

FACETTEN DER QUANTENPHYSIK

PANORAMEN
UND BIOGRAPHIEN

VON HANS PETER DREYER



Universität
Zürich^{UZH}

Version 6



VORWORT

Das vor Ihnen liegende Material ist im Zusammenhang mit der Entwicklung der FACETTEN DER QUANTENPHYSIK entstanden. Das ist eine Lernumgebung, die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten ermöglichen möchte, einen ernsthaften Einblick in diese «neue Physik» zu gewinnen, auch wenn sie sich nicht für eine MINT-Spezialisierung entschieden haben.

Das Material wurde in verschiedenen schweizerischen Gymnasien dazu benützt, im Selbststudium, für Vorträge oder als Teil von Klausuren mehr über das Wesen der Physik und ihrer Akteure – und der wenigen Akteurinnen – zu lernen.

Die drei Panoramen und die verschiedenen Kurzbiographien sind keine wissenschaftlichen Arbeiten: Es fehlen Quellenangaben sowohl für Zitate als auch für die Bilder. Nur eine unentgeltliche Verwendung im Unterricht verstösst nicht gegen das Copyright.

Der Autor bittet, ihm kleinere und gröbere Fehler zu melden und auch kurz mitzuteilen, wie dieses Material in der Schule genutzt wurde und welche Erfahrung gemacht worden ist.

Universität Zürich, Institut für Erziehungswissenschaft, Didaktik der Naturwissenschaften
Mai 2022, hanspeter.dreyer@uzh.ch

ÜBERBLICK ÜBER DIE PANORAMEN UND BIOGRAPHIEN

Mit dem Bau der Atombombe ist aller Welt bewusst worden, welche Macht in physikalischen Erkenntnissen steckt. Gleichzeitig geriet das Leben von Physikern wie Heisenberg, Fermi und Bohr vom Elfenbeinturm der reinen Wissenschaft in die unerbittliche Maschinerie des Militärs und der staatlichen Geheimdienste. Doch schon früher entstand die Physik nicht im leeren Raum, wie die verschiedenen hier zusammengetragenen Facetten zeigen.

PANORAMA 1900: DIE ZEIT DER KAISERREICHE

Gesellschaft um 1900, Technik und Wissenschaft um 1900

Max Planck, Albert Einstein, Marie Sklodowska Curie, Donna Strickland

PANORAMA 1925: NEUBEGINN NACH DEM ZUSAMMENBRUCH

Gesellschaft um 1925, Technik und Wissenschaft um 1925

Niels Bohr, Hertha Sponer, Louis de Broglie, Max Born, Erwin Schrödinger

PANORAMA 1950: IM ATOMZEITALTER

Gesellschaft um 1950, Technik und Wissenschaft um 1950

Lise Meitner, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Enrico Fermi, Idda Noddack und Maria Goeppert Mayer, John Stewart Bell

WEITERE LEKTÜRE

Eine gut lesbare Geschichte der Quantenphysik:

Tobias Hürter: DAS ZEITALTER DER UNSCHÄRFE – Die glänzenden und die dunklen Jahre der Physik 1895-1945. Klett-Cotta, 2021.

Eine wissenschaftliche Darstellung der Geschichte der Quantentheorie:

Friedrich Hund: GESCHICHTE DER QUANTENTHEORIE. Bibliographisches Institut Zürich, 1984.

Eine Darstellung der Entwicklung der Physik im grösseren Rahmen:

Ernst Peter Fischer: SCHRÖDINGERS KATZE AUF DEM MANDELBROTBAUM. Anaconda Verlag, 2022.

Eine fürs Gymnasium passende Einführung in die ganze Quantenphysik einer 17-Jährigen

Silvia Arroyo Camejo: SKURRILE QUANTENWELT. Fischer Taschenbuch, 2015.

PANORAMA 1900: DIE ZEIT DER KAISERREICHE

Nie hat es gleichzeitig auf der Welt so viele Kaiserreiche, wie in den Anfängen der Quantenphysik. Als Einstein die Photonen erfindet, verliert Zar Nikolaus II von Russland (2. von links) gerade einen längeren Krieg gegen den Tenno von Japan. Auch innenpolitisch steht das Zarenreich unter Druck. Immerhin war es stabiler als das chinesische Kaiserreich, das die Kontrolle über sein Land an ausländische Mächte und Warlords verliert. Ebenfalls unter grossem innerem und äusserem



Druck steht das Osmanische Reich. Sultan Abdulhamid II verliert einen der vielen Kriege gegen Russland und muss auch im Balkan Zugeständnisse machen, von denen vor allem das k&k Reich unter Kaiser Franz Joseph (rechts) und Sis(s)i (oben)

profitiert. Intern gilt es, die rebellischen Jungtürken abzuwehren. Der Sultan ruft deutsche Militärberater ins Land und lässt von den Deutschen die Bagdadbahn (geplant von Berlin bis Bagdad) bauen. Mit Kaiser Wilhelm II (links) steht das deutsche Kaiserreich auf dem Gipfel seiner Macht und versucht mit brutalen Methoden in Südafrika und mit Kanonenbootpolitik in Marokko ein Imperium aufzubauen. Dabei kommt es dem republikanischen Frankreich und noch stärker Grossbritannien, der grössten Weltmacht ins Gehege. Effektiv gebietet Königin Viktoria (links) über ein Weltreich, sie ist quasi Kaiserin von Indien!



GESELLSCHAFT

SOZIALES: In den USA wird John D. Rockefeller wegen seiner marktbeherrschenden Stellung im Ölgeschäft verurteilt. Auch in Europa leben viele dank des weltweiten Handels ganz gut. Doch die besitz- und weitgehend rechtlosen Arbeiter revoltieren oder schliessen sich in den neuen sozialistischen Parteien zusammen. Die SP Deutschlands ist die weltweit grösste Arbeiterpartei. Sie bereitet Wilhelm II und seinem Umfeld Sorgen. 1906 macht der „Hauptmann von Köpenick“ den wilhelminisch-viktorianischen Geist lächerlich.



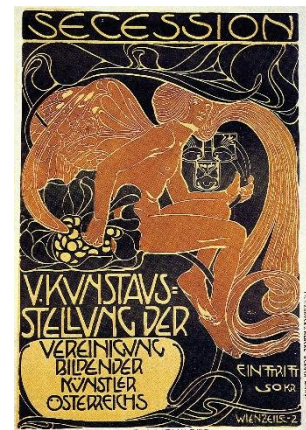
LITERARISCHES - GERHARD HAUPTMANN UND FRANZ KAFKA: Ob Max Planck einer Aufführung des Dramas „Die Weber“ von Gerhart Hauptmann beiwohnt, ist nicht bekannt, aber unwahr-

scheinlich. Die politischen Positionen der beiden sind entgegengesetzt.

Einstein ist 1911 Professor an der deutschen Universität von Prag. Da hätte er im Kaffeehaus oder in der Synagoge dem Versicherungsbeamten und Dichter Franz Kafka begegnen können, dessen literarische Laufbahn erst in ein paar Jahren beginnt.

MUSIKALISCHES - FRANZ LEHAR UND ARNOLD SCHÖNBERG: In der Welthauptstadt der Musik tanzt man immer noch Walzer, und Franz Léhar landet mit seiner „Lustigen Witwe“ einen Kassenschlager: 1800 Aufführungen in fünf Jahren. Gleichzeitig komponiert Arnold Schönberg seine 1. Kammersymphonie noch tonal im spätromantischen Stil.

BILDENDE KÜNSTE - BERLINER UND WIENER SEZESSION UND KUBISMUS: Auch in Berlin und Wien spalten sich bildende Künstler vom konservativen akademischen Betrieb ab und veranstalten Ausstellungen mit Kandinsky, Manet, Monet und Munch usw. Doch die Avantgarde wirkt in Paris, wo gerade durch Picasso und Braque der Kubismus, ein radikaler Bruch mit konkreter Kunst, entsteht.



TECHNIK UND WISSENSCHAFT

VERKEHR: In Europa und Nordamerika funktioniert das Eisenbahnwesen mit Dampflokomotiven tadellos, auch durch Alpentunnels, wie die Karte zur Jahrtausendwende zeigt. Zu den Fahrrädern gesellen sich brauchbare Automobile. Am Himmel schwirren die ersten Zeppeline. Transatlantikfahrten mit dem Dampfschiff werden mehr und mehr zur Routine. 1907 geht die Lusitania für mehrere Tausend Passagiere in Betrieb. Sie soll unsinkbar sein. Dieselmotoren werden bald die letzten Segel bei Frachtschiffen verdrängen.



KOMMUNIKATION: Das Telefonsystem funktioniert innerhalb der Kontinente, die Telegraphie sogar weltweit. Per Schiffsfunk können nun laufend dringende Meldungen übermittelt werden.

MATHEMATIK: Bertrand Russell veröffentlicht 1903 eine Antinomie, die die Grundlagen der Mengenlehre erschüttert. Populärversion: Ein Barbier ist einer, der all diejenigen rasiert, die sich nicht selbst rasieren? Frage: Rasiert der Barbier sich selbst? Antwort: Wenn JA, dann NEIN, aber wenn NEIN, dann JA.

GEOGRAPHIE: Chimborazo und Kilimandscharo werden bestiegen. Amundsen ist einer von vielen, die mit einfachsten Mitteln in die Arktis und Antarktis vorstossen. Afrika wird vollständig kartographiert und unter den Kolonialmächten aufgeteilt. Die letzten Touristen werden in Sänften über Alpenpässe getragen. 1906 wird der Simplon-Tunnel eröffnet und von Beginn weg elektrisch betrieben. Postkutschen gibt es noch 20 Jahre.



