ORDEN POUR LE MÉRITE
FÜR WISSENSCHAFTEN UND KÜNSTE

REDEN UND GEDENKWORTE

ZWEIUNDZWANZIGSTER BAND
1987 – 1989

VERLAG LAMBERT SCHNEIDER · GERLINGEN

REDE VON
HENDRIK B. G. CASIMIR

HENDRIK B. G. CASIMIR

ERGEBNISSE UND PROBLEME DER HEUTIGEN PHYSIK

1979 wurde in Berlin der hundertste Geburtstag von Albert Einstein, Max von Laue, Otto Hahn und Lise Meitner feierlich begangen. Man hatte mich damals aufgefordert, in der Eröffnungssitzung zu reden über die Entwicklung der Physik während der ersten zwei Dezennien unseres Jahrhunderts, also während einer Periode, in der ich mich noch nicht aktiv mit der Physik beschäftigte. Heute, genau ein Dezennium später, ist es meine Aufgabe, über die Entwicklung der Physik in den letzten Dezennien zu sprechen, also während einer Zeit, in der ich mich immer weniger aktiv mit der Physik befaßte.

In beiden Fällen kann man also von einer gewissen Distanz zum behandelten Thema reden. Hoffen wir, daß diese Distanz, obwohl schädlich für genaue Fachkenntnisse, wenigstens eine gewisse Objektivität verbürgt.

Ich möchte zunächst kurz auf meine damalige Darstellung usw. zurückgreifen. Ich betonte, daß um die Jahrhundertwende die sogenannte klassische Physik einen vorläufigen Abschluß erreicht hatte. Es handelt sich dabei um die Mechanik, einschließlich der makroskopischen – d. h. nicht atomistischen – Elastizitätstheorie, Hydro- und Aerodynamik und physikalische Akustik; um die Elektrodynamik, einschließlich der Optik; um die Wärmelehre. Große Teile dieser klassischen Physik waren schon zu unentbehrlichen Hilfsmitteln

der Ingenieurswissenschaft geworden. Atome wurden hingegen meistens als hypothetische Modelle betrachtet. Einige hervorragende Forscher – ich nenne Wilhelm Ostwald und Ernst Mach – betrachteten sie sogar als unnütze Modelle. Ludwig Boltzmann war sich dessen wohlbewußt. In der Einleitung seiner berühmten Vorlesungen über Gastheorie schreibt er: »Darum freie Bahn für jede Richtung, weg mit jeder Dogmatik in atomistischem und antiatomistischem Sinne! Indem wir obendrein die Vorstellungen der Gastheorie als mechanische Analogien bezeichnen, drücken wir schon durch die Wahl dieses Wortes deutlich aus, wie weit wir von der Vorstellung entfernt sind, als träfen sie in allen Stücken die wahre Beschaffenheit der kleinsten Theile der Körper.« Andererseits hat der niederländische Theoretiker und Nobelpreisträger Van der Waals betont, daß er nie an der Realität der in seiner Theorie der Gase figurierenden Teilchen gezweifelt hat.

Aber, ob reale Teilchen oder nicht, man war davon überzeugt, daß die Gesetze der klassischen Physik auch für Atome und im Inneren der Atome gültig seien. Das war eben der Sinn der mechanischen Modelle. Also, hypothetische Atome, bekannte Gesetze.

Im Lauf der betrachteten Zeitspanne wurde es aber immer deutlicher, daß es sich bei Atomen nicht um hypothetische Modelle, sondern um reale Teilchen handelt, Teilchen, die man allerdings nur einigermaßen indirekt und mit schwer bewaffnetem Auge zu sehen bekommt. Gleichzeitig wurde es aber auch immer deutlicher, daß bei atomaren Vorgängen die klassischen Gesetze versagen. Statt mit hypothetischen Atomen und bekannten Gesetzen war man zwei Dezennien später konfrontiert mit realen Atomen, aber weitgehend unbekannten Gesetzen. Das scheint mir der wesentliche Zug der Entwicklung zu sein. Während der zwanziger Jahre wird dann die nächste Stufe erreicht: De Broglie und Schrödinger, Heisenberg, Born und Dirac erschaffen die neue Quantenmechanik, die für Atome Ähnliches leistet wie die Newtonsche Mechanik für das Sonnensystem. Der Durchbruch wurde erreicht, indem der Angriff sich zunächst konzentrierte auf Atome und deren Spektren, ein Angriff, der schon in 1913 mit den

