

## POWELLS neue Elementarformen der Materie

Bei unseren Ausführungen stützen wir uns auf den von Prof. Dr. F. C. POWELL, Bristol, anlässlich der dritten, vom 29. Juni bis 3. Juli 1953 durchgeführten Tagung der Nobelpreisträger in Lindau gehaltenen Vortrag über «Freiballonflüge in großen Höhen».

### Einleitung

Die Entdeckung des Atomkerns und seiner künstlichen Spaltung durch RUTHERFORD und seine Mitarbeiter und die Entdeckung des Neutrons durch CHADWICK ergaben in der Hauptsache die Umriss für das Bild vom Atom, wie wir es heute sehen. Es ist ein

Bild von auffallender Einfachheit. Alle Atome bestehen aus Kernen, die im neutralen Atom von Elektronen umgeben sind und die wir uns in verschiedenen Energiestufen in Bahnen kreisend denken können; die Kerne selbst wieder sind aus Protonen und Neutronen zusammengesetzt. Diese Entdeckungen gehören zu den größten Triumphen der schöpferischen Vorstellungskraft, aber sie führen uns auch zu ernstesten und tiefgehenden Fragen. Wie ist die in einem Kern herrschende Ordnung beschaffen? Welche Kräfte bringen den zwischen Nukleonen (Neutronen und Protonen) beobachteten Zusammenhalt hervor? Warum ist die Größe der Ladung

des Protons der des Elektrons gleich, und warum ist das Verhältnis ihrer Massen 1836 zu 1? Und wie können wir die  $\beta$ -Aktivität jener radioaktiven Kerne erklären, die sich bei der Aussendung eines Elektrons verändern, da doch das Elektron nicht als ein Bestandteil des Kerns angesehen wird? Dies sind einige von den Problemen, die uns RUTHERFORD und seine Mitarbeiter hinterlassen haben.

In den letzten fünfzehn Jahren hat sich herausgestellt, daß das Problem der Atomstruktur noch schwieriger ist, als man in den ersten Jahren nach 1930 hätte annehmen mögen. Wir wissen jetzt, daß es außer den Protonen und Neutronen, welche die Kerne bilden, und außer den diese umgebenden Elektronen noch andere Arten von Teilchen gibt, die wir Mesonen nennen. Die aus dem Griechischen stammende Bezeichnung besagt, daß die Masse dieser Teilchen zwischen jener des Elektrons und des Protons liegt. Wenn wir die Masse des Elektrons als Einheit annehmen, so liegen die Massen der Mesonen zwischen 1 und 1836, da die letztere Zahl der Masse des Protons entspricht.

Die Mesonen sind äußerst instabile Formen von Materie. Sie leben in der Regel kürzer – oft viel kürzer – als eine Millionstelsekunde und gehen dann in eine andere Form der Materie oder der Energie über. Diese große Unstabilität verhinderte ihre Entdeckung, ehe man genügend wirksame Methoden für ihren Nachweis und ihre Messung entwickelt hatte. Trotzdem entstehen die Mesonen nicht aus dem Nichts und verschwinden nicht, ohne eine Spur zu hinterlassen. Die Gleichwertigkeit von Masse und Energie und das Prinzip der Erhaltung von Masse-Energie, das durch die Relativitätstheorie aufgestellt worden ist, bleiben auch Ecksteine der Kernphysik. Mesonen können nur entstehen auf Kosten von Energie jenes Systems, in dem sie auftreten, und sie zerfallen, indem sie sich in andere Formen von Materie oder Energie verwandeln.

