weise zu vervollkommen und zu erweitern. Kleinste Leistungen von der Grössenordnung 10^{-12} W, die nur wenig über dem natürlichen Rauschpegel liegen, werden einwandfrei und um das viertausendfache verstärkt. Senderöhren in Radio-Großstationen, gebaut für Hunderte von Kilowatt, ermöglichen die Emission von Signalen, welche die Erde umkreisen. Echoverbindungen durch Radarsignale mit den nächsten Planeten sind keine Utopien mehr.

Wo liegen nun die höchsten, mit Mitteln der Elektronik herstellbaren Wechselstromfrequenzen, und wo beginnt der Bereich der atomaren Emissionen der Optik? Die Brücke ist heute geschlagen; der Übergang findet im Gebiete der Mikrowellen, also bei den Zentimeter- und Millimeterwellen statt. Eine Wellenlänge von 3 cm, entsprechend einer Frequenz von zehn Milliarden Perioden pro Sekunde, ist noch eine technische Frequenz und in der Radartechnik geläufig. Mikrowellen lassen sich durch Hohlspiegel gebündelt senden und durch Hohlspiegel einfangen. Sie dienen der Flugzeugortung (Radar: Radio Detection and Ranging), der Vermessung und den Richtstrahlverbindungen mit Relaisketten. Die Anwendung der Radartechnik in der Astronomie hat sich als ausserordentlich fruchtbar erwiesen, das erforschte Gebiet des Weltraums wurde dadurch rund verzehnfacht. Es werden von sog. Radiosternen oder Radionebeln Signale aufgenommen aus Entfernungen, die in einzelnen Fällen nach Milliarden von Lichtjahren zählen. Der Nachweis der Spiralstruktur unseres Milchstrassensystems stützt sich wesentlich auf die Ergebnisse der Radioastronomie.

Mikrowellen werden aber auch von Atomen und Molekülen emittiert und absorbiert. Berühmt ist die kosmische Wasserstoffstrahlung von 21,1049 cm Wellenlänge; sie wurde durch Berechnungen vorausgesagt. Mikrowellenspektroskopie bildet eine Ergänzung zur Ultrarotspektroskopie. Tausende von Spektrallinien, also molekulare Eigenfrequenzen, sind bereits vermessen. Sie geben Auskunft über die energetische Bindung zwischen einzelnen Molekülteilen. Sie ermöglichen die Berechnung von Trägheitsmomenten, unter Um-

ständen sogar der Konstitution von Molekülen. Mehr und mehr erschliesst sich eine Technik, bei der die Gesetze der klassischen Elektrodynamik durch die Regeln der Quantenlehre ergänzt werden müssen.

Nach Bohr kann ein molekulares Gebilde nur strahlen, wenn es sich in einem «angeregten», d. h. mit Energie angereicherten Zustand befindet. Die Auswahl dieser Zustände geschieht nach Quantenvorschriften. Beim Emissionsprozess fällt der Strahler auf einen weniger energiereichen Zustand zurück. Frequenz v der emittierten Strahlung und Energie-differenz ΔW der Zustände sind dabei durch die grundlegende Beziehung verknüpft:

$$\Delta W = h\nu$$

h Plancksches Wirkungsquantum ($6,624 \cdot 10^{-34}$ Js).

Setzt man ein angeregtes Atom oder Molekül dem Wechselfeld einer von aussen zugeführten Welle aus, deren Frequenz genau einer Eigenfrequenz des angeregten Gebildes entspricht, so erfolgt Synchronisierung, d. h. die Phase der Emission richtet sich nach der Phase der Einstrahlung. Wenn nun durch einen Kunstgriff in der Versuchsanordnung eine erhebliche Anreicherung angeregter Zentren gelingt, so muss sich, ausgelöst durch die synchronisierende Welle, eine Gesamtemission von ungewöhnlicher Intensität ergeben, denn während beim «natürlichen» Licht die Einzelemissionen zeitlich ungeordnet erfolgen und sich daher durch Interfrequenz in ihrer Wirkung weitgehend aufheben, verstärken sich nun wegen der Phasengleichheit alle von den einzelnen Zentren ausgehenden Wellen. Man gelangt so zum molekularen Verstärker, «Maser» genannt (Maser: Molecular Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Zwei Merkmale sind an ihm wichtig: die Konzentration angeregter Zentren (Energiesatz) und die Synchronisierung der Emission durch eine «stimulierende» Schwingung (Phasenbilanz). Im optischen Bereich spricht man von «optischem Maser» oder «Laser» (Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Die Erfindung geht, was für die moderne Physik kennzeichnend ist, auf theoretische Erkenntnisse zurück. Die erste erfolgreiche Versuchsanordnung gelang 1954/55 Gordon, Zeiger und Townes mit dem Ammoniak-Maser.

