

Vortrag über Quantentheorie

vor der Gesellschaft für Quantenlogische homöopathische Medizin
am 19.6.04 im Hörsaal des St. Katharinenkrankenhauses 5. Stock,
Seckbacher Landstr. 65, 60389 Frankfurt

Sehr geehrter Herr Professor Köster, meine Damen und Herren,

vielen Dank, Frau Dr. Scheufler, für die freundliche Vorstellung!

Ich weiß nicht, mit welchen Gefühlen Sie, sehr geehrte Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmer, meinem Vortrag über Quantentheorie entgegensehen. Ich gehe aber davon aus, daß Sie alle das Lehrbuch von Herrn Professor Köster, *Die Struktur der quantenlogischen Homöopathie*, gelesen haben und dass die dort verwendeten physikalischen Begriffe bei Ihnen vielleicht eine gewisse Öffnung für das Thema bewirkt haben.

Nun versichert mir Ihre Vorsitzende, Frau Dr. Scheufler, dass physikalische Begriffe den Normalmediziner eher frustrieren als informieren und dass es sehr hilfreich wäre, wenn einmal in diesem Kreise ein Physiker diese Begriffe dem Verstehen näher brächte.

Ich komme diesem Wunsch gerne nach und bitte Sie, sich von mir möglichst gutwillig für eine Weile in das Reich der Physik entführen zu lassen. Ich werde Sie danach auch wieder wohlbehalten bei Ihrer Medizin abliefern. Bei dem, was Sie dann mit dem Gehörten anfangen, wie Sie es insbesondere nützlich mit Ihrer quantenlogischen Homöopathie in Verbindung bringen, dabei freilich muß es mit meinen besten Erfolgswünschen für Sie sein Bewenden haben.

Zum Verständnis der Quantentheorie ist es angebracht, zunächst einen Blick auf die vorangegangene klassische Physik zu werfen.

Alles begann gegen Ende des 17. Jahrhunderts mit Newtons überaus einfacher und einleuchtender Grundgleichung der Mechanik

$$(1) \quad \mathbf{K} = m \mathbf{b}$$

Hier bezeichnet \mathbf{K} die Kraft, die der Masse m die Beschleunigung \mathbf{b} erteilt. Setzen wir für die Beschleunigung b z. B. die Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$ ein, so stellt die Kraft K das *Gewicht* der Masse m dar.

Aus Newtons Grundgleichung ließen sich alle weiteren Gleichungen der Mechanik ableiten. Mit diesen konnten Größen wie Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Impuls, Energie oder Schwingungsgrößen berechnet bzw. miteinander in Beziehung gesetzt werden. Selbst Akustik Optik und Wärmelehre erwiesen sich als durch Gleichungen der Mechanik beschreibbar.

Um 1860 ergänzte dann noch der englische Physiker James Clerk Maxwell das Gebäude der klassischen Physik durch seine streng mathematische Behandlung der inzwischen bekannt gewordenen elektromagnetischen Erscheinungen.

Die Denkweise der klassischen Physik war durch drei sehr plausible Voraussetzungen bestimmt.

1. Die Stetigkeit oder Kontinuität besagt, dass ein bestehender Zustand nicht unmittelbar in einen anderen übergehen kann, vielmehr müssen stetig alle Zwischenstadien durchlaufen werden. So kann ein Körper nicht sprunghaft seinen Ort wechseln sondern nur durch lückenloses Durchlaufen einer zusammenhängenden Bahn. Oder es kann eine Temperatur nicht sprunghaft ansteigen sondern nur über kleinste, gegen Null gehende Inkremente. Analog wurde alle Materie oder auch Strahlung als Kontinuum gesehen, d. h. stetig, also in beliebig kleine Teile unterteilbar.
2. Die Kausalität. Dies Prinzip, das oft auch als Gesetz von Ursache und Wirkung bezeichnet wird, besagt in allgemeiner Form. dass die an einem Vorgang beteiligten Größen in einem gesetzmäßigen, funktionalen Zusammenhang miteinander stehen, wie z. B. der auf einen Körper gerichtete Stoß und die dadurch dem Körper erteilte Geschwindigkeit.
3. Die Objektivierbarkeit bedeutet, dass die Naturvorgänge unbeeinflusst von der menschlichen Beobachtung ablaufen. So zieht etwa ein Planet seine Bahn, egal wie viele Fernrohre auf ihn gerichtet sind.