ersten Arbeiten von Niels Bohr über den Bau und das Spektrum des Wasserstoffatoms eingesetzt hatte.
In den folgenden Dezennien erweitert sich dann das Anwendungsgebiet der neuen Mechanik mehr und mehr, und das stimuliert auch die Experimentalphysik! Um nun einen Überblick über die heutige Physik zu erhalten, kann man am besten ausgehen vom Atom, bestehend aus einem Atomkern und den ihn umkreisenden Elektronen. So kann man mehrere Forschungsgebiete unterscheiden, je nachdem man sich beschäftigt mit Atomen, mit aus Atomen aufgebauten Molekülen, mit aus Molekülen aufgebauten Gasen und Flüssigkeiten, oder auch mit aus Atomen oder Molekülen aufgebauten festen Körpern. Und schließlich kann man die Erde verlassen und sich der Astrophysik und der Kosmologie zuwenden. Man kann auch in der anderen Richtung gehen. Dann kommt man zunächst zur Kernphysik, und schließlich zur Physik der Teilchen und Felder, auch als »high energy physics« – Physik der hohen Energien – bezeichnet.
Auf allen diesen Gebieten gibt es eine rege Forschungsaktivität, sowohl experimentell als theoretisch. Überall gibt es viele Forscher, von denen die meisten sich auf eines dieser Gebiete oder gar auf ein Teilgebiet spezialisiert haben. Bei dem ständigen Wachsen unserer Kenntnisse ist eine Spezialisierung leider unvermeidlich, will man wirklich etwas Neues leisten. In diesem Vortrag kann ich die erwähnten Gebiete nur ganz oberflächlich skizzieren.
Atomphysik. Den Bau der Atome und die Atomspektren kann man mit immer größerer Genauigkeit untersuchen. Von besonderem Interesse sind die Details der Wechselwirkung mit dem elektromagnetischen Strahlungsfeld, wobei man heutzutage sogar imstande ist, das Verhalten von einzelnen Atomen zu untersuchen. Laser sind dabei sowohl Gegenstand der Forschung als nützliche Hilfsmittel. Bei manchen Versuchen auf diesem Gebiet – ich erwähne speziell diejenigen von Allain Aspect – tritt die Eigenart der quantenmechanischen Beschreibungsweise besonders deutlich hervor. Die Theorie wurde dabei immer bestätigt.
Molekülphysik ist ähnlich, aber Bau und Spektren sind in mancher

Hinsicht komplizierter. Hier stößt man auch auf das Problem der chemischen Bindung. Mit hinreichender Arroganz könnte man behaupten, daß durch die neueren Fortschritte der Physik die Chemie zu einem Kapitel der Physik geworden ist. (Der Chemiker wird allerdings darauf antworten, daß im Gegenteil die Physik als eine manchmal nützliche, aber sich selber sehr überschätzende Hilfswissenschaft der Chemie betrachtet werden muß.)

Gase und Flüssigkeiten, ursprünglich das Gebiet der kinetischen Gastheorie, die soviel zur Akzeptierung des Atombegriffes beigetragen hat. Dazu brauchen wir sie nicht mehr. Gegenstand der Forschung sind vor allem die Einzelheiten der Phasenübergänge, die sowohl experimentell als theoretisch untersucht werden, wobei die Theorie große mathematische Schwierigkeiten zu überwinden hatte und hat. Einen ganz besonderen Platz nehmen dabei die Untersuchungen über flüssiges Helium ein. Da macht sich nämlich die Quantelung merkbar bei makroskopischen – das heißt in der Sprache der Physiker, ohne Mikroskop beobachtbare und ohne Erwähnung der Atome beschreibbare – Erscheinungen.