Bemerkenswert ist nun, dass man durch ein Rückkopplungsverfahren einen Teil der verstärkten Strahlung wieder zur «Stimulierung» bzw. Phasensteuerung verwenden kann und so schliesslich Selbsterregung einer Strahlung von ausserordentlicher Intensität und enormer Frequenzkonstanz erhält. Die äussere Energiezufuhr für den Prozess, d. h. die Anregung der Strahlungszentren, geschieht auf verschiedene Weise durch eine primäre Quelle, die wohl sehr intensiv, aber nicht spektralrein zu sein braucht. Der Maser wird sowohl als Gasmaser wie als Festkörpermaser ausgeführt. Eine bekannte Anwendung ist die Atomuhr mit ihrer hohen, von technischen Normen unabhängigen Genauigkeit. Die mit Maser-Schwingungen erreichte Frequenzstabilität beträgt $1 : 10^{10}$, gemessen über ein längeres Zeitintervall. Dies würde

einer Abweichung von einer Sekunde in 300 Jahren entsprechen. Beim optischen Maser lassen sich durch Fokussierung der Strahlung auf einen Fleck von etwa 0,1 mm Durchmesser Beleuchtungsstärken herstellen, durch deren Hitzeentwicklung in kürzester Zeit auch schwere Metalle schmelzen oder verdampfen. An solchen Stellen erreicht die elektrische Feldstärke der Lichtwelle Werte bis zu 10^6 V/cm. Für die elektrische Nachrichtentechnik eröffnen sich neue, eigenartige Perspektiven.

III

Im Laufe des vergangenen Jahrzehntes wurde die Elektronenröhre, namentlich in ihrer Eigenschaft als Gleichrichter und einfacher Verstärker, weitgehend durch die Halbleiterdiode und den Transistor abgelöst. Der Gewinn besteht im Wegfall von Vakuum und Heizung und in minimem Raumbedarf. Damit hatte die Elektrotechnik des Atoms einen wichtigen Schritt vorwärts getan. Der Transistor ist ein glänzendes Beispiel dafür, wie rasch heute atomphysikalische Erkenntnisse von der Industrie aufgenommen und selbstständig weiterentwickelt werden. Diese Weiterentwicklung bedeutete gerade beim Transistor eine ausserordentliche Leistung. Seine Entstehung knüpft an Probleme der Leitfähigkeit fester Körper, insbesondere der Kristalle, an. Wann ist ein fester Körper ein Leiter, wann ein Halbleiter und wann ein Isolator? Immer sind es frei bewegliche Ladungsträger, vor allem Elektronen, die den Strom vermitteln. Im festen Körper sind die Elektronen auf Energiestufen verteilt. Im Gegensatz zu den Verhältnissen im Einzelatom sind diese Energiestufen aber so zahlreich und liegen teilweise so dicht, dass man von Energiebändern spricht. Sind alle Energiebänder voll besetzt, so gibt es keine freien Elektronen, und der Körper ist ein Isolator. Wenn jedoch das oberste, energiereichste Niveau nicht restlos aufgefüllt ist, so können zusätzliche Elektronen dort Platz finden und sich unter dem Einfluss eines von aussen aufgeprägten Feldes vorwärts bewegen: der Körper leitet. In besonders hohem Masse ist dieses bei Metallen der Fall.

Zum Bau von Transistoren verwendet man in der Regel Kristalle aus Germanium oder, mehr und mehr, aus Silizium, die beide chemisch vierwertig sind. In vollkommen reinem Zustand sind beide Nichtleiter. «Dotiert» man sie mit Spuren von Fremdatomen eines chemischen Elementes aus einer benachbarten Vertikalkolonne des periodischen Systems, z. B. mit Antimon, Phosphor oder Arsen (fünfwertig) bzw. mit Bor, Gallium oder Indium (dreiwertig), so entsteht ein bestimmtes Leitvermögen, das im ersten Fall durch überzählige Elektronen («Überschuss-Elektronen»), in letzterem Fall durch wandernde Fehlstellen («Löcher», «Defektelektronen») zustande kommt. Die «Defektelektronen» wirken wie bewegliche positive Ladungen. Es dürfte nicht uninteressant sein, hier zu vermerken, dass die Ausdrücke «positiv elektrisch» und «negativ elektrisch» von *Benjamin Franklin*, dem Vater des Blitzableiters stammen (1747), und dass er den einen Zustand als Folge eines Überschusses, den andern als Folge eines Mangels derselben Art von Ladung betrachtete.