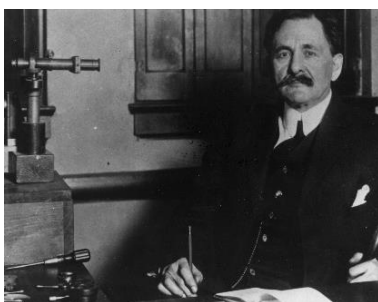
BIOLOGIE: Mendels Gesetze werden wieder entdeckt und die Rolle der Chromosomen für die Vererbung erkannt. Iwan Pawlow erhält 1905 den Nobelpreis für Medizin als Anerkennung seiner Beiträge zur Verhaltensforschung (Pawlowscher Reflex eines Hundes auf Nahrungsangebot).

CHEMIE: 1900 wird mit Geld des erfolgreichen Dynamit-Erfinders Alfred Nobel eine Stiftung errichtet,



«deren Zinsen als Preis denen zugeteilt werden, die im verflossenen Jahr der Menschheit den größten Nutzen geleistet haben». 1901 erhält Röntgen den ersten Physik-Nobelpreis. Jean Perrin schlägt 1909 vor, die Anzahl Teilchen pro Mol nach Avogadro zu benennen. Im Zeitalter des Nationalismus wird der Beitrag des Österreichers Loschmidt verdrängt.

PHYSIK: Die Entwicklung der statistischen Physik vermag mehr und mehr Wärmeerscheinungen quantitativ zu erklären. Albert Michelson (unten links) misst in Chicago die Lichtgeschwindigkeit und untersucht den Einfluss des Äthers.



Albert Einstein verbannt ihn mit der Relativitätstheorie aus der Physik.

Pierre und Marie Curie aus Paris erhalten 1903 den Nobelpreis, zwar für Chemie, doch ihre Entdeckungen und Erkenntnisse über die radioaktiven Stoffe und ihre Strahlen revolutionieren die Physik und werden auch in der Medizin



angewendet.

MAX PLANCK (1858-1947)

Max Planck stammt aus einer Gelehrtenfamilie und steht nach dem Gymnasium vor der Wahl: Musik oder Physik? Philipp von Jolly kommentiert Plancks Interesse an der Physik mit der Bemerkung, dass



«in dieser Wissenschaft schon fast alles erforscht sei, und es gelte, nur noch einige unbedeutende Lücken zu schließen.» Planck studiert in München und Berlin Mathematik und Physik, schliesst mit dem Gymnasiallehrerdiplom ab und doktoriert «Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie». Nach dem akademischen Start in München wird Planck zuerst Professor in Kiel und dann in Berlin. 1918 erhält Max Planck den Nobelpreis «als Anerkennung des Verdienstes, den er sich durch die Entdeckung der Energiequanten um die Entwicklung der Physik erworben hat». Planck ist später der Doyen der deutschen theoretischen Physik. Er setzt sich durch all die Katastrophen für die Institutionen der Physik ein. Nach dem 2. Weltkrieg wird die «Kaiser Wilhelm Gesellschaft», die nationale Forschungsinstitution, in «Max Planck Gesellschaft» umbenannt.

Planck ist kein Revolutionär, sondern ein erfolgreicher und loyaler Berliner Professor: unter dem Kaiser, in der Weimarer Republik und unter den Nazis. Planck ist ein korrekter Professor und stets staatstreu, politisch aber konservativ bis reaktionär. Er unterzeichnet zu Beginn des ersten Weltkriegs die «Erklärung der Hochschullehrer des Deutschen Reiches», wonach es «Unser Glaube ist, daß für die ganze Kultur Europas das Heil an dem Siege hängt, den der deutsche ‚Militarismus‘ erkämpfen wird».

Er wird nie Mitglied der NSDAP. Als ihn aber Otto Hahn 1933 fragt, ob man nicht eine Anzahl anerkannter deutscher Professoren für einen gemeinsamen Appell gegen diese Behandlung jüdischer Professoren zusammenbringen könne, antwortet er: «Wenn Sie heute 30 solcher Herren zusammenbringen, dann kommen morgen 150, die dagegen sprechen, weil sie die Stellen der anderen haben wollen.» Eine persönliche Tragödie ist, dass sein Sohn Erwin 1944 wegen der Beteiligung am Aufstand vom 20. Juli von der Gestapo verhaftet wird und Plancks Schreiben an Himmler und Hitler ihn nicht vor der Exekution bewahren.

Die Geburt der Quantenphysik

Die Quantenphysik beginnt offiziell am 14. Dezember 1900. An diesem Tag präsentiert Max Planck die Herleitung der neuen Strahlungsformel vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft:

$$\rho(f, T) = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \frac{1}{e^{hf/kT} - 1} \quad (\text{Mit heutigen Symbolen. Die Formel spielt in den FACETTEN sonst keine Rolle.})$$

«M. H.! Als ich vor mehreren Wochen die Ehre hatte, Ihre Aufmerksamkeit auf eine neue Formel zu lenken (...) gründete sich meine Ansicht von der Brauchbarkeit (...) nicht allein auf die gute Übereinstimmung mit den wenigen Zahlen (...) sondern hauptsächlich auf den einfachen Bau der Formel.»

Plancks Herleitung stützt sich auf die Prinzipien der Thermodynamik. Er wendet sie nicht auf Gasatome u. dgl. an, sondern er denkt sich Resonatoren: «In einem (...) Medium (...) befinden sich (...) eine grosse Anzahl von linearen monochromatisch schwingenden Resonatoren. (...) Wir betrachten aber - und dies ist der wesentliche Punkt der ganzen Berechnung - E [die Energie eines Resonators] als zusammengesetzt aus einer ganz bestimmten Anzahl endlicher gleicher Teile und bedienen uns dazu der Naturkonstanten h. Diese Konstante multipliziert mit (...) f ergibt das Energieelement.» Die revolutionär neue Quantisierung betrifft die gedachten Oszillatoren. Sie können Energie nur in ununterscheidbaren Portionen von hf aufnehmen und abgeben. Die neuartige Zählweise, die Planck für die Energiequanten benützt, ist eine Hypothese. Er selber sagt: «Ob diese Hypothese in der Natur wirklich zutrifft, kann in letzter Linie nur durch die Erfahrung geprüft werden.»

Für Planck ist es sicher ermutigend, dass er aus seiner Theorie wohlbekannte Grössen ableiten kann. Er findet: «Auf ein g-Molekül [1 mol] eines Stoffs gehen $6.2 \cdot 10^{23}$ wirkliche Moleküle.» Das ist heute die Avogadrokonstante. Und am Schluss seiner Ausführungen berechnet er: «Das Elementarquantum der Elektrizität e (...) ist $4.7 \cdot 10^{-10}$ elektrostatisch.» Unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors 10c stimmt das sehr gut mit dem heutigen Wert für die Grösse der Elementarladung überein.

Zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Sind nur die deutschen Wissenschaftler vor dem 1. Weltkrieg extrem patriotisch?
- 2) Gibt es andere Wissenschaftler, die in Nazideutschland geblieben sind und sich auf Distanz zum Regime gehalten haben?

ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955)

Der preussische Stil im Münchner Gymnasium liegt **Albert** nicht, und er reist ohne Abschluss nach Pavia, zu **Einstein** & Garrone. Weil er die Aufnahmeprüfung an die ETH im allgemeinbildenden Teil nicht besteht, holt er an der Kantonsschule Aarau die Matura nach. Dort macht er sich schon Gedanken zur Relativitätstheorie. Er studiert Gymnasiallehrer an der ETH und lernt seine spätere Frau Mileva



kennen. Weil er das Labor schwänzt, erhält er keine Doktorandenstelle und muss sich als Hilfslehrer durchschlagen. Er hat nun Zeit, Plancks Arbeiten zu lesen und schreibt am 4. April 1901 an Mileva: *Gegen die Studien über die Strahlung von Max Planck sind mir prinzipielle Bedenken aufgestiegen*. Dank Beziehungen erhält er eine Stelle am Patentamt in Bern. Er heiratet gegen den Willen der Eltern und stösst 1905, seinem kreativsten Jahr, auf einen Widerspruch bei Planck: *Die Energie eines ponderablen Körpers kann nicht in beliebig viele, beliebig kleine Teile zerfallen [weil es Atome gibt, HPD], während sich die Energie (...) eines Lichtstrahls*

nach der Maxwellschen Theorie (...) kontinuierlich verteilt. Ihm scheint klar, dass auch die Lichtenergie nicht in beliebig kleine Teile zerfällt. Es braucht Lichtquanten. Diese werden anfänglich in der Gelehrtenwelt, etwa durch Planck und von Laue, mit Skepsis aufgenommen.

Mit jeder Publikation wird Einstein bekannter und schliesslich Professor: in Zürich, in Prag, an der ETH und als Krönung in Berlin. Doch dabei geht seine erste Ehe in Brüche. Mileva reist 1914 mit den beiden Söhnen nach Zürich. *Weinend ist er vom Bahnhof zurückgegangen*, sagt Einsteins Sekretärin. Im kriegsbegeisterten Berlin ist er einer der wenigen Intellektuellen, die sich öffentlich pazifistisch zeigen und den *Aufruf an die Europäer* unterschreiben. Er arbeitet an der Allgemeinen Relativitätstheorie, für die er in der Öffentlichkeit berühmt wird, nachdem die Lichtablenkung durch die Sonne gezeigt wird.