Mesonen werden erzeugt, wenn sehr energiereiche Protonen mit anderen im Atomkern vorhandenen Protonen oder Neutronen zusammenstoßen. Um sie studieren zu können, brauchen wir daher eine Quelle für sehr energiereiche Protonen, und diese finden wir entweder in großen Cyclotronen oder in der kosmischen Strahlung. Ein Regen von Atomkernen bricht aus dem kosmischen Raum hervor oder fällt mit starker Energie geladen in die oberen Schichten der Atmosphäre ein. Darin sind alle Arten von Elementen enthalten, die wir aus dem Periodischen System kennen, bis zur Nummer 26 oder 28 (Eisen oder Nickel), aber Protonen und  $\alpha$ -Teilchen (Heliumkerne) sind am zahlreichsten. Elemente, die schwerer sind als Eisen, kommen nicht vor. Wenn sie auch verhältnismäßig nicht sehr zahlreich sind, so sind doch die meisten Teilchen mit wesentlich höherer Energie geladen als alle, die wir heute künstlich beschleunigen können. Tatsächlich haben einzelne Teilchen mehr als die zehntausendfache Energie jener Protonen, die man mit dem großen Proton-Synchrotron,

das in Genf gebaut werden soll, beschleunigen kann. Die Methoden der Mesonengewinnung, einerseits durch Beschleunigungsanlagen und andererseits aus der kosmischen Strahlung, ergänzen einander. Der besondere Zweck der Experimente an kosmischer Strahlung ist die Erforschung der Erscheinungen, die sich nur bei Teilchen in der Region höchster Energie zeigen, einschließlich der Erzeugung verschiedener Arten von Mesonen. Die Durchführung dieser Methode ist die Aufgabe, die sich Professor POWELL mit seinen Mitarbeitern gestellt hat. Das Studium der Mesonen und ihrer Eigenschaften steht heute im Mittelpunkt des Interesses in jenem Zweige der Forschung, der sich mit der Struktur der Materie befaßt.

#### Die experimentelle Methode

Beim Studium der Mesonen ist nicht nur das Problem zu lösen, wie Quellen energiereicher Teilchen zur Beschließung der Atomkerne erhalten werden, sondern es sind auch Methoden zum Nachweis der Teilchen nötig. Die drei wichtigsten Methoden sind:

WILSONkammer,  
GEIGER- und andere elektrische Zähler und  
photographische Emulsion.

*Photographische Methode.* Für die Experimente in großen Höhen, die POWELL beschrieb, hat die photographische Methode den Vorteil, daß sie im Prinzip sehr einfach ist und nur ein Minimum an Apparaten erfordert. Wenn ein geladenes Teilchen durch die photographische Emulsion hindurchgeht, durchquert es die Silberhalogenkristalle und bringt in ihnen längs der Bahn eine ganz geringfügige Änderung hervor. Bei der Entwicklung der photographischen Platte werden diese veränderten Körnchen in schwarze Silberkörnchen verwandelt. So kommt es, daß nach der Entwicklung bei der Prüfung unter dem Mikroskop die Bahn der hindurchgegangenen geladenen Teilchen durch eine Spur von schwarzen Körnchen gekennzeichnet ist. Mit zunehmender Erfahrung und Übung lernt der Experimentierende die Spuren verschiedener Teilchen genau so zu erkennen und ihrer Art nach zu bestimmen, wie ein Jäger die Spuren der verschiedenen Tiere im Schnee erkennt. In der Anwendung dieser Methode bei Experimenten in großen Höhen muß man nur die Platten in einer schützenden Hülle an einem Ballon befestigen. Die schnellen Teilchen der kosmischen Strahlung sind so durchdringend, daß sie in der Regel durch die Platten und ihr Futteral hindurchgehen. In der Emulsion verursachen sie häufig Kernzusammenstöße und erzeugen Mesonen. Nach dem Flug werden die Platten zusammengesucht, entwickelt und unter dem Mikroskop geprüft. Die Auswertung der Platten einer üblichen Versuchsreihe beschäftigt in der Regel eine Gruppe von etwa zwanzig Beobachtern mehrere Monate lang. Aus der vorhergehenden Beschreibung geht hervor, daß es in gewissem Sinne irreführend ist, wenn man diese Me-

thode als «photographisch» bezeichnet, da doch keine Kamera benutzt wird. Die Emulsion ist im wesentlichen nur ein empfindliches Medium, das die Spuren der geladenen Teilchen erkennbar macht. Die Bezeichnung «photographisch» rührt nur davon her, daß die Emulsion jener zur Herstellung gewöhnlicher photographischer Platten ähnelt und daß sie von der photographischen Industrie hergestellt wird. Die photographische Methode ist heute eine der wirksamsten in der Physik der Elementarteilchen.