Kristalle mit Überschusselektronen-Leitung bezeichnet man als n-Kristalle ($n = \text{negativ}$), solche mit Defektelektronen-Leitung als p-Kristalle ($p = \text{positiv}$). Bei inniger Berührung eines n-Kristalls mit einem p-Kristall bildet sich an der Trennfläche infolge Trägerdiffusion eine elektrische Doppelschicht und damit ein Potentialsprung aus, der verhindert, dass weitere Träger die Kontaktstelle überschreiten können; diese Tatsache ist von fundamentaler Bedeutung. Eine solche Kombination kann als Gleichrichter wirken. Legt man den positiven Pol einer äusseren Spannung an den n-Kristall, den negativen Pol an den p-Kristall, so werden die Träger von der Kontaktstelle weggezogen. Die Grenzschicht verbreitert sich, verarmt an Trägern und die Kristallkombination wird stromundurchlässig. Bei umgekehrter Polung der äusseren Spannung werden von beiden Seiten der Kontaktstelle Träger zugeführt; die Grenzschicht wird abgebaut, und der Strom kann fliessen. Diese Darstellung gibt natürlich nur ein rohes Bild der Verhältnisse. Schon *Ferdinand Braun* kannte 1875 die Gleichrichtereigenschaften bestimmter Sulfide; der «Kristalldetektor» spielte in den Pionierzeiten der drahtlosen Telegraphie beim Empfang eine wichtige Rolle. Doppelschichten treten ganz allgemein in Berührungsgebieten zweier verschiedenartiger Körper auf; sie bilden auch das Grundphänomen der Reibungselektrizität und damit des ersten menschlichen Wissens um elektrische Erscheinungen.

Ein Gleichrichter wird zum Verstärker, wenn es gelingt, den Strom im Durchlassbereich durch einen Zusatzmechanismus zu steuern. Bei der Glühkathodenröhre bildet das Steuergitter diesen Zusatz; die Diode wird dann zur Triode. In der Kristalltechnik fügt man zwischen zwei n-Kristalle die dünne Schicht eines p-Kristalles ein oder zwischen zwei p-Kristalle eine n-Kristallschicht. So entsteht die Kristalltriode oder der «Transistor». Der Mittelkristall heisst «Basis» und ist in seinen Funktionen dem Gitter der Glühkathoden-Triode vergleichbar, während die beiden andern Kristalle, als «Emitter» und «Kollektor» bezeichnet, ungefähr der Kathode und der Anode der Vakuum-Triode entsprechen. Die genauen Funktionen und Schaltmöglichkeiten ergeben sich aus den Kennlinien.

Der Transistor hat sich grosse Gebiete der elektrischen Nachrichtentechnik (Empfang), der Automatik (Steuerungen), der Messtechnik (Anzeigen) und des elektronischen Rechenwesens (Datenverarbeitung) erobert. Ohne Transistor keine Satelliten und keine gesteuerten Raketen. Frequenzmäßig ist er bis zur Milliardstelsekunde vorgestossen; räumlich nimmt er mit einem Volumen vorlieb, das kleiner ist als ein Stecknadelkopf. Zur Technik der Nanosekunde gesellt sich die Miniaturtechnik. Besonders eindrücklich zeigen dies z. B. die grossen modernen Rechenmaschinen mit ihrer hochentwickelten Digitaltechnik.

Wenn man einen Gleichstrom ein- und gleich wieder ausschaltet, entsteht ein Stromimpuls. Es eröffnen sich nun völlig neue Möglichkeiten, wenn es gelingt, diese Schaltoperation äusserst schnell, Millionen von Malen in der Sekunde, auszuführen bei Bewahrung einer guten Rechteckform der

Stromkurve. Mit Elektronenröhren, vorzüglich aber mit Transistoren, lässt sich dies erreichen. So entsteht eine besondere Art der Impuls-Rechentechnik, die Digitaltechnik. Die dabei weiter verwendeten Schaltelemente, in der Regel Kondensatoren und Widerstände, sind äusserst einfach, aber ihre Kombinationen mit Kristalldioden und Transistoren sind von einer erstaunlichen Vielfalt. Entsprechend vielfältig ist die Fülle der Anwendungen. Man kann die Impulse zählen, speichern, sortieren, man kann Zahlensysteme aus ihnen aufbauen, man kann sie multiplizieren und dividieren. Das Wort «digit» ist englisch und bedeutet sowohl Ziffer wie Finger. Ob diese Doppelbedeutung wohl aus Zeiten stammt, als man noch mit Strichen rechnete oder sich die Resultate an den Fingern abzählte? Der kluge *Ernst Mach* sagte 1882 in einem Vortrag über «Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung»:

«Die elementarste wie die höchste Mathematik ist ökonomisch geordnete, für den Gebrauch bereit liegende Zahlerfahrung... Jede mathematische Aufgabe könnte durch direktes Zählen gelöst werden.»

Jahrzehnte später hat die elektronische Rechentechnik den Beweis dazu geliefert.

Die für die Nanosekunden-Impulstechnik in modernen digitalen Datenverarbeitungsmaschinen entwickelten Transistoren besitzen Flächen von Emitter und Kollektor von weniger als $0,01 \text{ mm}^2$, wobei die Dicke der Basis weniger als $1 \mu\text{m}$ beträgt. Sie besitzen sog. Mesa- oder Planarform. Ihre Massenfertigung bei höchster Präzision stellt ganz besondere Probleme, die nur durch vollständige Automation der Herstellung lösbar sind. Die Rechenmaschine, die das europäische Kernforschungszentrum CERN für seine wissenschaftlichen Zwecke erhält, kann in einer Sekunde mehr als eine Million arithmetischer Operationen ausführen. Sie wird die grösste ihrer Art in Europa sein und 23 Millionen Franken kosten.