Diese Voraussetzungen schienen über jeden Zweifel erhaben, hatte sich die klassische Physik doch durch die erstaunliche Technikentwicklung und nicht zuletzt durch ein geschlossenes Weltbild glänzend bewährt. Kennzeichnend für die Abgeschlossenheit des Weltbildes ist die Auskunft, die der vielseitig begabte 16-jährige Abiturient Max-Planck, der sich noch nicht entschieden hatte, ob er Musik, Altphilologie oder Physik studieren sollte, im Jahr 1872 von dem Münchener Physiker

von Jolly erhielt, dass nämlich in der Physik alles bis auf Randfragen erforscht sei und sich daher dieses Studium nicht lohne.

Nur umso härter traf die Physiker dann kurz vor der Jahrhundertwende die Erschütterung angesichts des Versagens der für so unanfechtbar gehaltenen drei Säulen im Bereich der Mikrophysik, also der Strahlung sowie der atomaren und subatomaren Materie.

Wir wollen uns im folgenden einmal ansehen, wie allein schon die Strahlungsphänomene die drei Säulen zum Einsturz brachten.

Zum besseren Verständnis des Folgenden rufen wir uns zunächst einige Grundlagen der Strahlung ins Gedächtnis.

Aus Erfahrung wissen wir, dass Erwärmung, z. B. von Metall, zur Emission von Strahlung führt. Bis etwa 500 C wird nur unsichtbare Wärmestrahlung abgegeben. Ab etwa 600 C beginnt der Bereich der sichtbaren Strahlung, also des optischen Lichtes, zunächst mit rotem Licht, dann, mit zunehmender Temperatur, über gelbes bis hin zum weißem Licht. Alles das kann man z. B. an einem Stück Eisen beobachten, das nach verschiedenen Aufheizzeiten aus dem Schmiedefeuer genommen wird.

Bei Temperaturen von einigen tausend Grad wird schließlich über blau und violett der sichtbare Bereich der Strahlung verlassen.

Was wir als Lichtfarbe wahrnehmen, entspricht physikalisch bestimmten

Wellenlängen. Die Wellenlänge ist die Länge eines vollständigen

Schwingungszyklus, also z. B. von Wellenberg zu Wellenberg oder von Wellental zu

Wellental. Sie wird üblicherweise mit λ bezeichnet. (Abb. 1). In Physik und Technik

wird häufig anstatt der Wellenlänge die Frequenz benutzt. Die Frequenz gibt die

Anzahl Schwingungen pro Sekunde an. Sie wird üblicherweise mit ν bezeichnet. Sie

ist mit der Wellenlänge verknüpft gemäß

(2) $c = \lambda \nu$

wobei c die konstante Lichtgeschwindigkeit bezeichnet.

Man erkennt aus (2), dass größere Wellenlänge kleinere Frequenz bedeutet und umgekehrt.

Nun besteht eine durch Temperatur hervorgerufene Strahlung aber nicht nur aus einer einheitlichen Frequenz, die etwa nur dem roten oder nur dem gelben Licht entspricht, sondern man hat es immer mit einer Häufigkeitsverteilung aller Frequenzen zu tun, oder, wie es auch heißt, mit einem *Frequenzspektrum*.

In der Abb. 2 sind solche Spektren für verschiedene Temperaturen qualitativ dargestellt. Man erkennt, dass sich das Maximum der Verteilungskurve mit zunehmender Temperatur und damit mit zunehmender Strahlungsenergie zu immer höheren Frequenzen verschiebt.