*Experimente mit Ballonen.* Für die Erforschung der kosmischen Strahlung ist es von großem Vorteil, wenn man photographische Platten durch Freiballone in große Höhen bringt, um erstens schwere Kerne zu erfassen, zweitens Sekundärercheinungen auszuschalten und drittens Aufklärung über den Ursprung der kosmischen Strahlung zu erhalten. Zur Erreichung dieser Ziele sind Höhen über 24 km erforderlich. Besonders vorteilhaft erwiesen sich Ballone aus Plastic-Material (Polyäthylen).

Die Vorteile, welche die Flüge in großen Höhen unter Anwendung der photographischen Methode gewähren, können noch erhöht werden, wenn man solche Flüge in verschiedenen magnetischen Breiten durchführt. So ist es für Experimente über die Entstehung der schweren Mesonen ein großer Vorteil, wenn man die Spuren der Teilchen von geringerer Energie so viel wie möglich von den aufzeichnenden photographischen Platten fernhalten kann, da sie auf der photographischen Platte einen unerwünschten Hintergrund von Spuren bringen, die bei der Prüfung unter dem Mikroskop stören. Das magnetische Feld der Erde gibt die Gewähr, daß bei einer gegebenen magnetischen Breite nur stärker energiegeladene Teilchen sich der Atmosphäre nähern können. In Großbritannien ist diese «Ausschaltung» für Protonen nicht einmal 1 BeV<sup>1</sup>, im mittleren Mittelmeer ungefähr 3 BeV und am magnetischen Äquator etwa 14 BeV. Daher sind Flüge in südlichen Breiten ein ganz besonderer Vorteil.

Um diese Erkenntnisse in die Tat umzusetzen, wurde von POWELL im Mai–Juni 1952 eine Expedition nach Italien (Sardinien) unternommen, wo eine Anzahl von Ballonen aufgelassen wurde. Die Ausrüstung fiel dann mit Fallschirmen ins Meer nach einer vorbestimmten, in großer Höhe verbrachten Zeit. Ein Schiff der italienischen Flotte übernahm die Wiederauffindung der Ausrüstung, nachdem es durch ein Flugzeug an den betreffenden Platz im Meer beordert worden war<sup>2</sup>.

### Die verschiedenen Mesonentypen und ihre Eigenschaften

Die Geschichte der Entwicklung unserer Kenntnis der Mesonen gibt ein deutliches Bild von dem ineinander-

<sup>1</sup> 1 BeV = 10<sup>9</sup> Elektronvolt. Die kosmische Strahlung wird auf 30 000 BeV geschätzt, während von Beschleunigungsanlagen des Genfer kernphysikalischen Laboratoriums 30 BeV erwartet werden.

<sup>2</sup> Ein Film zeigte das Auflösen der Ballone und die Wieder- einbringung der technischen Ausrüstung.