IV

Bisher war in unseren Betrachtungen vom Atomkern nicht die Rede. Für die Zwecke der Elektronik genügt es, zu wissen, dass ein Atomkern positiv geladen ist, und zwar mit einer Zahl von Elementarladungen, die seiner Stellenzahl im periodischen System entspricht, und dass er ferner im wesentlichen die gesamte Masse des Atoms enthält. Der Kern bildet eine neue Welt für sich. Sein Durchmesser beträgt rund 10^{-13} cm , was etwa dem hunderttausendsten Teil des Gesamtdurchmessers des Atoms entspricht. Und trotzdem lässt er sich zerlegen und analysieren.

Man unterscheidet durchaus die Kerntechnik von der Elektronik. Bildlich gesprochen könnte man die Elektronik eine extrovertierte Technik, die Kerntechnik eine introvertierte Technik nennen. Die Elektronen vermitteln einen grossen Teil der Beziehungen des Atoms nach aussen; ohne Schwierigkeiten lassen sie sich teilweise von ihm ablösen und sind mannigfachen Anwendungen leicht zugänglich. Ihre Technik ist schnell. Elektronische Apparate sind populär und häufig Erzeugnisse qualifizierter Massenfertigung; man denke an Radio und Fernsehen. Das Elektron ist der Figaro der Elektrotechnik, es ist ihr vielseitigster, treuester und flinkster Diener. Im Gegensatz dazu thront der Kern in der Mitte des Atoms, unnahbar, kompliziert in seinem Innern

und mit ungeheurer Macht begabt. Die Kerntechnik ist höchst anspruchsvoll, sie verlangt eine ungewöhnliche Konzentration der Mittel; ihre Schöpfungen sind stolze Einzelkonstruktionen. Sie ist berufen, Ausserordentliches zu leisten.

Vorläufer der Kernforschung war die Forschung über radioaktive Strahlung; radioaktive Strahlung entsteht im Kern. Im Jahre 1896 beobachtete *Henri Becquerel* zufällig, dass von einer Uranverbindung eine Strahlung ausging, die durch dunkles Papier hindurch die photographische Platte schwärzte. Den Untersuchungen über diese «Becquerelstrahlen» schloss sich bald das Ehepaar *Marie* und *Pierre Curie* mit grösstem Erfolg an. Die radioaktiven Eigenschaften von Thorium wurden nachgewiesen, das Radium und das Polonium entdeckt. Patente wurden keine genommen. Anlässlich der Weltausstellung in Paris 1937 wurden im Palais de la Découverte die ursprünglichen Geräte und Einrichtungen des Curieschen Laboratoriums gezeigt. Man staunte: So viel Geist und so geringe Mittel! Wichtigstes Messinstrument war eine einfache Ionisationskammer mit Blattelektroskop.

Als es Rutherford 1919 gelang, Stickstoffkerne durch Beschuss mit α -Teilchen in Kerne des Sauerstoffisotops der Massenzahl 17 zu verwandeln, wobei jeweils ein Wasserstoffkern grosser Reichweite — ein Proton — frei wurde, da stand man am Beginn einer neuen Ära. Der Weg zur Kerntechnik war gewiesen; das Mittel, dessen man sich zu bedienen hatte, bestand in Beschuss und Zertrümmerung von Kernen durch Teilchen höchster Geschwindigkeit. Dabei gilt die fundamentale Regel, dass man eine um so höhere Energie des Geschosses benötigt, je kleiner das zu treffende Objekt ist. *Rutherford* selbst hat damals nicht an technische Möglichkeiten seiner Entdeckung geglaubt. Wer konnte voraussehen, dass *O. Hahn* und *F. Strassmann* 1938 an Uran 235 eine Kettenreaktion finden würden, die direkt zum Kernreaktor und zur Atombombe führen sollte? Die Entwicklung war zwangsläufig. Es gehört zur Tragik der tief verwurzelten Gegensätzlichkeiten alles Irdischen, dass eine wissenschaftliche Tat, die berufen scheint, eines der wichtigsten Probleme unserer auf Technik aufgebauten Existenz zu lösen, nämlich die Energieversorgung auf lange Sicht, begleitet sein muss vom Schatten unfassbarer Zerstörungskraft. Die Bewältigung dieses Gegensatzes stellt sich als eine der grossen Zukunftsaufgaben unserer Kultur.