Experimentell realisiert man ein solches allein von der Temperatur abhängiges Spektrum durch die Hohlraumstrahlung. Mit Hohlraumstrahlung bezeichnet man die Strahlung im Innern eines geschlossenen, auf einheitlicher Temperatur befindlichen Metallbehälters, denken Sie etwa an einen allseitig beheizten Backofen (Abb. 3). Die einheitliche Temperatur bewirkt eine Gleichgewichtsstrahlung im Innern des Hohlraumes, d. h. die Emissionsrate und die Absorptionsrate der Wandatome ist gleich groß. Soweit die Grundlagen.

Ein so klar definierter Sachverhalt wie die Hohlraumstrahlung forderte die Physiker zur theoretischen Beschreibung geradezu heraus. Sie sahen sich vor die Aufgabe gestellt, eine Strahlungsformel aufzustellen, die das Frequenzspektrum der Hohlraumstrahlung richtig beschreibt.

Die beiden Physiker Rayleigh und Jeans stellten in den 1890er Jahren eine solche Strahlungsformel auf der Basis der klassischen Physik auf. Entsprechend der Kontinuumsvorstellung unterteilten sie in ihrem Ansatz die Energie des Strahlungsfeldes in kleinste gegen Null gehende Teilportionen. Als sie aus ihrer Formel für das Frequenzspektrum den Energiegehalt der Strahlung in dem Hohlraum berechneten, erhielten sie das unsinnige Ergebnis **unendlich!**

Auf dieses für die klassische Physik so vernichtende Ergebnis, was das vollständige Versagen bei der Beschreibung der atomaren Vorgänge von Emission und Absorption zeigte, folgte bald die Geburtsstunde der Quantentheorie. Im Jahre 1900 ersetzte der damals 42-jährigen Max Planck die kleinen gegen Null gehenden

Energieportionen von Rayleigh und Jeans durch zwar auch kleine aber endliche Energieportionen, die er Energiequanten nannte. Ihre Größe setzte er durch die berühmte Formel an, die auch auf seinem Göttinger Grabstein eingraviert ist:

$$(3) \quad E = h \nu$$

In Worten: Das Energiequant E ist der Frequenz ν der Strahlung proportional.

Die Größe h wird als *Plancksches Wirkungsquantum* bezeichnet. Sie sollte zu der beherrschenden Größe der Quantentheorie werden.

Mit diesem Ansatz erhielt Planck tatsächlich die korrekte Strahlungsformel!

Nicht nur seine Kollegen, auch Planck selbst hatte lange Zeit den vollen Umfang seiner Entdeckung nicht erkannt. Er durchschaute noch nicht, dass nicht nur Lichtemission und -absorption der Atome quantenhafte Erscheinungen sind oder, wie man sagt, *gequantelt* sind, sondern dass auch die elektromagnetische Strahlung als Ganze und damit auch das sichtbare Licht als ein Teil von ihr gequantelt ist. Dieser Durchblick war dem Genie Einsteins vorbehalten, allerdings erst ganze 5 Jahre später.

Man erkennt aus diesem Ablauf, wie stark die damalige Physikergeneration der klassischen Kontinuitäts- und Stetigkeitsvorstellung verhaftet war. Die schließlich erkannte discontinuierliche Quantelung der Strahlung zwang jedoch zu der Einsicht, dass das Kontinuitäts- oder Stetigkeitsprinzip in diesem Bereich seine Gültigkeit verloren hatte.

An dieser Stelle bemerke ich noch kurz, dass die Lichtquanten seither *Photonen* genannt wurden. Diese Bezeichnung wurde schließlich für alle Energiequanten benutzt, auch für solche außerhalb des sichtbaren Teiles des Spektrums.