Festkörperphysik. Der große, vielfach bewunderte und auch gefürchtete Theoretiker Wolfgang Pauli pflegte zu sagen: »Ich mag diese Physik des festen Körpers nicht ..., zwar habe ich damit angefangen.« Und als ein Mitarbeiter den Einfluß von Verunreinigungen auf die elektrische Leitfähigkeit untersuchen wollte: »Das ist ja ein Dreckeffekt, und ein junger Theoretiker soll sich nicht im Dreck wälzen.« Trotzdem herrscht gerade auf dem Gebiet der festen Körper eine große und fruchtbare Aktivität, wobei auch der Einfluß kleinster, genau dosierter Mengen von Verunreinigungen eine wesentliche Rolle spielt. Ferromagnetismus und Supraleitung, Eigenschaften dünner Schichten und Oberflächenerscheinungen und vor allem die Eigenschaften der Halbleiter werden sowohl experimentell als theoretisch gründlich untersucht. Auch hier begegnet man – zum Beispiel bei der Supraleitung und bei dem Quantum-Halleffekt – makroskopischen Quanteneffekten.

Ich habe eine bunt schattierte – und, ich fürchte, verwirrende – Reihe von Untersuchungen aufgezählt. Nun haben aber die bis hier-

her angedeutenden Erscheinungen, trotz aller Verschiedenheit, einen wesentlichen gemeinsamen Zug: Heutzutage ist fast jeder Physiker fest davon überzeugt, daß auf den genannten Gebieten sämtliche bekannte und noch zu entdeckende Erscheinungen sich auf Grund der Quantenmechanik der Atome deuten lassen, wobei es ausschließlich elektromagnetische Kräfte gibt, die allerdings in sehr verschiedener Tarnung erscheinen können.

In extremer Form könnte man sagen: Eine experimentelle Anordnung, um ein Spektrum zu messen oder um die magnetischen Eigenschaften einer Metallegierung zu bestimmen, ist nichts anderes als eine »analoge« Rechenmaschine, um eine komplizierte Schrödingergleichung zu lösen. Sind wir Physiker da zu überheblich? Jedenfalls sind wir uns fast ausnahmslos einig. Auch können wir anführen, daß Ähnliches zutrifft für die Gleichungen der Newtonschen Mechanik, die, abgesehen von winzigen relativistischen Effekten, noch immer ausreichen, um die Bahnen der Planeten und ihrer Satelliten zu berechnen. Andererseits mahnen viele Erfahrungen zur Bescheidenheit. Die Entdeckung einer neuen Familie von supraleitenden Materialien, die bis zu wesentlich höheren Temperaturen als die bis dahin bekannten supraleitend, also ohne jeglichen elektrischen Widerstand sind, wurde nicht vorhergesagt, war eine völlige Überraschung, und auch heute ist die theoretische Deutung noch wenig befriedigend. Sogar auf dem Gebiet der klassischen Physik ist man neuerdings auf unerwartete Einzelheiten gestoßen, die man unter dem Modeausdruck »Chaos« zusammenfassen kann. Es kommt mir vor, daß das Verhältnis zwischen den chaotischen Erscheinungen und der Quantenmechanik nicht völlig geklärt ist, aber vielleicht ist das eben nur ein Beispiel für meinen Mangel an Fachkenntnissen.

Es bleibt aber die folgende Frage: Kann man den Standpunkt, den ich für Atome und Moleküle und Festkörper vertrete, auch verteidigen, wenn es sich um Lebewesen handelt, zum Beispiel um die komplizierten Vorgänge, die sich im menschlichen Gehirn abspielen? Oder ist es so, daß die Theorie dort nur grobe statistische Aussagen machen kann und daß innerhalb des von der Statistik zugelassenen

Spielraums andere, ganz außerhalb der Quantenmechanik stehende Gesetzmäßigkeiten bestehen, die unserem Bewußtsein entsprechen? Persönlich neige ich zu dieser zweiten, in Holland speziell von dem zuerst als Flugzeugkonstrukteur hervorragenden Theoretiker J. H. Greidanus verteidigten Auffassung, weiß aber, daß die meisten Fachleute auf diesem Gebiet mir nicht beistimmen werden. Wahrscheinlich werden sie meine Auffasung als längst überholten Vitalismus oder als Mystizismus bezeichnen.