greifen von Theorie und Experiment, das ein Hauptmerkmal der wissenschaftlichen Methode ist. Die Existenz dieser Teilchen wurde von dem japanischen Physiker YUKAWA im Jahre 1935 als Ergebnis theoretischer Überlegungen vorausgesagt, und erst später wurden diese Teilchen von ANDERSON und NEDDERMEYER bei Versuchen an kosmischen Strahlen entdeckt. Die Grundzüge von YUKAWAS Überlegungen, die seither die Theorie der Kernphysik beherrscht haben, waren folgende: YUKAWA wußte, daß die Kernkräfte, d. h. die Kräfte zwischen den Nukleonen (Protonen und Neutronen), von nur kurzer Reichweite sein müssen; sie müssen also abnehmen in dem Maße, wie die Entfernung zwischen den in Wechselwirkung stehenden Teilchen zunimmt, und zwar schneller als Gravitations- oder elektrische Kräfte, die bekannten Gesetzen gehorchen. Auf dieser Grundlage und durch die Entwicklung einer Analogie zwischen Kernkräften einerseits und elektromagnetischen Kräften andererseits zog YUKAWA die Schlußfolgerung, daß in der Natur freie Teilchen vorhanden sein müßten mit einer Masse von ungefähr 150 und mit einer elektrischen Ladung. Es ist allgemein bekannt, daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen Elektrizität und Licht besteht, ein Zusammenhang, der sich aufs deutlichste zeigte, als MAXWELL nachwies, daß das Verhältnis der elektromagnetischen zu den elektrostatischen Einheiten der elektrischen Ladung gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Analog den Photonen oder Strahlungsquanten des elektromagnetischen Kraftfeldes sollten nach YUKAWAS Ansicht im Kraftfeld der Nukleonen freie Teilchen bestehen, die er, um die Analogie mit dem Licht zu betonen, «schwere Quanten» nannte. Sie sollten sich von gewöhnlichen Quanten dadurch unterscheiden, daß sie Masse und elektrische Ladung besitzen. Als ein weiteres Unterscheidungsmerkmal nahm er an, daß die Teilchen instabil wären, denn dies ermöglichte ihm, die Radioaktivität einiger Arten von Kernen zu erklären, nämlich jener, die bei Aussendung eines Elektrons zerfallen.

*$\mu$ -Mesonen.* Ein oder zwei Jahre nach dieser Arbeit (1936–1938) entdeckten ANDERSON und seine Mitarbeiter in Kalifornien instabile Teilchen in der kosmischen Strahlung, die Eigenschaften zeigten ähnlich denen, die YUKAWA vorausgesagt hatte. Wir nennen sie jetzt  $\mu$ -Mesonen, und die neueste Bestimmung ihrer Masse ergibt einen Wert von  $209 \pm 2$ . Die Instabilität der Teilchen wurde von WILLIAMS und ROBERTS in Aberystwyth festgestellt; sie wiesen im Jahre 1940 nach, daß die Teilchen, wie YUKAWA vorausgesagt hatte, sich spontan in ein Elektron und ein Neutron oder in mehrere solcher umwandeln. Später lernte man die durchschnittliche Lebensdauer dieser Mesonen zu messen, und der gefundene Wert, etwa zwei Millionstelsekunden, war auch von der vorher angenommenen Größenordnung. Diese Erfolge schienen eine glänzende Bestätigung von YUKAWAS Gedanken zu sein, aber als dieses Gebiet nach

dem Kriege durchforscht wurde, stellten sich ernste Schwierigkeiten heraus, von denen die folgende die wichtigste war. Wenn die  $\mu$ -Mesonen als identisch mit den «schweren Quanten» zu betrachten wären, dann müßten sie in den Zusammenstößen schneller Nukleonen mit Atomkernen entstehen und müßten in starker Wechselwirkung stehen zu jedem beliebigen Kern, mit dem sie zusammenprallen. Aber die Versuche ergaben, daß sie durch Hunderte von Kernen glatt hindurchgehen können, ohne auf sie einzuwirken. Dies zeigte uns, daß die  $\mu$ -Mesonen, ganz gegen unsere Erwartung, nur eine schwache Wechselwirkung mit Nukleonen haben. Das führt zu folgendem Widerspruch: Wenn sie nur eine schwache Wechselwirkung haben, dürften sie nicht in Zusammenstößen von schnellen Protonen und Neutronen mit Kernen erzeugt werden. Wie sind sie dann aber entstanden? Da sie instabil sind, können sie nicht aus dem kosmischen Raum in die oberen Schichten der Atmosphäre eintreten – sie können keine primäre kosmische Strahlung sein. Woher mögen sie kommen?