Nach dem ersten Weltkrieg setzt er sehr viel Zeit für Versöhnung und Frieden ein. Einstein wird ins Komitee für intellektuelle Zusammenarbeit des Völkerbunds berufen, aus dem Deutschland noch ausgeschlossen ist. Damit gerät er als Jude zusätzlich ins Visier der Nationalsozialisten, bei denen sich Philipp Lenard, der Photoeffekt-Nobelpreisträger von 1905, hervortut. Einstein fühlt sich nicht mehr sicher und reist 1921 um die Welt. Die Schweiz und Deutschland streiten, wer Einsteins Nobelpreis abholen darf, der unterdessen in New York und Tokyo begeistert und wie ein Star empfangen wird.



Zurück in Deutschland glaubt er, *dass der Völkerbund weder die Kraft noch den Willen zur Erfüllung seiner großen Aufgabe hat. Als ernsthafter Pazifist halte ich es deshalb nicht für richtig, mit demselben irgendwie verbunden zu sein*. Im Briefwechsel mit Sigmund Freud fragt er sich: *Wie ist es möglich, dass eine Minderheit die Masse des Volkes ihren Gelüsten dienstbar machen kann, die durch einen Krieg nur zu leiden und zu verlieren hat?* Bis 1932 bleibt er in Berlin. Dann schliesst er sein Haus in Caputh ab und sagt zu seiner zweiten Frau Elsa: *Dreh dich um, du siehst's nie wieder*. Bald durchsuchen die Sturmabteilungen der Nazis Einsteins Haus und nehmen sein Vermögen in Beschlag. Er emigriert in die USA, wirkt am Institute for Advanced Studies in Princeton, und stirbt, ohne seine geistige Heimat Europa je wieder besucht zu haben.

Immer wieder spielen die Quanten eine Rolle. 1916 schreibt er aus Berlin seinem Freund Michele Besso nach Bern: *Es ist mir ein prächtiges Licht über die Absorption und Emission der Strahlung aufgegangen*. Überraschend schickt ihm 1924 der Inder Satyendra Bose eine Arbeit zur Quantenstatistik, die vom *Philosophical Magazine* abgelehnt worden war. Aus dieser entsteht gemeinsam die Bose-Einstein-Statistik, mit der sich später Supraleitfähigkeit usw. erklären lässt. Später tritt er nur noch als grosser Skeptiker gegen die neue Quantenmechanik auf. 1927 streitet er sich mit Niels Bohr. 1935 stellt er die Frage in den Raum: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?* Sie beschäftigt die Physiker bis heute (Kapitel 3).

Immer wieder spielen die Quanten eine Rolle. 1916 schreibt er aus Berlin seinem Freund Michele Besso nach Bern: *Es ist mir ein prächtiges Licht über die Absorption und Emission der Strahlung aufgegangen*. Überraschend schickt ihm 1924 der Inder Satyendra Bose eine Arbeit zur Quantenstatistik, die vom *Philosophical Magazine* abgelehnt worden war. Aus dieser entsteht gemeinsam die Bose-Einstein-Statistik, mit der sich später Supraleitfähigkeit usw. erklären lässt. Später tritt er nur noch als grosser Skeptiker gegen die neue Quantenmechanik auf. 1927 streitet er sich mit Niels Bohr. 1935 stellt er die Frage in den Raum: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?* Sie beschäftigt die Physiker bis heute (Kapitel 3).

Zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Eine Legende charakterisiert Einstein als weltfremden Theoretiker. - Wie weit stimmt dies mit seiner Biografie überein?
- 2) Einstein wurde angefragt, ob er Präsident von Israel werden wolle. - Wie stand er zum Zionismus?
- 3) Wieso wird der populäre Einstein immer mit der Relativität und nie mit den Quanten verknüpft?

MARIE SKLODOWSKA CURIE (1867-1934)

Marie wird als **Maria Salomea Skłodowska** in Warschau, im damals russischen Polen als fünftes Kind eines Lehrerehepaars geboren. Nach dem Abitur muss sie vorerst zur Unterstützung der Familie beitragen. 1891 reist Maria nach Paris und schreibt sich für Physik bei der Sorbonne ein, weil sie in Polen nicht studieren darf. Sie schliesst in Physik und Mathematik sehr gut ab und erhält von der *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* einen Forschungsauftrag über die magnetischen Eigenschaften verschiedener Stahlsorten. Weil sie ein Labor braucht, wird sie mit Pierre Curie bekannt. 1895 heiraten sie, sie arbeiten zunehmend gemeinsam und 1903 kann Marie endlich ihre Dissertation *Recherches sur les substances radioactives* abschliessen. Im gleichen Jahr erhalten sie und ihr Mann den Nobelpreis, den sie infolge schlechter Gesundheit nicht abholen können. Für alle quantitativen Untersuchungen ist es wichtig, dass die Curies mit dem piezoelektrischen Effekt, den Pierre entdeckt hatte, winzige Ionisationsströme messen können.

Marie wird Lehrerin an einem Mädchengymnasium und unterrichtet gerne. Die Mutter zweier Töchter wird Witwe, als Pierre 1906 unter ein Pferdewerk gerät. Marie übernimmt die Arbeit am Lehrstuhl von Pierre vorerst als *chargée de cours*, dann als erste ordentliche Professorin. Ihre Bewerbung als erste Frau für die *Académie des sciences* wird heftig und mit allen Vorurteilen diskutiert, aber nach Intrigen nicht berücksichtigt. Einen Tag nach der Solvay-Konferenz von 1911, an der sie als einzige Frau teilnimmt, erscheint in der Presse *«Eine Liebesgeschichte Madame Curie und Professor Langevin»*. Das Nobel-



Komitee fordert sie zuerst auf, entweder die Vorwürfe als Ehebrecherin zu entkräften oder auf den Preis zu verzichten. Sie widerspricht. Ihre wissenschaftliche Leistung sei unabhängig von ihrem Privatleben. Zusammen mit ihrer älteren Tochter Irène reist sie nach Schweden und nimmt den Nobelpreis für Chemie entgegen. Im ersten Weltkrieg entwickelt sie mobile Röntgenanlagen, instruiert Ärzte und Schwestern und arbeitet mit Irène zusammen als Radiologin an der Front. Nach dem Krieg

arbeitet sie, wie Albert Einstein für den Völkerbund und kann das Radium-Institut in Paris aufbauen. Mit Geld, das sie auf einer Reise in die USA sammelt, kann sie die 1 Gramm Quelle bauen, die international als Standard für die Masseinheit «Curie» gilt.

Ein Jahrhundert später wird ihre Person immer noch kontrovers beurteilt. Einerseits ist sie die glänzende und unersetzliche Wissenschaftlerin und Mutter, als die sie Eve Curie in der berühmten Biographie «Madame Curie» zeichnet. Andererseits wird moniert, nach dem Tode von Pierre hätte sie allein keine substantiellen wissenschaftlichen Leistungen mehr erbracht.



So oder so: Marie Curie ist ein Rollenmodell als moderne Naturwissenschaftlerin, und sie ist die Mutter von Irène Joliot-Curie, die den Chemie-Nobelpreis für die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität erhalten wird. Im Bild rechts mit Irène ist Marie Curie gezeichnet von den Auswirkungen der ionisierenden Strahlung, der sie sich ohne Rücksicht auf ihre Gesundheit ausgesetzt hat und an deren



Spätfolgen sie verstirbt. 50 Jahre nach Marie wird auch Irène nicht in die *Académie* aufgenommen!

Zum Nachdenken und Diskutieren:

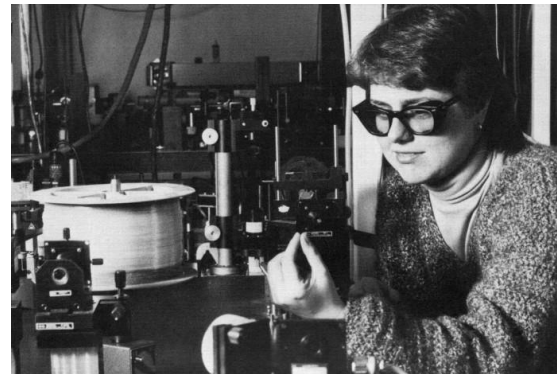
- 1) Welche Rolle spielte Paris vor 1900 für die Akademikerinnen und Akademiker Polens?
- 2) Wie behandelte die Presse Professor Langevin in der «Affäre Curie»?
- 3) Spielten die fahrbaren Röntgenstationen an der Westfront wirklich eine Rolle?
- 4) Welche Rolle spielte Marie Curie bei der Entwicklung der Strahlenbehandlung von Krebs?

DONNA STRICKLAND *1959

The Nobel Prize in Physics 2018 was awarded for groundbreaking inventions in the field of laser physics with one half to Arthur Ashkin for the optical tweezers and their application to biological systems, the other half jointly to Gérard Mourou and Donna Strickland for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses.

Im 20. und 21. Jahrhundert werden grosse Entdeckungen noch weniger als früher von einzelnen Persönlichkeiten gemacht. Es gibt in der Forschung eine grosse Anzahl Physiker und auch einige Physikerinnen, die alle in einem intensiven Austausch und in gegenseitiger Konkurrenz stehen. Besonders die Experimentalphysiker – und die Physikerinnen noch mehr – müssen sich spezialisieren, denn ihre Geräte werden durch den technischen Fortschritt rasch durch viel empfindlichere ersetzt. Donna Strickland ist nach Marie Curie, und Maria Goeppert Mayer erst die dritte Frau mit dieser Auszeichnung. 2020 wird die Astrophysikerin Andrea Ghez für die Entdeckung des Schwarzen Lochs in der Milchstrasse den Preis erhalten.