Wir sind vom Atom zu größeren Strukturen gegangen. Wir können aber auch in der anderen Richtung gehen. Dann ist die nächste Stufe die Untersuchung der Atomkerne, die Kernphysik. In der Atomphysik kann man den Kern zunächst als eine in einem Punkt konzentrierte Ladung und Masse auffassen. Um die letzten Feinheiten der Spektren zu verstehen, muß man dann in Betracht ziehen, daß der Kern auch ein kleiner Magnet ist – ein magnetisches Moment besitzt, ist der Fachausdruck. Und daß die elektrische Ladung nicht unendlich scharf konzentriert ist, sondern eine gewisse Ausdehnung hat und auch nicht genau kugelförmig ist, sondern etwas länglich oder etwas abgeplattet sein kann. Der Fachmann spricht dann von einem elektrischen Quadrupolmoment. Mehr braucht man vom Kern nicht zu wissen, um die Atome und die aus Atomen aufgebauten Strukturen zu verstehen.

Ganz anders in der Kernphysik. Da versucht man die Struktur der Kerne zu verstehen und auch ihr dynamisches Verhalten. Das Fachgebiet begann um die Jahrhundertwende mit den Versuchen von Marie und Pierre Curie, von Rutherford und anderen. Vorläufig handelte es sich um Eigenschaften von radioaktiven Elementen und um die von diesen emittierten Strahlungen. Dann, in den dreißiger Jahren, ein riesiger Aufschwung. 1932, im Annus mirabilis der Kernphysik, wird das Neutron entdeckt, ein Teilchen fast genau gleich schwer wie das Proton, der Kern des Wasserstoffatoms, und man kommt zu dem, bis jetzt immer bestätigten Schluß, daß die Kerne aufgebaut sind aus Protonen und Neutronen. Das einfachste Beispiel ist das Deuteron, der Kern des gleichfalls in 1932 entdeckten schweren Wasserstoffs. Kerne können gespalten, angeregt oder

auch vergrößert werden durch Beschießung mit beschleunigten Protonen oder Deuteronen. Der erste Erfolg auf diesem Gebiet wurde – wieder 1932 – von Cockcroft und Walton erreicht. Kann man nun die Kernphysik in ihrer weiteren Entwicklung vergleichen mit der Molekülphysik? Freilich, auch hier gelten die Grundgesetze der Quantenmechanik, auch hier glauben wir die Bausteine zu kennen. Ein großer Unterschied ist aber, daß hier neben den elektromagnetischen Kräften auch ganz neue Kernkräfte herrschen, die man nicht a priori kennt. Auch sind die Bausteine nicht unveränderlich: ein Neutron kann sich in ein Proton verwandeln unter Emission eines Elektrons, ein Proton kann sich in ein Neutron verwandeln unter Emission eines positiven Elektrons. (Daß es die gibt, war die vierte große Entdeckung des Annus mirabilis.)

In der Physik der Teilchen und Felder geht man noch um einen Schritt weiter, aber bevor ich näher darauf eingehe, möchte ich einiges sagen über die technischen Anwendungen der bisher erwähnten Forschungsgebiete. Es ist beeindruckend, und manchmal geradezu beängstigend, wie viel sich während unseres Lebens und sogar während der letzten zwei Dezennien geändert hat in der materiellen Seite unseres Daseins, und zwar meistens als Folge technischer Neuerungen. Um einigermaßen einen Überblick zu bekommen, ist es nützlich, die industrielle Technologie folgendermaßen einzuteilen. Es gibt:

Erstens: Werkstofftechnologie und Technologie der Chemikalien, zum Beispiel Metallurgie, keramische Technologie, Technologie der Kunststoffe und so weiter; andererseits Arzneimittel, Insektizide, Pestizide. Zweitens: Energietechnologie, d. h. Kraftwerke, Dampfmaschinen, Motoren und sämtliche Geräte, bei denen Arbeitsleistung eine Hauptrolle spielt. Drittens: Informationstechnologie, Fernmeldetechnik, Radio und Fernsehen, Computer und jede Form der Datenverarbeitung. Viertens: Biologische Technologie, zum Beispiel die moderne Gen-Technologie, aber auch ältere Verfahren. Auch die klinische Medizin könnte man zu diesem Bereich zählen.