*$\pi$ -Mesonen.* Diese Schwierigkeiten wurden teilweise behoben durch die von POWELL im Jahre 1947 in Bristol gemachte Entdeckung einer neuen Art von Teilchen, die wir  $\pi$ -Mesonen nennen. Sie sind schwerer als die  $\mu$ -Mesonen und besitzen nach letzten Ermittlungen eine Masse von 275. Die Experimente von Bristol erwiesen, daß diese Teilchen direkt in den Zusammenstößen von schnellen Protonen oder Neutronen mit Kernen erzeugt werden, und in dieser Hinsicht ähneln sie YUKAWAS Teilchen. Ferner zeigte es sich, daß sie mit fast jeder Art von Kernen, mit denen sie zusammenprallen, in Wechselwirkung treten und daß sie instabil sind mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von ungefähr zwei Hundertsteln einer Mikrosekunde ( $2 \cdot 10^{-8}$  s).

Diese Ergebnisse legten POWELL nahe, daß die  $\pi$ -Teilchen mit YUKAWAS schweren Quanten identisch sein müssen. Aber noch gab es eine störende Eigenschaft: YUKAWA hatte angenommen, daß seine Teilchen unter Aussendung eines Elektrons zerfallen. Statt dessen verwandelten sich die  $\pi$ -Mesonen nicht in ein Elektron, sondern in ein  $\mu$ -Meson und ein leichtes neutrales Teilchen (ein Neutrino). Dies gab eine Erklärung für die Entstehung der  $\mu$ -Mesonen in der kosmischen Strahlung. Sie entstehen, während sie in Bewegung sind, aus  $\pi$ -Teilchen, welche das direkte Produkt von Kernzusammenstößen sind, aber man fand keinen Platz für die  $\mu$ -Mesonen in YUKAWAS Theorie. Wieder zeigte sich die Natur reicher an Formen als unsere kühnsten Erwartungen.

In den letzten drei oder vier Jahren sind viele Abänderungen und Erweiterungen an YUKAWAS Theorie vorgenommen worden, und einige davon haben wertvolle Hinweise für die Experimente über die genauen Eigenschaften der  $\pi$ -Teilchen geliefert. Diese Experimente wurden ermöglicht, nachdem die Teilchen in Kalifornien im Jahre 1948 künstlich erzeugt worden

waren durch die Beschießung der Materie mit den schnellen Protonen und  $\alpha$ -Teilchen, die in dem großen Cyclotron in Berkeley gewonnen worden waren. Aber die Behauptungen der Theorie haben niemals mehr als einen qualitativen Hinweis geliefert. Es kam niemals zu einem plötzlichen glänzenden theoretischen Erfolg, wie ihn MAXWELL hatte in bezug auf Elektrizität und Licht oder BOHR in der Erklärung der Spektrallinien des Wasserstoffs, was uns zeigen würde, daß ein wesentlicher Fortschritt in der Entwicklung unserer Ideen gemacht worden ist. Dieser Mangel eines entscheidenden Erfolgs hat das unsichere Gefühl zur Folge gehabt, daß die theoretische Erweiterung, die YUKAWAS Auffassungen zugrunde liegt, vielleicht ungesund ist, und er selbst hat vorgeschlagen, daß, trotz der anfänglichen vielversprechenden Erfolge, sie in der neuen Situation irreführend sein könnte.

*Weitere Elementarteilchen.* Die Unsicherheit der theoretischen Auffassung nahm noch zu, als experimentelle Beweise sich häuften, daß es außer den  $\pi$ - und  $\mu$ -Mesonen noch andere Arten von instabilen Teilchen gibt; daß es eine große Vielzahl davon gibt, deren Existenz und Eigenschaften eine befriedigende Theorie erklären müßte. So beschrieben im Jahre 1947 ROCHESTER und BUTLER in Manchester eine Beobachtung an kosmischer Strahlung, die sie mit einer WILSON-Kammer gemacht hatten. Diese schien anzuzeigen, daß es schwere neutrale Teilchen gibt, die nach sehr kurzer Lebensdauer in zwei geladene Teilchen zerfallen. Eine zweite Beobachtung schien darzulegen, daß ein geladenes Teilchen, schwerer als ein  $\mu$ -Meson, spontan in ein leichteres Teilchen und in irgendeine Form eines neutralen Teilchens zerfiel. Diese geladenen und ungeladenen Teilchen wurden V-Teilchen genannt. Später, im Jahre 1949, zeigte POWELL in Bristol, daß es auch ein schweres Meson mit einer Masse von ungefähr 1000 gibt, welches sich in drei geladene Teilchen umwandelt. Es wurde  $\tau$ -Teilchen genannt. Einige Zeit hindurch blieb die anfängliche Feststellung dieser schweren Teilchen ohne Stütze, aber 1949 und 1950 bestätigten Experimente von ANDERSON und seinen Mitarbeitern in Kalifornien und von den Physikern in Manchester die Existenz der geladenen und ungeladenen V-Teilchen.