Donna Stricklands Spezialgebiet ist Quantenoptik. Als sie den Nobelpreis erhält, ist sie immer noch Assistenzprofessorin an der Universität Waterloo. Sie beklagt sich nicht darüber, sondern sagt, dass sie zu bequem war, sich um eine ordentliche Professur zu bewerben: *I'm just a lazy person. I do what I want to do and that wasn't worth doing.* Seit 1991 mit dem Physiker Doug Dykaar verheiratet, folgt sie ihm nach New Jersey in die Bell Labs und später nach Kalifornien ins Lawrence Livermore Lab bevor sie die Stelle in Waterloo erhält und umgekehrt er ihr nachfolgt.



Donna wird in Guelph, Canada, in eine fünfköpfige Familie geboren. Die Mutter ist Englischlehrerin, der Vater Elektroingenieur. In der Highschool ist sie nur in Mathematik und Physik richtig gut. *Some people are good at a lot of things. I don't know how they choose what to do.* Sie entscheidet sich für ein Studium in Technischer Physik, weil die Universität mit Kursen über Laser wirbt. *Now doesn't that sounds cool?* Im Alter von 22 schliesst sie als eine von drei Frauen in einer Klasse von 25 Studierenden ab und entscheidet sich für ein Doktorat an der University of Rochester beim französischen Physiker Gérard Mourou. *I was to take Gérard's beautiful idea and make it reality,* sagt sie später. *It is the one time in my life that I worked very, very hard!*



Ein Viertel Jahrhundert kann sie sich zusammen mit ihrem damaligen Chef darüber freuen, dass die sehr sehr harte Arbeit sich gelohnt hat. Wie man extrem kurze, aber höchst energie-reiche Laserpulse erzeugen kann, ist von einer Idee zu einer verbreiteten Technik geworden. Gérard Mourou betont, dass Donna keine Quotenfrau ist: *Whatever her title, Strickland helped revolutionise laser physics, as well as shed light on a lack of women in her field.*

Zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Könnte Donna Strickland auf eine ordentliche Professur verzichtet haben, damit sie nicht zu viele Unterrichts- und Administrationspflichten und mehr Zeit für Forschung hat?
- 2) Vergleichen Sie die beruflichen Situationen von Marie Curie und Donna Strickland.

PANORAMA 1925: NEUBEGINN NACH DEM ZUSAMMENBRUCH

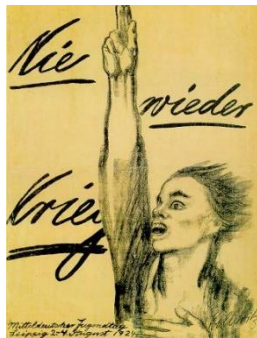
Im August 1914 erlauben die Schüsse von Sarajewo den k&k Generälen endlich loszuschlagen. Durch das komplizierte Bündnissystem erklären sich einerseits Deutschland,



Österreich-Ungarn und das Osmanische Reich und andererseits Frankreich, Grossbritannien, Russland und Italien gegenseitig den Krieg. Anfänglich ist die Kriegsbegeisterung besonders in Deutschland und Frankreich riesig. Niels Bohr kann zwischen seiner neutralen Heimat und England hin und her reisen weil dessen Flotte stets die Hoheit über die Weltmeere behält. Je höher der Blutzoll und je stärker die wirtschaftlichen Probleme im Hinterland sind, desto stärker wird der Ruf für ein Kriegsende.



Mit deutscher Hilfe kommt Lenin nach Russland. Die Revolution dient den Mittelmächten. Doch der Kriegseintritt der USA verhilft der Triple Entente im Westen zum Sieg und katapultiert die USA zur Weltmacht. Der russische Zar, der osmanische Sultan, der Deutsche und der Österreichisch-Ungarische-Kaiser verschwinden ebenso von der politischen Bühne wie die Kaiserin von China.



10 Millionen Tote, riesige Kriegsschulden und die starke Geldentwertung führen zum Ruf: „Nie wieder Krieg“. Der Völkerbund in Genf soll dafür sorgen, scheitert aber an nationalistischen Ressentiments. Reaktionäre, Financiers und Idealisten lassen sie in Italien, Spanien, Frankreich ... Faschisten aller Schattierungen aufsteigen. Der Nationalsozialismus setzt sich in der Weimarer Republik durch.



GESELLSCHAFT

SOZIALES: Die Frauen sind für die Kriegswirtschaft unersetzlich. Das bringt Emanzipation und die Forderung nach dem Wahlrecht. Mit dem Kriegsende und dem Verschwinden der Monarchen kommen Hunger und Chaos. Die Revolution schwappt auf Deutschland, Österreich und Italien über. Oswald Spenglers «Der Untergang des Abendlands» hat eine ungeheure Wirkung, psychologisch nur aus der Niederlage Deutschlands im Kriege zu verstehen.



LITERARISCHES - PAUL CLAUDEL UND GUILLAUME APOLLINAIRE: Der Diplomat und Literat Claudel ist mit seiner konservativen Werthaltung ein Geistesverwandter der Adligen de Broglie-Brüder.

Ein Gegenpol ist der turbulente Symbolist Apollinaire, der in den Krieg ziehen muss, im Schützengraben schwer verwundet wird und 1918 wie viele andere der Spanischen Grippe erliegt.

MUSIKALISCHES - DARIUS MILHAUD UND LE MOULIN ROUGE: Milhaud verbindet eine Freundschaft



mit Claudel, dem er nach Südamerika folgt, wo er die Folklore studiert. Zurück in Paris gründet er die „Groupe des Six“, die den Stil von Debussy ebenso ablehnt, wie den von Wagner. Gleichzeitig blüht die Unterhaltungsmusik des Variété, nicht nur in Paris...



BILDENDE KÜNSTE - MONTMARTRE: Montmartre ist das Sinnbild für Kunst und Vergnügen. Toulouse-Lautrec, Auguste Renoir, Juan Gris, Georges Braque, Pablo Picasso, Marcel Proust, Maurice Utrillo ... leben und wirken in Paris,

sogar als die Geschosse der deutschen Ferngeschütze einschlagen.

TECHNIK UND WISSENSCHAFT

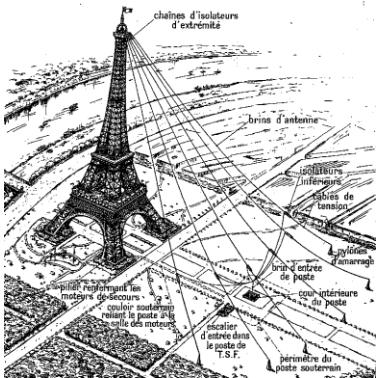
VERKEHR: Es ist das Zeitalter der grossen Expresszüge durch ganz Europa für diejenigen in der Klasse I.



Es gibt auch Klasse III... Der Zeppelin wird vom Sportgerät umfunktioniert für die Luft-Aufklärung und Bombardierung. Er entwickelt sich zum betriebssicheren Gerät mit dem «man» reist und Luftpost transportierten kann, auch weil die Meteorologie die Bedeutung der Frontensysteme entdeckt.

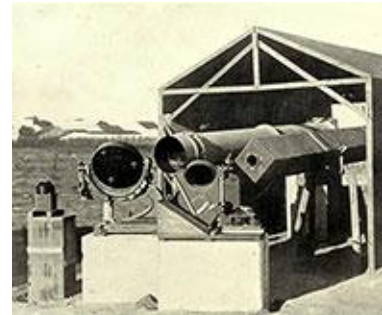


KOMMUNIKATION: Der Eiffelturm dient im Krieg als Sendeantenne. Dank der Vakuum-Radioröhren wird nachher die Übertragung von Sprache und Musik möglich. Das Zeitalter der Massenkommunikation beginnt.



MATHEMATIK: David Hilbert in Göttingen ist der letzte Universalmathematiker. Er meint: «Die Physik ist für die Physiker viel zu schwer.» Er arbeitet an der mathematischen Basis der Quantentheorie.

ASTRONOMIE: Die Vorhersage der Allgemeinen Relativitätstheorie, dass das Licht von Sternen durch die Sonne um ein halbes Grad abgelenkt würde, wird durch eine englische Sonnenfinsternisexpedition bestätigt. Das macht Einstein nach Kriegsende zum Medienstar.



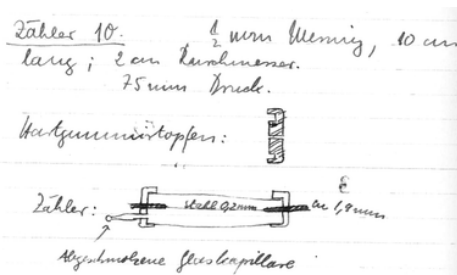
MEDIZIN: Bacille Calmette-Guérin (BCG) ist ein von den Franzosen Albert Calmette und Camille Guérin Anfang des 20. Jahrhunderts aus einem Wildtyp durch dauernd wiederholte Fortzüchtung entwickeltes abgeschwächtes Bakterium, das als Lebendimpfstoff gegen Tuberkulose (TB) verwendet wird. Ab 1918 gibt es in vielen Ländern schwere Grippeepidemien.