Als nächstes schauen wir uns einmal an, wie die Allgemeingültigkeit des

Kausalitätsprinzips

zu Fall kam. Mit den Photonen war plötzlich wieder das Teilchen- oder Korpuskelmodell des Lichtes aufgetaucht, das schon Newton vertreten hatte. Es galt jedoch seit 1815 als endgültig widerlegt, seit nämlich der französische Physiker Augustin Jean Fresnel die Welleneigenschaften des Lichts - wie z. B. Beugung und Interferenz - eindeutig nachgewiesen hatte. Seit der Entdeckung der Lichtquantelung durch Planck und Einstein mußte man neuerdings jedoch die Notwendigkeit anerkennen, daß zur Beschreibung der Lichterscheinungen nicht nur das

Wellenmodell sondern auch das Korpuskelmodell verwendet werden müssen. Man sprach vom *Dualismus Welle - Korpuskel* oder auch von der *Doppelnatur des Lichts*. Die Konsequenz aus dieser Einsicht war, daß die beiden Modelle miteinander kompatibel gemacht werden mussten. Zu diesem Zweck ging man von der *Lichtintensität* aus, die man sowohl im Wellen- als auch im Korpuskelmodell ausdrückte. Nach dem Wellenmodell war sie durch das Quadrat der Wellenamplitude bestimmt, zeigte also einen periodischen Verlauf. Nach dem Korpuskelmodell war die Lichtintensität grundsätzlich durch den Korpuskelstrom in Ausbreitungsrichtung bestimmt. Wegen der zu fordernden Kompatibilität beider Modelle konnte der Korpuskelstrom aber nicht gleichmäßig über den vom Licht erfaßten Raum verteilt sein wie etwa der Sand aus einem Sandstrahlgebläse, sondern er mußte die gleiche Periodizität aufweisen wie die Lichtintensität. Dadurch erhielten die Wellen eine neue Deutung: Sie wurden nicht länger als Schwingungen interpretiert, sondern als periodische räumliche Konzentration der Photonen, oder, was auf dasselbe hinausläuft, als die Wahrscheinlichkeit dafür, an einer vorgegebenen Stelle des Raumes zu einem vorgegebenen Zeitpunkt ein Photon anzutreffen. Aus Lichtwellen waren *Wahrscheinlichkeitswellen* geworden.

Es ist interessant, aus dieser Sicht einmal die aus der klassischen Optik bekannte Beugung am Spalt zu betrachten. Bei diesem Versuch tritt Licht durch einen Spalt und gelangt danach auf eine Fotoplatte (Abb. 4).

Solange die Spaltbreite groß ist im Vergleich zur Wellenlänge des Lichts, tritt das Licht ungehindert hindurch und erzeugt auf der Fotoplatte einen hellen Streifen als Abbild des Spaltes (Abb. 4). Lassen wir die Spaltbreite allmählich immer kleiner werden, beobachten wir eine immer stärkere Ablenkung des Lichtstrahls durch die Spaltränder. Nähert sich die Spaltbreite der Wellenlänge des Lichtes, erscheint der Vorgang zunehmend so, als stelle der Spalt eine punktförmige Lichtquelle dar, die in alle Richtungen gleichmäßig strahlt (Abb. 5). Durch Überlagerung der Wellen entsteht auf der Platte ein Interferenzmuster. Es stellt mehrere helle Streifen mit nach außen abnehmender Helligkeit dar, unterbrochen von dunklen Streifen. Dabei sind die hellen Streifen das Ergebnis der Verstärkung von Lichtstrahlen durch Überlagerung von Wellenbergen mit Wellenbergen (Phasenunterschied 0 oder ein ganzzahliges Vielfaches davon). Die dunklen Streifen sind das Ergebnis der Auslöschung von Lichtstrahlen durch Überlagerung von Wellenbergen mit Wellentälern (Phasenunterschied $\pi/2$ oder ein ganzzahliges Vielfaches davon).