Der Kernreaktor gehört keineswegs ausschliesslich der Elektrotechnik an. Er verlangt das Zusammenwirken einer ganzen Reihe von technischen Gebieten. Gerade diese Tatsache macht die Reaktortechnik so vielseitig und so anziehend. Ist auch der Anteil der Elektrotechnik erheblich — man vergesse dabei die Regel- und die Messtechnik nicht —, so müssen wir uns doch ein näheres Eingehen versagen und wollen uns dafür der Kerntechnik zuwenden. Die Kerntechnik braucht neuartige Beschleunigungsmaschinen, daneben eine ausgedehnte Starkstromversorgung, automatisch registrierende Messgeräte, elektronische Rechenanlagen zur Auswertung der Resultate und vieles andere mehr. Hier ist die Elektrotechnik engste Mitarbeiterin. Da wird, möchte man sagen, der Ingenieur zum Physiker und der Physiker zum Ingenieur.

In der Kernforschung geht es um letzte Fragen der Materie, gewissermassen um ihre Urgeschichte. Man gebe sich Rechenschaft darüber, was es heisst, in ein Gebiet eindringen zu wollen, dessen räumliche Dimensionen sich jeder direkten Messung entziehen und in welchem die Vorgänge, die sich abspielen, in den Einzelheiten nicht anschaulich vorstellbar sind. Es zeugt von der hohen Kraft des menschlichen Geistes, dass er hier das scheinbar Unmögliche zu leisten imstande ist. Die Forschungsprogramme können etwa in die folgenden Stichworte zusammengefasst werden: Spektroskopie der Nukleonen (Protonen und Neutronen) — Schwache Wechselwirkungen (radioaktiver Zerfall) — Kernkraftquanten (Mesonen) — Antimaterie. Diese Andeutungen umfassen Bände gegenwärtigen Wissens und künftiger Aufgaben.

Der Kern ist aufgebaut aus Protonen und Neutronen. Diese Bestandteile werden zusammengehalten durch Kräfte besonderer Art, verschieden von den elektromagnetischen oder den Gravitationskräften; man nennt sie Mesonen oder Kernkraftquanten. So wie den elektromagnetischen Kräften die Lichtquanten zugeordnet sind, so sind die Mesonen die Quanten der Kernkräfte.

Die Nukleonen, also Protonen und Neutronen, besitzen eine bestimmte Struktur. Sie können durch energetische Einwirkung in «angeregte» Zustände versetzt werden. Bei der Rückkehr in den Grundzustand emittieren sie dann, wie angeregte Atome, Strahlung, aber in der Regel nicht Licht, sondern Mesonenstrahlung. Die Kernphysik kennt nicht nur Verwandlung von Materie in Energie, was ja zu den Grundphänomenen des Reaktors und der Sonnenwärme gehört, sondern auch von Energie in Materie. Dieser Prozess liefert aber ein Doppelergebnis, nämlich sowohl Materie wie Antimaterie. Materie und Antimaterie unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen, was heissen will, dass diejenigen Grössen, die im einen Fall positiv sind — Ladungen, Massen, Kräfte usw. —, im andern Fall negativ auftreten. Ein Anti-Wasserstoffatom besteht aus einem negativen Kern (Antiproton) und einem positiven Elektron (Positron). Beim Zusammentreffen verwandeln sich Materie und Antimaterie wieder gemeinsam zu Energie. Das alles sind höchst wunderbare Tatsachen —, Ergebnisse exakter experimenteller Forschung, die noch weiter gedeutet werden müssen.

V

Der Bau von Beschleunigungsmaschinen stellt dem Ingenieur zahlreiche sehr interessante, aber auch sehr schwierige Aufgaben. Das Studium bereits ausgeführter Anlagen ist überaus lehrreich; es gibt kaum ein Gebiet der modernen Elektrotechnik, das hier nicht massgebend zu Worte käme. Mit Recht sprechen die Physiker von Hochenergiephysik. Es handelt sich darum, Gruppen von geladenen Teilchen, z. B. Protonen oder Elektronen, auf die grösste, mit technischen Mitteln erreichbare Geschwindigkeit zu bringen. Zu diesem Zwecke müssen die Teilchen Spannungsdifferenzen durchlaufen, die in ihrer Gesamtheit nach Millionen und Milliarden Volt zählen. Man pflegt die gewonnene Energie in «Elektronenvolt» (eV) auszudrücken; sie ist gleich der Arbeit, die beim Transport eines mit der Elementarladung

e versehenen Teilchens über die Spannungsdifferenz V Volt geleistet wird. Die Einheit «ein Elektronenvolt» beträgt $1,602 \cdot 10^{-19}$ J.