Allerdings handelt es sich bei größeren Projekten meistens um eine Kombination verschiedener Technologien. Die Mondlandung am

20. Juli 1969 war eine technische Festouvertüre der letzten zwei Dezennien. Was gehört nicht alles dazu! Die Raketen, das ist Energietechnologie, aber die Baustoffe wurden mit der größten Sorgfalt ausgewählt, und ohne Elektronik wäre es gar nicht gegangen. Und daß wir im Wohnzimmer die Landung haben verfolgen können, war fast ebenso erstaunlich wie die Landung selber.

Wieviel hat nun die Physik beigetragen zum technischen Fortschritt? Auf dem Gebiet der Werkstoffe muß ich leider zugeben, daß die Physik noch nicht imstande ist, die mechanischen Eigenschaften von Metallen und Kunststoffen genau vorherzusagen. Physikalisches Verständnis kann die Empirie unterstützen, nicht ersetzen. Am wichtigsten sind die Beiträge der Physik, wenn es sich um Materialien mit speziellen elektrischen, magnetischen oder optischen Eigenschaften handelt. So gibt es zum Beispiel neue Fortschritte auf dem Gebiet der permanenten Magnete, so gibt es Glasfasern, die Nachrichtenübertragung durch optische Signale ermöglichen. Wir erwähnten schon die neuen Supraleiter. Aber am weitesten ist die Materialbeherrschung fortgeschritten auf dem Gebiet der Halbleiter.

Energietechnologie beruht meistens auf klassischer Physik, die, wie gesagt, schon weitgehend von der Ingenieurswissenschaft absorbiert worden ist. Das soll aber nicht heißen, daß es keine Überraschungen mehr geben kann! Und jedenfalls ist die Kernenergie eine direkte Folge der Kernphysik, obwohl die meisten Probleme bei der praktischen Anwendung nicht auf dem Gebiet der Kernphysik liegen. Ob es wirklich noch etwas wird mit der kalten Fusion?

Bei der Informationstechnologie ist die Sache klar. Die heutige, schnell gewachsene und noch immer schneller wachsende elektronische Technik beruht auf Eigenschaften der Halbleiter, die man ohne die praktische und theoretische Festkörperphysik wohl nie herausgefunden hätte.

Was die biologische Technologie anbetrifft, beschränkt der Einfluß der Physik sich vornehmlich auf Meßgeräte. Dieser Einfluß ist aber essentiell: ohne Spektrometer, ohne Röntgendiffraktion und ohne Elektronenmikroskop wäre die Molekularbiologie gar nicht vom

Fleck gekommen. Übrigens, in dieser Hinsicht ist die Physik – mit der Technologie als Vermittler – oft ihr eigener bester Kunde. Ich wüßte kaum ein Beispiel zu geben von einer bedeutenden neuzeitlichen Untersuchung, die nicht von moderner Technologie abhängig ist. In der Physik ist das Zeitalter von Bindfaden und Siegellack eben vorüber. Sogar in der Theorie, die früher nur Papier und Feder brauchte, sind Computer unentbehrlich.

Ich spreche gerne von einer Wissenschaft-Technologie-Spirale: Neue wissenschaftliche Ergebnisse führen oft – nicht immer – zu neuen technologischen Verfahren und Produkten, neue Technologien werden bald von der wissenschaftlichen Forschung aufgegriffen.

Zurück zur Teilchenphysik. Ich werde nicht versuchen, die historische Entwicklung zu skizzieren und überhaupt diesen jüngsten Zweig der Physik etwas stiefmütterlich behandeln. Zunächst erwähne ich einige Ergebnisse. Untersuchungen über Stoßvorgänge zwischen zu immer höheren Energien beschleunigten Teilchen – Protonen und Elektronen – haben gezeigt, daß Protonen und Neutronen zwar die Bausteine der Kerne sind, aber sie sind keine wirklichen Elementarteilchen: Sie haben eine innere Struktur. Man nimmt jetzt allgemein an, daß sie aufgebaut sind aus drei sogenannten Quarks. Quarks sind hypothetische Teilchen, oder besser Mitglieder einer Familie von Teilchen, denn es gibt noch verschiedene Subspezies. Freie Quarks hat man aber bis jetzt nicht beobachtet, die Quarks im Proton sind sozusagen verurteilt zu einer permanenten Dreierheirat. Sie lassen sich aber gut einordnen in ein theoretisches Schema, das auch ihre Untrennbarkeit erklärt. Ein anderes Trio bildet das Neutron. Außerdem hat man eine Fülle von neuen Teilchen entdeckt, die teilweise eine Rolle spielen beim Zustandekommen der verschiedenen Wechselwirkungen und von denen die meisten eine recht kurze Lebensdauer haben – eine Lebensdauer von einem Millionstel einer Millionstelsekunde gilt hier schon als lang. Wenn man will, kann man sie auch als Anregungszustände des Vakuums auffassen. Kurz gesagt, man enthüllt eine ganz neue Welt mit neuen Gesetzen, neuen Teilchen, neuen Kraftfeldern, neuen Symmetrien, die wir aus dem Nichts heraufbeschwören. Nur während winzigen