Die hellen und dunklen Zonen in Abb. 5 sind in der neuen Sichtweise ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelnes Photon an einer vorgegebenen Stelle des Interferenzmusters ankommt. Da die Wahrscheinlichkeit zwar unterschiedlich aber nirgends Null ist, gibt es keine Möglichkeit, die Bahn eines einzelnen Photons genau vorauszusagen. Es kann trotz definierter Startbedingungen an jeder beliebigen Stelle des Interferenzmusters auftreffen. Dadurch, daß nur noch eine Wahrscheinlichkeit für den Auftreffort des Photons angegeben werden kann, sind die für die Ausbreitung einzelner Photonen möglichen Aussagen erheblich unbestimmter als man es in der klassischen Mechanik mit ihren kausal bestimmten genauen Bahnkurven gewohnt ist.

Somit ist ebenfalls das Kausalitätsprinzip für Photonen ungültig geworden.

Betrachten wir schließlich noch die dritte Säule, die

Objektivierbarkeit.

wonach das Messergebnis nicht vom Beobachter beeinflusst wird.

Dazu wollen wir den Beugungsversuch noch unter einem anderen Gesichtspunkt interpretieren. Wir betrachten den Durchtritt des Photons durch den Spalt als eine, wenn auch nur bedingt genaue, Ortsmessung. Wir wissen ja, dass sich das Photon im Moment des Durchtritts durch den Spalt irgendwo innerhalb der Spaltbreite befinden muss.

Nun sehen wir, dass der breite Spalt in Abb. 4 eine schmale Interferenzzone bewirkt, der schmale Spalt in Abb. 5 dagegen eine breite. Der breite Spalt bedeutet ersichtlich eine ungenaue Ortsbestimmung, die zugehörige schmale Interferenzzone bedeutet dagegen eine genaue Impulsbestimmung, da die Photonen nur wenig aus ihrer Richtung abgelenkt werden. Umgekehrt bedeutet ein schmaler Spalt eine genaue Ortsbestimmung, die zugehörige breite Interferenzzone bedeutet jedoch eine ungenaue Impulsbestimmung, da die Photonen soviel stärker aus ihrer Richtung abgelenkt werden.

Wir erkennen, dass es unmöglich ist, beide Eigenschaften des Photons, Ort und Impuls, gleichzeitig genau zu bestimmen.

Der Grund ist, daß wir als der Beobachter durch unsere Messung, in diesem Fall durch unsere Festlegung der Spaltbreite, die zu messenden Größen unvermeidlich beeinflussen. Damit, dass das Objektivierbarkeitsprinzip genau das Gegenteil behauptet, hat es als die dritte eingangs erwähnte Säule der klassischen Mechanik für die Beschreibung des Photonenverhaltens ebenfalls ausgedient.

Die Unmöglichkeit, Ort und Impuls eines Photons gleichzeitig genau zu bestimmen, führt uns zu der berühmten *Heisenbergschen Unschärferelation*. Quantitativ besagt sie, dass das Produkt aus Orts- und Impulsunschärfe bei allen quantenphysikalischen Messungen unvermeidlicherweise mindestens so groß ist wie das Plancksche Wirkungsquantum h . Wollte man die Unschärfe noch weiter reduzieren, so müsste man z. B. die Meßobjekte vergrößern. D. h. aber, wir begeben uns weg von der Quantenphysik und wieder hin zu der klassischen Physik.-

Ich erläutere an dieser Stelle noch kurz den Begriff der *Komplementarität*. Er besagt, daß die Heisenbergsche Unschärferelation allgemein für Größen gilt, bei denen das Produkt ihrer Unschärfen in einer Einheit der *Wirkung* gemessen wird. Dazu gehört außer dem Größenpaar Ort und Impuls z. B. auch das Größenpaar Energie und Zeit.

Bisher haben wir nur von der Strahlung gesprochen. Wir wenden uns jetzt einmal der Materie zu. Dabei kommen wir zu einem weiteren wichtigen Meilenstein in der Entwicklung der Quantentheorie, den

Materiewellen.