BIOLOGIE: Innert wenigen Jahren werden verschiedene Vitamine (Lebens-Amine) samt Wirkung identifiziert: B₁ gegen Beriberi in Reiskleie, A gegen Nachtblindheit in Fischöl, D gegen Rachitis usw.



CHEMIE: Fritz Haber entwickelt zusammen mit Carl Bosch die Ammoniaksynthese und später verschiedene Giftgase. Haber leitet persönlich den allerersten Einsatz an der Westfront. Habers Frau, selbst Chemikerin, begeht aus Protest gegen das militaristische Engagement ihres Mannes Selbstmord.

PHYSIK: 1922 erhält Niels Bohr den Physik-Nobelpreis «für seine Verdienste um die Erforschung der Struktur der Atome und der von ihnen ausgehenden Strahlung.» Albert Einstein erhält den Preis für 1921, ist aber in Japan, so dass der Deutsche und der Schweizer Botschafter darüber streiten, wer ihn stellvertretend entgegennehmen darf.



Hans Geiger baut das bekannte Zählrohr für ionisierende Strahlung. Mit Vakuum-Radio-Röhren können er und Walter Bothe 1924 Koinzidenz-Schaltungen bauen und den Nachweis erbringen, dass beim Compton-Effekt die Energieerhaltung gilt, was Bohr angezweifelt hatte.

NIELS BOHR (1885-1962)

Niels Hendrik David Bohr ist heute allen Lernenden im Zusammenhang mit dem Planetenmodell des Atoms ein Begriff. Alle professionellen Quantenmechaniker, die ihn persönlich kannten, äusserten sich uneingeschränkt positiv über sein freundliches und hilfreiches Wesen. - Sein Vater ist Professor für



Physiologie an der Universität Kopenhagen, wo Niels Physik und sein jüngerer Bruder Harald Mathematik studieren. Nach dem Doktorat geht Niels nach Cambridge zu J. J. Thomson und wechselt nach Manchester zu Ernest Rutherford, wo er 1913 die berühmte Arbeit über die Struktur stationärer Atome publiziert. Zurück in Kopenhagen betreibt er mit Erfolg die Einrichtung eines Instituts für theoretische Physik mit einem eigenen Gebäude. Im Sommer 1922 findet die als «Bohr-Festspiele» bezeichnete Vortragsreihe in Göttingen statt. Im Herbst erhält er den Nobelpreis *for his services in the investigation of the structure of atoms and of the radiation emanating from them*. 1975 wird sein Sohn Aage Niels Bohr

einen Drittel-Nobelpreis für den Beitrag zur Struktur des Atomkerns bekommen.

Kopenhagen ist in den 20er Jahren das Mekka der Quantenphysiker. Alle verbringen kürzere oder längere Aufenthalte im Institut und profitieren von der offenen Atmosphäre und von anregenden Diskussionen mit dem Chef. Der Begriff «Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik» spricht Bände. Schrödinger, Heisenberg, Einstein und viele andere führen lange Gespräche mit ihm. Bohr seinerseits entwickelt dabei das Komplementaritätsprinzip. Unten ist Bohr im Gespräch mit Werner Heisenberg und Wolfgang Pauli. In den 30er Jahren verlagert auch Bohr seinen Fokus auf die Kernphysik und sorgt in seinem Institut für eine Neutronenquelle und einen Beschleuniger. Viele fliehen wie Lise Meitner über Kopenhagen aus Nazideutschland. Heisenberg besucht 1941 Bohr. Zum Inhalt der Gespräche gibt es widersprüchliche Angaben - und ein Theaterstück. Bohr selber flüchtet über Schweden in die USA und wird beim Manhattan-Projekt konsultiert. Nach Kriegsende setzt er sich mit Einstein und anderen für den Weltfrieden ein. Bohrs letzter Beitrag zur Physik ist der Aufbau des CERN, den er von Kopenhagen aus startet.



Bohrs Atommodell von 1913

Im November 1911 lernt Bohr Ernest Rutherford kennen, der im Frühjahr den Atomkern postuliert hat. 1912 macht Bohr bei Rutherford ein Praktikum. Bohr wird klar, dass nach den Regeln der klassischen Physik um den Kern kreisende Elektronen elektromagnetisch strahlen, Energie abgeben und abstürzen müssen. 1913 publiziert er als Lösung für dieses Problem die Arbeit «Über die Konstitution der Atome und Moleküle». In diesem Artikel gibt es **kein Bild** vom Planetenmodell! Bohr nimmt aber «*ein einfaches System, das aus einem um einen positiven Kern rotierenden Elektron besteht*» und stellt fest: «*Wie man die Bewegungsgesetze der Elektronen auch modifizieren mag, man kommt nicht daran vorbei, eine der klassischen Elektrodynamik fremde Grösse - nämlich die Plancksche Konstante oder, wie sie oft bezeichnet wird, das elementare Wirkungsquantum - in die betreffenden Gesetze einzuführen.*» Um die Stabilität, den «,permanenten' Zustand eines Systems aus Kern und an ihn gebundenen Elektronen» zu erklären, postuliert er: «*Für ein System, das aus einem Kern und aus einem einzigen um ihn kreisenden Elektron besteht, wird dieser Zustand (...) durch die Bedingung bestimmt, dass der Drehimpuls des Elektrons bezüglich des Kerns gleich $h/2\pi$ ist.*» Bohr sieht seine Theorie durch zwei Argumente bestätigt: (1) Er berechnet den Bahnradius und erhält die damals bekannte Grössenordnung der Atome. (2) Er berechnet die Energiedifferenz zwischen dem Grundzustand und angeregten Zuständen und erhält eine auf fünf Stellen genaue Übereinstimmung mit der experimentell gut bestätigten Balmer-Formel. Einstein soll über Bohrs Arbeit gesagt haben: «Das ist eine der grössten Entdeckungen.» Stern und von Laue sprechen sich im «Üetlichswur» gegen «diesen «Unsinn» aus.

Fragen zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Wie hätte sich die Physik entwickeln können, wenn Bohr Rutherford nicht kennen gelernt hätte?
- 2) Hätte Bohr das nukleare Wettrüsten früh stoppen können?

HERTHA SPONER (1895-1968)

Hertha Dorothea Elisabeth Sponer kommt über die Lehrerinnenausbildung an die Universität und zur Physik. Mit Molekülspektren beschäftigt sie sich schon 1920 in der Dissertation bei Peter Debye in



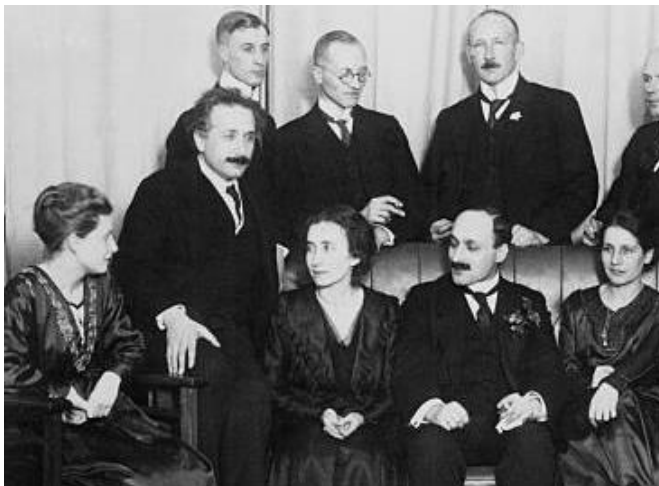
Göttingen: «Über ultrarote Absorption zweiatomiger Gase». Als Postdoc bildet sie sich in Berlin weiter und kehrt dann nach Göttingen zurück. 1921 schreibt Born an Einstein: *Minkowski will zusammen mit Fr. Sponer Versuche machen* [zur freien Weglänge langsamer Elektronen, HPD]. 1925 wird sie Privatdozentin mit der Habilitationsarbeit «Anregungspotentiale der Bandenspektren des Stickstoffs». 1925/26 wird sie zu einem Studienaufenthalt an die Universität Berkeley eingeladen, was zum reproduzierten

Zeitungsartikel führt. Sie ist offensichtlich eine sehr beliebte Dozentin im liberalen Göttingen.

1932 wird sie nichtbeamtete ausserordentliche Professorin, denn das Gesetz verbietet ausdrücklich die Verbeamtung von Frauen. Aus dieser Zeit stammt das Gruppenbild unten mit dem stehenden Einstein, vor dem Hertha Sponer, Ingrid und James Franck und Lise Meitner sitzen. 1933 verliert sie ihre Stelle, weil ihr formaler Vorgesetzter Franck aus Protest gegen das NS-Regime demissioniert. Über Oslo emigriert sie in die USA, wo sie 1936 eine Professur an der Duke University in North Carolina erhält.

1946 heiratet sie ihren unterdessen verwitweten, ehemaligen Göttinger Kollegen James Franck.

Der hatte 1926 für seine Arbeit am Franck-Hertz-Versuch den Nobelpreis erhalten, war auch in die USA emigriert, hatte im Manhattan Project mitgearbeitet und mit seinem Report an den Kriegsminister im Juni 1945 versucht, den Atombombenabwurf über Japan zu verhindern. 1964, nach dem Tod ihres Mannes kehrt Hertha Sponer nach Deutschland zurück.



In Berkeley kann Hertha Sponer mit einem neuen Vakuumspektrographen arbeiten. Diese Technik baut sie in Göttingen aus. Hertha Sponer leistet umfassende Beiträge zur Anwendung quantentheoretischer Methoden in der Atom- und Molekülphysik und schreibt die zwei Bände «Molekülspektren und ihre Anwendung auf chemische Probleme».