Bruchteilen von Sekunden und in sehr geringem Umfang können wir diese Welt hervorrufen. Um einige Partikel während Millionstel von Millionstelsekunden zu erzeugen, braucht man riesige Vorrichtungen, die Milliarden Mark verschlingen, wie man sie zum Beispiel findet beim Laboratorium DESY in Hamburg und in noch größerem Umfang im internationalen Forschungszentrum CERN in der Nähe von Genf. Sind diese Anstrengungen und diese Auslagen berechtigt? Sicher nicht sofortiger industrieller Anwendungen wegen: die sind noch gar nicht in Sicht. Ein Vergleich mit der Astronomie liegt auf der Hand. Da ist es schon seit Jahrhunderten üblich, daß kostspielige Observatorien eingerichtet werden, und heutzutage sind die Hilfsmittel der Astronomie in Umfang und Kostspieligkeit durchaus vergleichbar mit den Beschleunigern der Teilchenphysik. Da gibt es große Radioteleskope, enorme Metallspiegel mit der dazu gehörenden raffinierten Elektronik, aber auch astronomische Beobachtungssatelliten.

Mit diesen mächtigen Hilfsmitteln – als Physiker möchte ich mit einigem Stolz hervorheben, daß nur die Fortschritte der Physik sie ermöglichten –, mit diesen Hilfsmitteln also hat man viel Neues im Weltall entdeckt: Pulsars und Quasars und zumal die schwarzen Löcher, die sich schon einen Platz in der Umgangssprache erobert haben.

Damit sind wir aber noch nicht am Schluß der Beziehungen zwischen Astronomie und Teilchenphysik. Zwar ist es richtig, daß sowohl in der Himmelsmechanik als in der Kosmologie die Erscheinungen beherrscht werden von der Gravitationskraft, die in der Physik sonst eine untergeordnete Rolle spielt. Aber sobald man versucht, den Bau der Sterne und ihre Ausstrahlung zu verstehen, kommen Atomphysik und Kernphysik ins Spiel. Hier möchte ich hervorheben, daß die Energiebilanz der Sterne verstanden werden kann auf Grund von Kernreaktionen, wie zwei Mitglieder unseres Ordens, Hans Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker, seinerzeit gezeigt haben. Aber auch die Teilchen und Felder unterhalb Proton und Neutron sind von astronomischer Bedeutung, und zwar bei der näheren Ausarbeitung der kosmologischen Theorie, die als die Theorie

vom »big bang« bekannt ist. Da wird angenommen, daß der Kosmos in seiner frühen Jugend sehr klein war und eine so hohe Temperatur hatte, daß die mittlere Energie der Teilchen die heutzutage mit Beschleunigern erreichbare noch bei weitem übertraf, so daß die heute nur schwer zu erzeugenden Teilchen in Hülle und Fülle da waren. Erst bei der darauf folgenden Ausdehnung und gleichzeitigen Abkühlung entstanden allmählich Atomkerne, Atome, Moleküle und schließlich Sterne, Planeten und Satelliten. Man kann deshalb behaupten, daß die Hochenergiephysiker in ihren Apparaten gewisse Züge der kosmischen Vorgeschichte reproduzieren, allerdings in winzigem Umfang und während sehr kurzer Zeit. Theoretiker hegen die Hoffnung, daß gerade das Studium der Erscheinungen bei extrem hoher Energie zu einer einheitlichen Theorie sämtlicher Teilchen und sämtlicher Kraftfelder führen wird. So reichen Astronomie und Hochenergiephysik einander sozusagen die Hand über die sonstigen Gebiete der Physik hinweg.