Ihre Entdeckung geht auf den französischen Physiker Louis Victor De Broglie zurück. Ähnlich wie Planck 1900 die Quantentheorie der Strahlung begründete, begründete De Broglie 1924 die Quantentheorie der atomaren und subatomaren Materie. In Analogie zu der Doppelnatur des Lichts postulierte er die Doppelnatur der Korpuskeln. Er wies nach, dass diese nicht nur durch die Materialgrößen Masse m und Geschwindigkeit v bestimmt sind, sondern auch durch eine Wellenlänge λ . In Anlehnung an De Broglie wollen wir diese Wellenlänge, die ihm zu Ehren De Broglie-Wellenlänge genannt wird, im folgenden berechnen.

Dazu drücken wir den Impuls eines Korpuskels in beiden Modellen aus. Der zu fordernden Kompatibilität beider Modelle tragen wir dadurch Rechnung, dass wir beide Impulsausdrücke gleichsetzen.

Für den Impuls gilt im Korpuskelmodell die aus der klassischen Physik bekannte Beziehung

$$(4) \quad p = m v$$

Diese Gleichung drückt die Erfahrungstatsache aus, dass der Impuls eines Körpers – einfach gesagt, seine Wucht – umso größer ist, je größer einerseits seine Masse und andererseits seine Geschwindigkeit ist.

Zur Berechnung des Impulses im Wellenmodell wenden wir die berühmte Einsteinsche Beziehung $E = m c^2$ auf das Photon an (Index p):

$$(5) \quad E_p = m_p c^2 \quad \text{oder nach Division durch } c: \quad m_p c = E_p/c$$

Ersetzen von E durch $h\nu$ (Gl. 3) und von c durch $\lambda\nu$ (Gl. 3) liefert für den Impuls im Wellenmodell

$$(6) \quad m_p c = h/\lambda$$

Gleichsetzen der beiden Impulsausdrücke (4) und (6) liefert für die De Broglie-Wellenlänge:

$$(7) \quad m v = h/\lambda \quad \text{oder} \quad \lambda = \frac{h}{m v}$$

Die De Broglie-Wellenlänge λ ist nur noch von den Materiegrößen Masse m und Geschwindigkeit v abhängig. Die universelle Plancksche Konstante fungiert hier als Brücke zwischen Wellen- und Korpuskelmodell.

Wir können am Beispiel der Gleichung (7) wieder einmal den

Übergang von der Quantenphysik in die klassische Physik demonstrieren.

Dazu lassen wir die Korpuskelmasse m in Gedanken immer größer werden, was wieder einen Übergang von der Quantenphysik zur klassischen Physik bedeutet.

Eine größer werdende Masse m im Nenner hat einen abnehmenden Wert des Bruches und damit eine abnehmende Wellenlänge λ zur Folge. Diese wird schließlich so klein, dass sie nicht mehr gemessen werden kann, womit sie aufhört, physikalische Realität zu besitzen. Das bedeutet, daß in der klassischen Physik bekanntermaßen kein Wellenmodell zur Beschreibung der Materie mehr erforderlich ist.

Auf der Basis der De Broglieschen Materiewellen entwickelte der österreichische Physiker Werner Schrödinger nur wenige Monate später seine berühmte

Schrödingergleichung,

mit der er 1926 die Wellenmechanik begründete. Damit konnten erstmals die halbempirischen Annahmen des schon 1913 von Niels Bohr etablierten *Bohrschen Atommodells* sowie des noch weiter detaillierten *Bohr-Sommerfeldschen Atommodells* theoretisch begründet werden. An die Stelle des Bohr-Sommerfeldschen Schalenmodells für die räumliche Anordnung der Elektronen eines Atoms traten nun die schon erwähnten räumlichen Wahrscheinlichkeitswellen. Es muß aber hervorgehoben werden, dass das Bohr-Sommerfeldsche Atommodell durchaus leistungsfähig war, insbesondere für das Verständnis der Energieniveaus der Elektronen in der Atomhülle und des Periodensystems der Elemente. Wegen seines Vorzuges der Anschaulichkeit und relativ leichten Handhabbarkeit wird es auch heute noch vielfach benutzt .