An der Duke University ist ihr Institut ein internationaler Anziehungspunkt. Sie wird als Gastprofessorin nach Schweden und Japan eingeladen. Hertha Sponer arbeitet am Schluss zur Fluoreszenz.

Die Spektren der Molekülschwingungen, die Vibrationsbanden und die Spektren der Molekülrotationen, die Rotationsbanden, sind die Grundlagen für die IR-Spektroskopie in der Chemie. Sie ermöglicht nicht nur Spurensicherung für Detektive sondern ist auch zentral beim Treibhauseffekt und der Beurteilung von Möglichkeiten, die antropogenen Veränderungen zu begrenzen.

Fragen zum Recherchieren, Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Aus welchen Gründen muss es in einem IR-Spektrographen ein Vakuum haben?
- 2) Wieso emigrierte Hertha Sponer in die USA?
- 3) Diskutieren sie in einer Kleingruppe, in der beide Geschlechter vertreten sind, folgenden Sachverhalt: Die Deutsche Physikalische Gesellschaft stiftet 2001 den Hertha Sponer-Preis, der «vor allem jüngere Wissenschaftlerinnen sichtbar machen» soll.

LOUIS DE BROGLIE (1892 - 1987)

Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie wird in eine adelige, abgehobene Welt geboren. Sein



älterer Bruder Maurice übernimmt die Aufgabe des verstorbenen Vaters und schickt ihn in Paris ins Lycée. Während des Studiums an der Pariser Sorbonne befasst er sich zunächst mit der Philosophie und der Geschichte. Auf Anregung von Maurice, eines promovierten Physikers, studiert er Mathematik und Physik. Maurice ist Sekretär der 1. Solvay-Konferenz von 1911, auf der Einstein den Dualismus des Lichts vorträgt. Maurice versorgt Louis mit den Texten der Referate und Diskussionen, der so das erste Mal in intensiven Kontakt mit der Quantenphysik kommt. Er entscheidet sich «à épouser la science et elle seule» und

löst effektiv seine Verlobung auf. Der Unterricht an der Sorbonne ist veraltet, besonders im mathematischen Bereich; trotzdem schliesst er 1913 mit Bestnoten ab.

Durch den Ersten Weltkrieg muss Louis de Broglie sein Studium mehrere Jahre unterbrechen. Er wird Nachrichtenoffizier und verbringt den größten Teil seiner Dienstzeit in der funktelegraphischen Station des Eiffelturms. 1919 muss er seinen Rückstand auf den Forschungsstand aufholen, er bearbeitet die Theorie meist allein und experimentiert im Privatlabor seines Bruders, der sich mit Röntgenspektroskopie und dem Photoeffekt beschäftigt. Ende des Jahres 1923 erscheinen die ersten Abhandlungen zur Wellenmechanik des noch vollständig unbekanntem jüngeren de Broglie.

1924 schliesst de Broglie seine berühmt gewordene Dissertation *Recherches sur la théorie des quanta* ab, in der er vermutet, dass der Welle-Teilchen-Dualismus auf jegliche feste Materie anzuwenden sei. Der Prüfungsausschuss der Pariser Sorbonne, zu dem auch die bekannten Physiker Jean-Baptiste Perrin und Paul Langevin gehörten, ist sich unsicher, wie er auf diesen kühnen und experimentell nicht bestätigten Vorschlag reagieren soll. De Broglie selbst äußerte in Bezug auf die Skepsis Paul Langevins, dieser sei *probablement un peu étonné par la nouveauté de mes idées* gewesen. Langevin schickte ein Exemplar der Dissertation, die ausdrücklich auf Einstein Bezug nimmt, nach Berlin. Einstein wiederum informiert Max Born und meint: *Die Arbeit von de Broglie hat grossen Eindruck auf mich gemacht. Er hat einen Zipfel des grossen Vorhangs gelüftet.* Später erklärt er, er glaube, dass de Broglies Doktorarbeit den ersten schwachen Lichtstrahl *auf dieses leidigste unter den physikalischen Rätseln* - den Dualismus des Lichts - werfe. Max Planck berichtet, wie ungewöhnlich er de Broglies neue Gedanken zunächst empfunden hat: *Die Kühnheit dieser Idee war so gross – ich muss aufrichtig sagen, daß ich selber auch damals den Kopf schüttelte dazu, und ich erinnere mich sehr gut, daß Herr Lorentz mir damals sagte im vertraulichen Privatgespräch: ‚Diese jungen Leute nehmen es doch gar zu leicht, alte physikalische Begriffe beiseite zu setzen!‘ Es war damals die Rede von Broglie-Wellen, von der Heisenbergschen Unschärfe-Relation – das schien damals uns Älteren etwas sehr schwer Verständliches.*

Von de Broglie geht ein wichtiger Impuls zum Umsturz der «Alten Quantenphysik» aus. Erwin Schrödinger, Professor für theoretische Physik in Zürich, studiert de Broglies Arbeiten und entwickelt sie im Frühling 1926 zur Wellenmechanik weiter. Plötzlich ist Louis der berühmtere der de Broglie-Brüder. 1927 wird er selbstverständlich an den 5. Solvay-Kongress in Brüssel eingeladen. Bereits 1929 erhält er den Nobelpreis für Physik *pour la découverte de la nature ondulatoire de l'électron*. Nun wird er zum Professor für Theoretische Physik am Institut Henri Poincaré in Paris berufen. Er wechselt 1932 an die Sorbonne, wo er bis 1962 lehrt. Er bleibt zwar aristokratisch in den Umgangsformen und doch bescheiden. Den Titel *Prince* lehnt er ab, weil der nicht erarbeitet sondern nur ererbt worden sei.

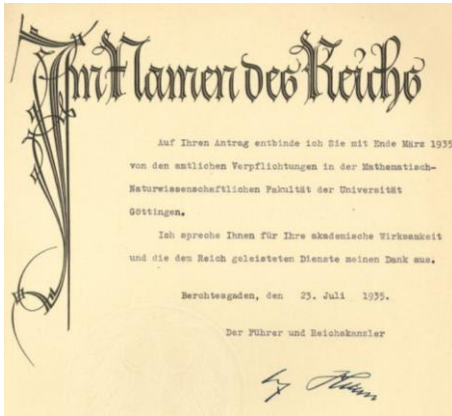
Eine Weile akzeptiert de Broglie die Wahrscheinlichkeitsauslegung «seiner» Wellen gemäss der Kopenhagener Interpretation. Später aber wird er ebenso skeptisch wie Einstein und Schrödinger. Er findet ein Gedankenexperiment: Was geschieht mit dem Elektron, das man in eine verspiegelte Schachtel steckt, die man in zwei Hälften teilen kann, wenn man eine Hälfte nach Tokyo bringt, sie dort öffnet und die Schachtel leer findet? Wieso weiss es, dass es in Paris (geblieben?) sein muss?

Fragen zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Welche verschiedenen Formen der Kommunikation standen den Physikern im Zeitraum von 1900 bis 1930 zur Verfügung? Wie entwickelte sich das Reisen in dieser Zeitspanne?
- 2) Louis de Broglie entscheidet sich bei Beginn seiner Dissertation «à épouser la science et elle seule.» Kommentieren Sie den Sachverhalt, dass er effektiv seine Verlobung auflöst und auch nie heiratet.

MAX BORN (1882-1970)

Max Born studiert zuerst in seiner Heimatstadt Breslau, dann in Cambridge und Göttingen. Er beschäftigt sich schon früh mit Relativitätstheorie und Optik und wird 1915 Professor in Berlin. 1921 wird er nach Göttingen berufen, das neben Kopenhagen zum zweiten Zentrum für Quantenphysik wird, und wo er bis zur



Machtergreifung der Nazis bleibt. 1933 muss er wie Einstein flüchten. Im Bild ist die Urkunde, mit der der «Reichskanzler und Führer» im Sommer 1935 Max Born «auf Ihren Antrag» von den akademischen Verpflichtungen in Göttingen entbindet. Born erhält 1936 die Professur in Edinburgh, die Schrödinger ausgeschlagen hat. 1953 geht er nach Göttingen zurück, engagiert sich für den Wiederaufbau, aber auch gegen die atomare Aufrüstung der Bundeswehr. Eine lebenslange Freundschaft verbindet das Ehepaar Born mit Albert Einstein, wie der publizierte Briefwechsel dokumentiert. Neben der Physik kommt das Private nicht zu kurz.

«Lieber Born», schreibt Einstein im Oktober 1953, «Wenn es jemanden gibt, der für Deine Übersiedlung in das Land der Massenmörder unserer Stammesgenossen verantwortlich gemacht werden könnte, so ist es allenfalls Dein für seine Sparsamkeit allberühmtes Adoptiv-Vaterland [Schottland].» 1954 erhält Max Born den Physik-Nobelpreis für seine ein Vierteljahrhundert früher gewonnene Erkenntnis zur statistischen Interpretation der Wellenfunktion.

Born wendet schon 1912 die Quantenideen in Kristallgittern an. 1918 kommt er in dem Zusammenhang zu einer kritischen Bewertung des Bohrschen Atommodells: «Die Berechnungen zeigen, dass die Elektronen in einem einzelnen Atom in allen Raumrichtungen gleichmässig verteilt sind und nicht in ebenen Scheiben. Ebene Bahnen genügen nicht, die Atome sind offensichtlich dreidimensionale Strukturen und in diesem Sinn verlangen wir eine Verallgemeinerung der Theorie.» An dieser Verallgemeinerung arbeiten er und seine genialen jungen Mitarbeiter, namentlich Heisenberg und



Pauli. In einem Artikel von 1924 prägt Max Born den Begriff «Quantenmechanik».