Es ist faszinierend, in diesem Zusammenhang nachzulesen, was Blaise Pascal in seinen »Pensées« schreibt über die Lage des Menschen in der Natur. Der Mensch, so schreibt er, befindet sich zwischen zwei Unendlichkeiten, zwischen dem unendlich Großen und dem unendlich Kleinen. Beide sind gleich erschütternd. Aber, fügt er hinzu, »es kommt mir vor, daß wer die letzten (das heißt die kleinsten) Bausteine der Dinge verstanden haben würde, es auch erreichen könnte, die Unendlichkeit zu ergründen. Das eine hängt vom anderen ab. Diese Äußersten berühren sich ... Ces extrémités se touchent« (meistens falsch zitiert als »les extrèmes se touchent«).

Astronomie und Kosmologie einerseits und Physik der hohen Energien und der Teilchen und Felder andererseits sind zweifelsohne die Gebiete, wo die Forschung sich wirklich auf Neuland befindet, wo wirklich neue Gedanken über die physikalische Naturbeschreibung hervortreten. In diesem Vortrag habe ich hervorgehoben, wie die Quantenmechanik die ganze Physik, von der Atomphysik bis zur Astrophysik, beeinflußt hat. Wird nun die Teilchenphysik die physikalische Entwicklung in ähnlicher Weise beeinflussen? Für Atomphysik und »Größer-als-Atom-Physik« kommt mir das unwahr-

scheinlich vor, aber ein besseres Verständnis der Kernkräfte wird sicher zur Vertiefung und Bereicherung der Kernphysik beitragen. Wie schon gesagt, industrielle Anwendungen sind vorläufig nicht zu erwarten. Falls sie einmal kommen – und das kann man natürlich nicht ausschließen –, dürften sie wohl mit Kernfusion und Energieerzeugung zu tun haben. Ich hoffe deshalb, daß Anwendungen ausbleiben werden, so lange man die Gefahr der jetzt bekannten Kernwaffen nicht endgültig beseitigt hat. Freilich können schon vorher Teile der Experimentiertechnik auch anderswo zur Geltung kommen, aber das scheint mir kaum eine genügende Rechtfertigung der überaus großen Anstrengungen auf diesem Gebiet.

Vielleicht soll man die riesigen Radioantennen und die gewaltigen Beschleuniger auffassen als Kathedralen der Neuzeit, die dem Kult der zur Gottheit erhobenen Wissenschaft dienen sollen. Ein etwas gekünstelter Gedanke? Vielleicht, aber ich möchte an Schillers Zeilen über Wissenschaft erinnern: »Einem ist sie die hohe, die himmlische Göttin, dem Andern eine tüchtige Kuh, die ihn mit Butter versorgt.«

In diesem Sinn ist CERN eher als Tempel denn als Stall zu betrachten. Vor vielen Jahren beteiligte ich mich an einer Tagung in Pisa und machte am Abend einen Rundgang durch die Stadt mit John Adams, dem hervorragenden Baumeister der ersten großen CERN-Beschleuniger. Als wir zum Dom kamen, blickte er beeindruckt hinauf und sagte: »Wenn ich im Mittelalter leben würde, möchte ich eine Kathedrale bauen.«

Meine sehr verehrten Zuhörer! Damit bin ich ans Ende meiner Ausführungen gelangt. Ich habe versucht, die Hauptgebiete der Physik wenigstens anzudeuten, und ich habe auch kurz auf technische Anwendungen hingewiesen. Über die gesellschaftliche, ökonomische, politische und militärische Bedeutung dieser Anwendungen habe ich nichts gesagt, werde ich heute auch nichts sagen. Nur habe ich der Versuchung nicht widerstehen können, das zitierte Schillersche

Distichon folgendermaßen zu ergänzen:

Manchem ist sie auch ein Hund,
der ihn treu gegen Feinde verteidigt,
Aber der Hund wird zum Feind,
falls ihn die Tollwut erfaßt.

Technologische Tollwut, sicher ein interessantes, aber auch ein beunruhigendes Thema, das ich heute nicht näher verfolgen werde.