Zu Anfang des Jahres 1952 gewannen die in Manchester arbeitenden Wissenschaftler auch einen wichtigen Nachweis dafür, daß es zwei Arten von neutralen V-Teilchen gibt, eine mit der Masse von ungefähr 2200, die in ein Proton und ein negatives  $\pi$ -Meson zerfällt, und eine zweite Art mit der Masse 800, die in ein Paar von positiven und negativen  $\pi$ -Mesonen zerfällt. Ein neutrales Teilchen kann zugleich mit den geladenen Teilchen in der letzteren Umwandlung auch ausgesandt werden, aber das ist noch nicht ganz feststehend. Das geladene V-Teilchen kann entweder eine positive oder eine negative Ladung haben, und seine Masse scheint bei ungefähr 1000 zu liegen.

Die Masse der  $\tau$ -Mesonen wurde auf ungefähr 978 festgelegt. Die Teilchen zerfallen mit ziemlicher Bestimmtheit in drei  $\pi$ -Mesonen. Ferner hat O'CEALLAIGH in Bristol kürzlich einen sehr guten Nachweis für ein schweres geladenes Teilchen mit der Masse von ungefähr 1150 gefunden, das in ein  $\mu$ -Meson und zwei oder mehrere neutrale Teilchen zerfällt. Diese Art von schweren Mesonen nennt er « $\kappa$ -Teilchen». Es ist möglich, daß  $\kappa$ -Mesonen und geladene V-Teilchen identisch sind, aber das steht noch nicht ganz fest.

Eine wichtige Schlußfolgerung, die sich aus den neuen Experimenten zu ergeben scheint, besteht darin, daß immer dann, wenn energiereiche Protonen (über 10 BeV) mit Kernen zusammentreffen, ein beträchtlicher Bruchteil der Energie, die in Mesonen umgewandelt wird, als schwere Teilchen (V,  $\kappa$  oder  $\tau$ ) erscheint. Noch bis vor kurzem hatten POWELL gedacht, daß sich fast immer nur die leichteren  $\pi$ -Teilchen ergeben würden. Diese Entdeckungen zeigen, daß außer den stabilen Teilchen, wie das Proton und das Elektron, in der Natur mehrere, vielleicht sogar viele Arten instabiler Teilchen vorhanden sind. Diese Vielfalt erscheint uns heute als eine Ansammlung empirischer Tatsachen ohne irgendwelchen Zusammenhang, und dies zeigt uns deutlich die Unzulänglichkeit unserer jetzigen theoretischen Auffassung. Denn wir können darauf vertrauen, daß die festgestellten Tatsachen einer zugrunde liegenden Einheitlichkeit entsprechen, die uns heute noch unklar ist, die wir aber bald entdecken werden. Es ist wahrscheinlich, daß die augenblicklichen theoretischen Schwierigkeiten nur durch eine gänzlich neue Theorie gelöst werden können, daß wir eine der großen Entdeckungen in der theoretischen Physik zu erwarten haben, ähnlich der Entdeckung der Relativitätstheorie oder der Quantenmechanik, und daß dadurch ein vollständiger Bruch mit unseren gewohnten Denkweisen herbeigeführt wird. Solch ein Fortschritt, der zu einer Erklärung der instabilen Formen von Materie führt, kann auch den Schlüssel zu so wesentlichen Fragen liefern, wie diese, warum das Proton 1836mal so schwer wie das Elektron ist, und warum das negative Proton, wenn es überhaupt besteht, so selten ist.