In Göttingen arbeitet man 1925 an einer neuartigen Mechanik, während der Chef, Max Born, zu einer längeren Vortragsserie in die USA reist. Born hat Kenntnis von de Broglies Dissertation, aber Schrödingers Wellenmechanik ist noch nicht formuliert. Vom November bis zum Januar 1926 hält er am MIT Vorlesungen über Quantenphysik. Daraus entsteht das erste Lehrbuch zu diesem Thema. Im Sommer 1926 publiziert Born seine Arbeiten zur Elektronenstreuung. Mit der statistischen Interpretation von Schrödingers Wellenfunktion legt er eine zentrale Basis der Quanten-

mechanik. Er hält in Oxford einen Vortrag und überrascht den dort anwesenden Clinton Davisson mit dem Befund, die Messungen von 1923 bestätigten de Broglies Wellentheorie.

Nach Pauli und Heisenberg sind Hund und Heitler die berühmtesten seiner jungen Schüler. Diese machen 1925 bis 1927 so rasche Fortschritte, dass Born manchmal Mühe hat, der «Knabenphysik», wie er an Einstein schreibt, zu folgen. Bemerkenswert ist, dass an Borns Institut verschiedene Frauen in Theoretischer Physik doktorieren, unter ihnen Maria Goeppert-Mayer und Herta Sponer. Im Bild radelt Maria Goeppert mit Max Born (rechts) und Viktor Weisskopf, dem späteren CERN-Direktor, durch das idyllische Göttingen der Zwanziger Jahre.

Fragen zum Nachdenken und Diskutieren:

1) Auf welcher Stufe ihrer Karrieren standen de Broglie und Born in den Jahren 1913 (Bohr publiziert sein Atommodell) und 1922 (Bohr erhält den Physik-Nobelpreis)?

2) Aus welchen Gründen sind Max und Hedi Born nach Deutschland zurückgekehrt?

ERWIN SCHRÖDINGER (1887-1961)

Erwin Schrödinger (rechts als Gymnasiast) wächst gut behütet in einem bürgerlichen Elternhaus in Wien auf. Er studiert an der Universität Wien, arbeitet an der Thermodynamik, der Relativitätstheorie, vereinzelt mit der Bohrschen Atomtheorie und interessiert sich für Philosophie. 1922 wird er Professor an der Universität Zürich. Die Entscheidung erscheint nur zu verständlich. Die vom Krieg verschont gebliebene Schweiz bezahlt gute Gehälter und er kennt den Aufstieg jener beiden Männer, die diese Stelle vor ihm innehatten: Albert Einstein und Max von Laue. Ein Student schildert den Vorlesungsstil: *Im Sommer, wenn es warm genug war, gingen wir an den Strand des Zürichsees, sassen mit unseren Notizen auf dem Gras und schauten zum schlanken Mann in der Badehose, der seine Gleichungen auf eine improvisierte Wandtafel schrieb, die er mitgebracht hatte.*



1926 will er *Ernst machen mit der de Broglie-Einsteinschen Undulationstheorie der bewegten Korpuskel, nach welcher dieselbe nichts weiter als eine Art ‚Schaumkamm‘ auf einer den Weltgrund bildenden Wellenstrahlung ist.* Es gelingt ihm in einer konzentrierten Kraftanstrengung, inspiriert durch die Arbeiten von Louis de Broglie, eine neue Mechanik zu schaffen: Die Veröffentlichung erfolgt in vier aufeinanderfolgenden Mitteilungen in den Annalen der Physik unter dem Titel *Quantisierung als Eigenwertproblem*. Seine Wellengleichung wird fundamental für die ganze Chemie und Festkörperphysik. Bohr und Heisenberg sind von den Schrödinger-Wellen gar nicht begeistert. Pauli spottet über den «Zürcher Lokalaberglauben». Doch bald zeigt sich, dass die Quantenmechanik in Schrödingers Wellenform, in Heisenbergs Matritzenform und in der Dirac-Form gleichwertig sind.



Schrödingers Arbeiten zur Quantenmechanik machen auf die physikalische Welt gewaltigen Eindruck. Einladungen zu Gastvorträgen an die bedeutendsten Universitäten und ein Ruf an die Berliner Humboldt-Universität, wo er den nach dem Abtreten Max Plancks frei gewordenen Lehrstuhl für Theoretische Physik übernehmen soll, sind die Folge. Obwohl die Zürcher Universitätsleitung und die Studenten ihn halten wollen, entscheidet er sich für die Berliner Position. 1933 erhält er den Nobelpreis und distanziert sich vorerst von den Nazis. Während einer Gastprofessur in England illustriert er seine Kritik an der statistischen Interpretation der Quantenphysik mit seiner berühmten Katze.

Realpolitisch blind, geht er 1937 nach Graz und biedert sich in einem kriecherischen Brief mit dem System an. Trotzdem wird er im August 1938 wegen «politischer Unzuverlässigkeit» entlassen. Mit drei Koffer, 10 Mark und einem irischen Visum können er und seine Frau mit Unterstützung des Vatikans über Italien, die Schweiz und Frankreich nach Dublin flüchten. Dort wird vom früheren Mathematiker und damaligen Staatspräsidenten Devalera das «Institute for Advanced Studies» gegründet, wo er ungestört arbeiten kann. Dort entsteht aus einer populärwissenschaftlichen Vorlesung sein meistverkauftes Buch *Was ist Leben?* Dieses Buch beflügelt die Biophysik sehr stark. James Watson liest es und *will hinter das Geheimnis des Gens kommen.*

Aufgaben zum Recherchieren, Nachdenken und Diskutieren

- 1) Darf ein Physiker ein Buch mit dem Titel «Was ist Leben?» schreiben? Sollte er das Thema nicht besser den Biologen, Theologen und Philosophen überlassen?
- 2) Wie stark waren die Nazis 1937 in Österreich? Wieso liess sich wohl Schrödinger nach Graz berufen? Wie beurteilen Sie sein «Bekanntnis» vom 30. März 1938 in der Grazer Tagespost aus damaliger und heutiger Sicht?
- 3) Kommentieren Sie folgende Aussage Schrödingers: «Es gibt eine weit verbreitete Hypothese, wonach ein objektives Bild der Wirklichkeit in jeder bis dahin vermuteten Deutung nicht existieren kann. Nur die Optimisten unter uns – und ich betrachte mich als einen davon – sehen darin eine philosophische Exzentrizität, einen verzweifelten Versuch angesichts einer grossen Krise.»



PANORAMA 1950: IM ATOMZEITALTER

Nationalistische Ressentiments gefördert von Reaktionären und der Wirtschaftskrise lassen in vielen Demokratien Rechtsextremisten aller Schattierungen aufsteigen:



Mussolinis «Marsch auf Rom» ist schon früh erfolgreich. Franco, Antonescou, Hitler ... In Kroatien, Ungarn, Japan usw. kommen faschistische Regimes an die Macht. Die Alliierten erringen nur langsam die Oberhand. Die Atombombe setzt den Schlusspunkt.



Doch das Misstrauen unter den Siegern mündet nahtlos in den Kalten Krieg. Wiederaufbau und Antikommunismus haben Vorrang. Viele Kriegsverbrecher entgehen dem Tribunal in Nürnberg. Wernher von Braun kann seine Karriere als Raketenbauer in den USA nahtlos fortsetzen.



Das machtpolitische Zentrum verschiebt sich von Europa weg nach Amerika und langsam auch Asien. Indien, Marokko, usw. unterstützen ihre Kolonialherren im Zweiten Weltkrieg. Doch nun wollen sie Unabhängigkeit als Entschädigung. Das Ende des Kolonialsystems zeichnet sich ab. Die kommunistischen Parteien unterstützen sich nach aussen weltweit und etablieren sich nach innen als antidemokratische Institutionen.



Die UNO soll wirksamer werden als der Völkerbund. Sie vermag den Krieg auf der koreanischen Halbinsel nicht zu verhindern. Er ist der erste von vielen Stellvertreterkonflikten, in denen Kapitalismus und Kommunismus um Vorherrschaft ringen.

GESELLSCHAFT



SOZIALES: Die Gesellschaft in Europa ist in Bürgerliche und Sozialisten gespalten. Mit dem Aufschwung nach der Weltwirtschaftskrise nimmt die Not der Arbeiter ab. Trotzdem bleibt die Angst der bürgerlich orientierten Kräfte, der Kommunismus könnte von Stalins Sowjetunion überschwappen.

LITERARISCHES – THOMAS MANN und BERTOLD BRECHT: Die Bücher des grossbürgerlichen Nobelpreisträgers sind nicht auf Nazi-Liste. Trotzdem emigriert Mann und trifft in Princeton auf Einstein.



Ein deutscher Gegenpol ist Brecht, der die sozialen Missstände in der «Dreigroschenoper» anprangert und mit dem «Galilei» die Physik ins «dialektische Theater» bringt. Er geht nach dem Exil in die DDR und erhält im Bild gerade einen Orden von der kommunistischen Partei.



MUSIKALISCHES – JAZZ und GRAMMOPHON: Ursprünglich die Musik der Schwarzamerikaner, dringt der Jazz nach dem Krieg auch nach Europa und in die «klassischen Musik». Das Grammophon macht Musikgenuss neu für breite Massen möglich und fördert den Starkult.