Zur Erreichung der Endenergie bedürfen die Teilchen eines sehr langen Beschleunigungsweges. Der neue, für einen Elektronenstrahl von 20 GeV berechnete Linearbeschleuniger der Universität Stanford soll eine Länge von über 3 km erhalten. Die sich ergebenden Schwierigkeiten kann man durch Zirkularbeschleuniger umgehen, d. h. durch Anlagen, bei welchen die Teilchen in Kreisbahnen geführt werden. Die Kreisbahnen werden durch geeignete Magnetfelder erzwungen. Der Aufwand ist beträchtlich. Die Anlagen müssen ganz allgemein gepulst werden, da die erforderlichen Leistungsbeanspruchungen nur kurzzeitig tragbar sind. Die Gesamtbeschleunigung wird auf einzelne, längs der Bahn angebrachte Hochfrequenz-Hohlraumresonatoren aufgeteilt, welche auf die Teilchen im Augenblick des Passierens jeweils Impulse übertragen. Sowohl Frequenz wie Phase der Schwingungen in den Resonatoren müssen eindeutig auf den Bahnumlauf der Teilchen bezogen, «synchronisiert» sein. Beschleunigungsmaschinen diesen Typs werden als «Synchrotron» bezeichnet. Auch die Magnetfelder werden geregelt. Ferner finden sich zahlreiche weitere und kunstvolle Vorkehrungen, unter welchen nicht zuletzt die wichtige Stabilisierung des Strahls zu nennen ist. Auf Endgeschwindigkeit angelangt, werden die Teilchen auf das zu untersuchende Objekt (Target) abgelenkt. Die entstehenden Teilstrahlungen werden in einzelnen Sektoren ausgeblendet, magnetisch aufgefächert und mit speziellen Messgeräten weiter untersucht. Schliesslich erfolgt die umfangreiche mathematische Behandlung der Resultate.

Es bestehen jedoch für Elektronen- und Protonenbeschleuniger einige grundsätzlich verschiedene Gesichtspunkte. Dies liegt in der Verschiedenheit der Massen von Protonen und Elektronen begründet. Bei gleichen Kräften erfährt das zweitausend Mal leichtere Elektron eine etwa zweitausend Mal grösse Beschleunigung. Es erreicht daher verhältnismässig rasch Geschwindigkeiten, die der Lichtgeschwindigkeit schon ausserordentlich nahe kommen; relativistische Massenzunahme und Energieverluste durch elektromagnetische Strahlung spielen dann eine Rolle. Als *Albert Einstein* 1905 seine ersten Arbeiten über Relativitätstheorie veröffentlichte und die Äquivalenz von Masse und Energie, sowie die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit forderte, da war die Auffassung allgemein, dass diese Schlussfolgerungen die Bereiche der Technik nicht berührten; heute gehören sie zum Bestande des Ingenieurwissens.

Schnellste Elektronen eignen sich zur Untersuchung der Struktur von Kernen, insbesondere auch von Nukleonen, durch das Mittel der Streuung. Mit dem Eindringen in den inneren Aufbau dieser Teilchen hat sich die schwerwiegende Frage gestellt, ob sie wirklich letzte Bestandteile der Materie sind, wofür man sie bisher gehalten hat. Das Deutsche Elektronen-Synchrotron in Hamburg-Bahrenfeld, das seinen Betrieb demnächst aufnehmen wird, ist für 6 GeV Elektronenenergie geplant und wird nach seinem endgültigen Ausbau 1965 mit 7,5 GeV der grösste aller Elektronenbeschleuniger sein. Die Elektronen werden mit einer Energie von 40 MeV

(Vorbeschleuniger) in eine Kreisbahn von 100 m Durchmesser geschleudert; ihre Geschwindigkeit weicht dann bereits von der Lichtgeschwindigkeit nur um den Faktor 10^{-4} ab. Die Umlaufszeit beträgt 1,05 μ s; nach etwa 10 000 Umläufen ist die Endenergie von 6 GeV erreicht.

Dem schwereren Proton kommt bei gleicher Geschwindigkeit eine rund zweitausend Mal grössere kinetische Energie zu als dem Elektron. Seine Wirkung auf den Kern gleicht einem furchtbaren Hammerschlage. Es dient daher vor allem den Zwecken der Kernzertrümmerung und der damit verbundenen Forschung nach neuen Teilchen. Die Schweiz hat das Glück, in Meyrin bei Genf das europäische Kernforschungszentrum CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire) zu beherbergen, das ein 28-GeV-Protonen-Synchrotron besitzt. Diese Riesenmaschine gehört neben denjenigen in Brookhaven (USA) und in Dubno (UdSSR) zu den grössten in ihrer Art. Doch haben die europäischen Physiker bereits Pläne für einen Beschleuniger von 300 GeV entworfen.