Zum Abschluß möchte ich noch kurz auf einige weitere häufig benutzte quantenphysikalische Begriffe eingehen.

Quantenzahlen, Pauliprinzip

Im Bohr-Sommerfeldschen Atommodell ist jedes Hüllenelektron durch 4 Quantenzahlen charakterisiert. Nach dem Pauli-Prinzip können nicht zwei oder mehr Elektronen in allen 4 Quantenzahlen übereinstimmen. Die Quantenzahlen dienen zur Kennzeichnung der Energieniveaus der Hüllenelektronen . Diese Energieniveaus haben ganz bestimmte oder, wie man auch sagt, *diskrete* Werte.

Quantensprung.

Damit bezeichnet man den Übergang eines Elektrons der Elektronenhülle des Atoms von seinem augenblicklichen Energiezustand in einen höheren oder niedrigeren, wobei ein Energiequant absorbiert bzw. emittiert wird. Die Energiezustände oberhalb des Grundzustandes eines Elektrons werden als *angeregte* Zustände bezeichnet.

Quantenmechanik

Sie wurde 1925 von Werner Heisenberg mit Hilfe der bis dahin in der Physik noch nicht benutzten Matrizenrechnung entwickelt. Ein wichtiges Ergebnis der Quantenmechanik ist die schon erwähnte *Heisenbergsche Unschärferelation*.

Es konnte nachgewiesen werden, daß der physikalische Gehalt der Heisenbergschen Quantenmechanik mit dem der Schrödingerschen Wellenmechanik identisch ist.

Bohrsches Korrespondenzprinzip

Eine der Quantenzahlen, die sogenannte *Hauptquantenzahl*, gibt an, auf welcher der erlaubten diskreten Bahnen um den Atomkern sich ein Elektron befindet. Zunehmende Hauptquantenzahlen bezeichnen immer weiter vom Atomkern entfernte Bahnen. Die Energie des Elektrons ist umso größer, je weiter seine Bahn vom Atomkern entfernt ist, da es einer Energiezufuhr bedarf, um die elektrostatische Anziehungskraft des Kernes zu überwinden. Nun besagt das Bohrsche Korrespondenzprinzip, dass sich die Energie des Elektrons mit zunehmender Hauptquantenzahl immer mehr dem Wert der klassischen Physik annähert. Wir haben es hier wieder mit einem stetigen Übergang von der Quantenphysik in die klassische Physik zu tun. Ganz allgemein gehen die Formeln der Quantenphysik kontinuierlich in diejenigen der klassischen Physik über, wenn man für Masse bzw. Energie immer größere Werte einsetzt. Damit erweist sich die klassische Physik als Spezialfall der Quantenphysik für größere Massen und Energien und behält als solche durchaus ihre strenge Gültigkeit.

Kopenhagener Deutung.

1927 trafen sich auf dem Gebiet der Quantentheorie tätige Physiker in Brüssel. Unter dem Eindruck ihrer quantenphysikalischen Forschung kamen sie erstmals überein, dass es grundsätzlich nicht möglich ist, im Mikrokosmos so etwas wie eine absolute Wahrheit zu erkennen, sondern dass die Physik nur darauf zu achten hat, dass ihre Theorien mit den Messungen übereinstimmen. Dies Ergebnis ihrer Zusammenkunft wurde seither unbeschadet des Tagungsortes Brüssel Kopenhagener Deutung genannt.

Im Sinne der Kopenhagener Deutung ist wohl auch das Heisenbergsche Zitat zu verstehen, daß jeder Fortschritt in der Wissenschaft mit Verzicht verbunden ist.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.