In der gegenwärtigen Situation ist es nach POWELL am wichtigsten, weitere Tatsachen über die schon entdeckten Teilchen zu sammeln und die Möglichkeit der Entdeckung neuer Arten nicht aus den Augen zu verlieren. Man hat noch keinen Ausweg aus YUKAWAs theoretischen Gedankengängen gefunden, aber die Erweiterung unserer Kenntnisse über die Mesonen kann die notwendige Anregung gewähren und inhaltvolle Regelmäßigkeiten ans Licht bringen über den inneren Zusammenhang der Massenzahlen der Teilchen oder ihre sonstigen Eigenschaften. Zum Zwecke dieser Erweiterung unserer Kenntnis müssen wir uns gegenwärtig auf Experimente an der kosmischen Strahlung verlassen, denn

nur hier finden wir genügend energiereiche Teilchen, um schwere Mesonen zu erzeugen. Experimente mit Ballonen sind besonders wichtig, weil in den großen Höhen die aus dem kosmischen Raum kommenden Protonen und andere Kerne seit Eintritt in die Atmosphäre nur wenig von ihrer ursprünglichen Energie verloren haben. Daher erzeugen sie schwere Mesonen viel häufiger, als wenn sie erst in die Höhenlage der Gebirge hinunterkommen. Außer der Erforschung der kosmischen Strahlung kann es jedoch bald zur Anwendung einer zweiten Methode kommen. Die großen Proton-Synchrotrone, die jetzt gebaut werden, sollen genügend energiereiche Protonen erzeugen, um V-,  $\kappa$ - und  $\tau$ -Teilchen hervorzu bringen, so daß Versuche unter kontrollierbaren Bedingungen bald ausgeführt werden können.

In der 1926 erschienenen Ausgabe des wohlbekannten Buches über die Leitung der Elektrizität in Gasen sprechen Sir JOSEPH und Sir GEORGE THOMSON kurz über das Thema der kosmischen Strahlung, die damals noch ganz unerforscht war. Sie bemerkten zu dieser Entdeckung, daß sie das Ergebnis einer exakten und auf den ersten Blick lohnenden Forschung des Leitvermögens der Luft sei. Sie erwähnen, «es würde einer der dichterischen Einfälle der Wissenschaft sein, wenn die Erforschung dieser winzigen und unbeachteten Mengen von Elektrizität, die aus gut isolierten Körpern entweichen, das Mittel sein sollte, mit dem man einige der grundlegenden Probleme des Universums erforschen könnte». «Wenn wir die außerordentliche Fruchtbarkeit der Arbeit auf diesem Forschungsgebiet in den Jahren nach 1926 überblicken, erscheinen diese Bemerkungen wie eine glänzende Vorhersage», erwähnte POWELL.

Nach POWELL dürften wir uns einem neuen und entscheidenden Abschnitt in der langen Geschichte des Eindringens in die Struktur der Materie nähern. Wir können noch nicht sagen, ob die verschiedenen Arten von Mesonen und ihre Eigenschaften als unwiderlegliche Tatsachen aufgefaßt werden müssen, da die theoretische Behandlung nur eine Beschreibung der Beziehungen zwischen den verschiedenen Arten der Teilchen liefert. Er glaubt aber, daß es uns gelingen wird, ein viel tieferes Verständnis zu erlangen, durch das wir die empirischen Tatsachen über die Elementarteilchen als den Ausdruck einer fundamentalen Ordnung erkennen werden. Diese Entdeckung wird uns nicht nur über die flüchtigen Formen der Materie – die Mesonen und V-Teilchen – Aufschluß gewähren, sondern dazu beitragen, die Probleme, die uns die stabilen Formen noch bieten, zu lösen. «Die Menschheit hat die Materie in Atome zerlegt, die Atome in Kerne und Elektronen, die Kerne in Protonen und Neutronen. Vielleicht lernen wir bald in die Struktur des Protons noch weiter einzudringen», schloß POWELL seine Ausführungen.

H. MOHLER