Das Protonen-Synchrotron des CERN ist häufig beschrieben worden; einige kurze Angaben mögen hier genügen. In einem Ringtunnel aus Beton, der mit einem Schutzwall aus Erde überdeckt ist und auf konstanter Temperatur gehalten wird, befindet sich ein ringförmiges, hochevakuiertes Stahlrohr, in welchem die Protonen ihre Kreisbahnen beschreiben. Der Radius beträgt 100 m. In dieses Rohr werden die Protonen, aus einer Ionenquelle stammend und durch einen Linearbeschleuniger auf 50 MeV vorbeschleunigt, mit fast einem Drittel der Lichtgeschwindigkeit als Pakete von 10^{10} bis 10^{11} Teilchen stossweise eingeschossen. Hundert Magnetseinheiten, die längs der Bahn aufgestellt sind, sorgen für richtige Ablenkung und für Konstanthaltung der Bahnkrümmung. Der Beschleunigungsprozess erfolgt stufenweise und phasengerecht durch die elektrischen Felder von 16 Hochfrequenz-Hohlraumresonatoren; dass man zur Erregung der letzteren nicht die Umlauffrequenz, sondern deren zwanzigste Harmonische verwendet, ist durch technische Erwägungen begründet. Je Umlauf wird ein Energiezuwachs von 50 keV erreicht. Die zunehmende Geschwindigkeit erfordert ein proportionales Anwachsen der magnetischen Feldstärken, welche schliesslich bis auf das Dreifache ihres Anfangswertes ansteigen; die Teilchen besitzen dann nahezu Lichtgeschwindigkeit. Es ist die einzelne Umlaufbewegung, nach der sich alles richten muss, wie z. B. die Frequenz und Phase der Schwingungen in den Beschleunigungsresonatoren, ferner auch die Stärke der magnetischen Felder. Ein grossartiger Regelmechanismus spielt sich hier ab. Nach etwa einer Sekunde ist der gesamte Beschleunigungsprozess beendet; die Magnete werden abgeschaltet, und nach wenigen Sekunden beginnt ein neuer Zyklus. Je nach Betriebsart beträgt die totale Dauer eines Zyklus drei oder fünf Sekunden.

Nun lassen sich leicht einige Überschlagsrechnungen anstellen. Um bei einem Energiegewinn von 50 keV je Umlauf auf eine Endenergie von 28 GeV zu gelangen, braucht es 560 000 Umläufe; aus der Länge von 628 m des einzelnen Umlaufes ergibt sich dann eine gesamthaft zurückgelegte Strecke von 352 000 km, das ist neun Zehntel des Abstandes von der Erde zum Mond. Bei Beginn des Beschleunigungs-

vorganges beträgt die Geschwindigkeit, wie erwähnt, nicht ganz ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit (genau 91 000 km/s) woraus sich eine Umlaufszeit von 6,9 μ s berechnet, die dann am Schluss auf 2,1 μ s sinkt. Die entsprechenden Umlauffrequenzen steigen von 145 000 s $^{-1}$ auf 478 000 s $^{-1}$.

Noch einige Zahlen. Der Beton-Ringtunnel hat ein Eigen-gewicht von 5000 t; die hundert Ablenkungsmagnete wiegen zusammen 3800 t; der Spulenstrom in den Magneten beträgt 5000...6400 A und die ihnen zugeführte Spulenleistung 27 bzw. 34,6 MW; die Ausrichtung der Magnete hat auf den zehntel Millimeter genau zu erfolgen, was die Grenze des Möglichen bedeutet; die gesamte Hochfrequenzleistung der 16 Resonatoreinheiten macht 112 kW bei 6,3 kV Scheitelwert der Beschleunigungsspannung aus (die Beschleunigung selbst findet auf halber Amplitudenhöhe statt); der Strahlquer-schnitt misst ganz wenige Zentimeter im Durchmesser.

CERN ist eine Anlage für Forschung auf lange Sicht. Es sind schon hervorragende Resultate gewonnen worden und Grosses ist noch zu erwarten. Vielleicht wird dann auch einmal das Geheimnis der Elektrizität gelüftet werden. Die alten Griechen würden nicht zögern, eine solche Stätte als ein Weltwunder zu bezeichnen. —

VI

Die Elektrizitätslehre beginnt mit der geriebenen Glasstange, die Elektrotechnik mit der Reibungselektrisiermaschine. Rätselvoll und unverständlich war alles. Grosser Begeisterung und Bewunderung auf der einen Seite standen auch Skepsis und Ablehnung auf der andern gegenüber. Goethe schrieb 1808 in seiner Farbenlehre:

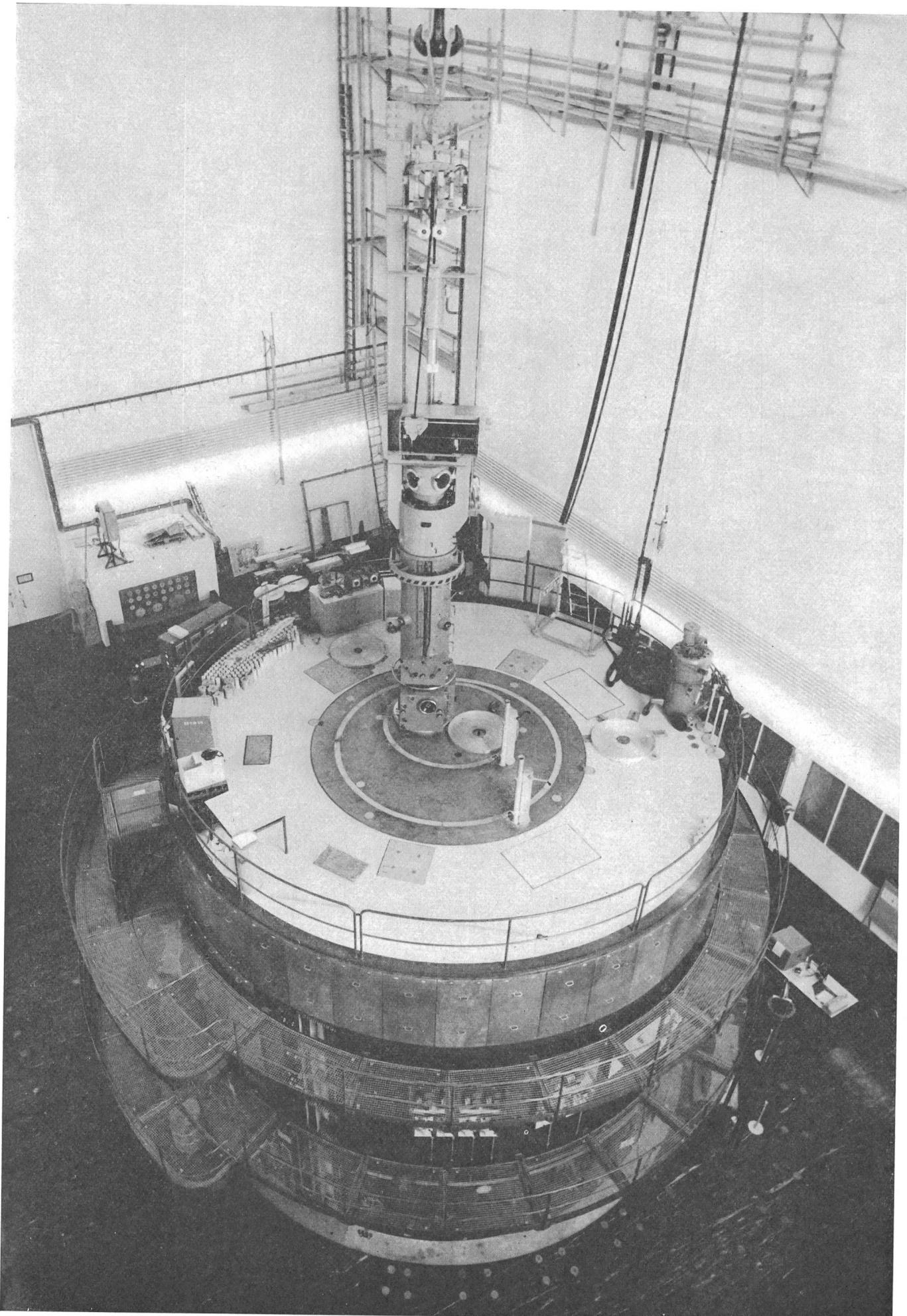
«Das Elektrische, als ein Gleichgültiges, kennen wir nicht. Es ist für uns ein Nichts, eine Null, ein Nullpunkt, ein Gleichgültigkeitspunkt, der aber in allen erscheinenden Wesen liegt und zugleich Quellpunkt ist, aus dem bei dem geringsten Anlass eine Doppelerscheinung hervortritt, welche nur insofern erscheint, als sie wieder verschwindet.»

Welche Dialektik des Dichterfürsten! Aber zu jener Zeit hatte Volta bereits die Wirkungen der Kontaktelktrizität erkannt und die Stromerzeugung durch galvanische Elemente gelehrt. Doch auch von da an war es noch ein weiter Weg, verbunden mit einer gewaltigen Summe von Arbeitsleistung, bis zur Elektronik und zur Kerntechnik unserer Tage. Dass dieser Weg überhaupt zurückgelegt wurde, ist ein wesentliches Verdienst ausgezeichneter Menschen, die unbirrt innerster Berufung folgend ihn suchten und fanden. Denn es bewahrheitet sich auch hier: der Wille zur Forschung ist eine Frage der geistigen Haltung, und der Wille zur Gestaltung ein Auftrag der Schöpfung an den Menschen.

Die Zeit des Einzelforschers im stillen Laboratorium ist vorüber. Elektrotechnik und Atomphysik waren einmal weit getrennt, heute arbeiten sie Hand in Hand; keines ist mehr ohne das andere zu denken. Der äussere Stil hat sich für beide geändert, doch nicht ihr erstes Gesetz: die Hingabe an die Sache. Wer aber plant, der vergesse die Worte des weisen Chuang-tse nicht, nämlich:

Wenn Du für ein Jahr planst, säe Korn;
Wenn Du für ein Jahrzehnt planst, pflanze Bäume;
Wenn Du für ein Leben planst, forsche, erziehe und bilde Menschen.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. F. Tank, Frohburgstrasse 174, 8057 Zürich.



Versuchsreaktor Diorit in Würenlingen