FILM: Mit dem Tonfilm, mit Charlie Chaplin und Marlene Dietrich, mit Eisenstein und Wells usw. erreichten Filmkunst und Filmkonsum neue Ausmasse. «Hollywood» wirken viele Emigranten und setzt nach dem Krieg Massstäbe.

TECHNIK UND WISSENSCHAFT



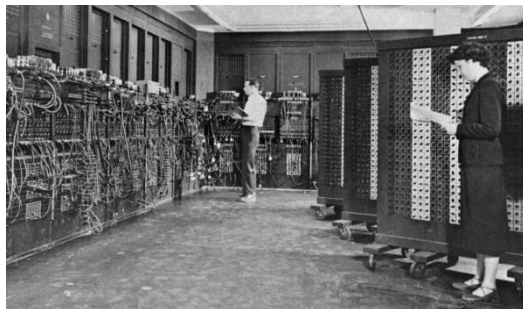
VERKEHR: Das Passagierflugzeug etabliert sich neben den Transatlantik-Linern und den Expresszügen. Aber das Automobil bringt den grössten Wandel. Hitler lässt die ersten Autobahnen bauen und verspricht den Volkswagen für jedermann.



Hitler noch ausschalten; nach dem Krieg verbreitete sich die TV schnell.

KOMMUNIKATION: Die TV-Übertragungen der Olympischen Spiele in Berlin konnte

MATHEMATIK UND INFORMATIK: Der Mathematiker Alan Turing beschäftigt sich mit der Grundfrage der Berechenbarkeit. Er ersetzt Gödels formale Sprache durch einen Mechanismus, die sogenannte Turing-Maschine. In ihr steckt das Grundprinzip des Computers. Er prägt die Wörter «Algorithmus» und «künstliche Intelligenz».



Konkret geht im Krieg in Deutschland der erste Digitalrechner Z3 in Betrieb. Mit dem ENIAC werden in den USA militärische Berechnungen vor allem für die Atombombe in bisher unbekanntem Umfang durchgeführt. Dabei wirkten oft Frauen als Programmierinnen.

ASTRONOMIE: Radioteleskope untersuchen die Supernovae. Bethe und Weizsäcker entdecken einen stellaren Fusionsprozess. Die Lebensgeschichte der Sonne und anderer Sterne wird langsam sichtbar.



BIOLOGIE: Im Zeitalter des Faschismus haben ursprünglich biologische Rassentheorien dramatische und tragische Konsequenzen. Die Molekularbiologie beginnt sich dank neuer Methoden zu entwickeln. Watson und Crick entdecken die DNA-Struktur.

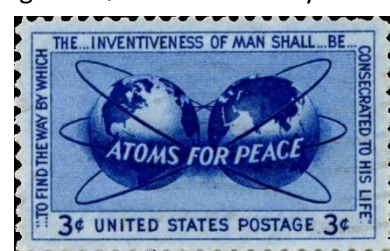


CHEMIE: «Kunststoffe», meist Polymere, werden immer vielfältiger. Immer stabilere Farb- und Klebstoffe werden hergestellt. Viele neue Medikamente, aber auch DDT und andere Pestizide finden Verbreitung.

PHYSIK: Hahn und Strassmann spalten 1938 Uran; Meitner erklärt den Prozess und berechnet die freiwerdende Energie. Vor Kriegsausbruch zeichnet sich die Möglichkeit von Atombomben ab. Nazi-Deutschland, aber auch Grossbritannien und die USA starten Forschungsprogramme. Das Manhattan Project fasst physikalisch-technischen Manpower in bisher unbekanntem Umfang zusammen. Im Kalten Krieg droht die vielfache Auslöschung allen Lebens. Mit «Atoms for Peace» beginnt die grosse Hoffnung auf friedliche Nutzung der Kernenergie für Kraftwerke, aber auch Schiffe, Lokomotiven und Flugzeuge. In den USA stürzen sich «arbeitslose» Theoretiker auf die Entwicklung der Quanten-Elektrodynamik.



Die Experimentatoren können mit Unterstützung des Militärs grosse Beschleuniger bauen. Europa rauft sich zusammen: In Genf wird das CERN gegründet. Die internationale Zusammenarbeit auch mit der UdSSR und Japan beginnt wieder.



LISE MEITNER (1878-1968)

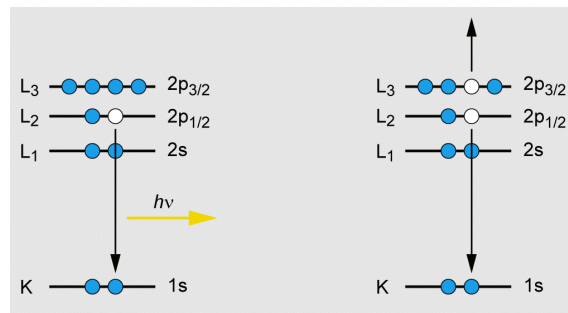
Elise (Lise) Meitner wird 1926 in Berlin die erste Physikprofessorin Deutschlands. Sie stammt aus Wien, legt zuerst das Examen als Französischlehrerin ab und kommt erst nach einem Umweg an die Uni, wo sie über Maxwell doktoriert. Marie Curie will Lise nicht als wissenschaftliche Mitarbeiterin. Also geht sie zu Max Planck nach Berlin und arbeitet am Chemischen Institut, das sie durch den Hintereingang betreten muss, weil das Frauenstudium in Preussen noch nicht eingeführt ist. Mit Otto Hahn findet sie neue radioaktive Nuklide. 1938 muss sie als Jüdin bei Nacht und Nebel flüchten. Unterwegs erreichen sie Nachrichten aus Hahns Labor, die sie analysiert: **In Berlin haben sie Atomkerne gespalten**. Mit Otto Frisch, ihrem Neffen, berechnet sie die frei werdende Energie. Lise Meitner flüchtet nach Schweden und vernimmt 1944, dass Hahn und Strassmann den Nobelpreis für die Kernspaltung erhalten, während sie leer ausgeht. Erst im Alter findet sie Anerkennung.



Wissenschaft ist ein kollektives Geschäft mit einer speziellen Gruppendynamik. Niels Bohr (6. von links) war 1920 schon berühmt und wurde deshalb nach Berlin eingeladen. Im physikalischen Kolloquium (vom lateinischen colloquium = Gespräch, Unterredung) dominierten die «Bonzen». Der wissenschaftliche Nachwuchs bat deshalb Bohr um ein zusätzliches «bonzenfreies» Kolloquium. Planck und Einstein durften offenbar nicht dabei sein, hingegen die späteren Nobelpreisträger Franck und Hertz, Geiger, Stern und Hahn. Otto Hahn steht genau hinter der einzigen Frau, seiner Kollegin Lise Meitner.



Die Quantenphysik ist zuerst nur Atom-Hüllen-Physik und wird erst später auch Atom-Kern-Physik. Lise Meitner entdeckt 1922 im Übergangsbereich einen interessanten Effekt, der erst später voll verstanden wird, den sogenannten **K-Einfang** oder **electron capture**. Die Elektronen der innersten Schale befinden sich mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit innerhalb des Atomkerns. Bei gewissen instabilen Kernen mit relativ vielen Protonen kann es zu einer Kernumwandlung kommen, die in Konkurrenz zum Beta-Zerfall steht: Ein Elektron aus der K-Schale wird im Kern von einem Proton eingefangen. Nach einem Quark-Umwandlungsvorgang entstehen ein Neutron, das im Kern bleibt, und ein kaum bemerkbares Neutrino. Der neue Kern gehört zu einem neuen Stoff, der chemisch nachgewiesen wird. Das ist eine Kernumwandlung, bei der «nichts» wegfliegt!



Doch die Lücke in der Elektronenhülle ist instabil und macht sich dadurch bemerkbar, dass ein Elektron z. B. von der L_2 -Schale nach innen «springt» und dabei Röntgenstrahlung aussendet (Bild links). Diese Strahlung kann aber beispielsweise ein Elektron der L_3 -Schale zum Verlassen des Atoms veranlassen (Bild rechts). Dieser Effekt wurde unabhängig von Pierre Auger beobachtet. Deshalb spricht man von einem **weggeschleuderten Auger-Elektron**. Lise Meitner fand den Effekt u. A. beim «Radium D». Das ist das Nuklid Pb-210, einem Zerfallsprodukt in des Urannuklids U-238. Während der radioaktive Zerfall durch Heizen usw. nicht beeinflusst werden kann, wird die Geschwindigkeit des K-Einfangs – in geringem Mass - dadurch beeinflusst, dass mit einer passenden chemischen Verbindung die Elektronen der K-Schale noch häufiger im Kern sind. Beachten Sie die Darstellung der Elektronen und der fehlenden Elektronen im Energieniveau-Diagramm.

Fragen zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Aus welchen Gründen könnte Marie Curie die Bewerbung von Lise Meitner abgelehnt haben?
- 2) Wann und wie wurde der Beta-Zerfall geklärt?
- 3) Was könnten die Gründe dafür sein, dass Lise Meitner nie einen Nobelpreis erhalten hat?
- 4) Wie ist Lise Meitners Laufbahn nach dem zweiten Weltkrieg verlaufen?

WOLFGANG PAULI (1900-1958)

Wolfgang Ernst Pauli wird im K&K Wien geboren. Sein Vater ist Chemieprofessor, der Philosoph Ernst Mach sein Taufpate. Das Wunderkind doktoriert in München mit 21 Jahren über das H_2^+ und wird zwei Jahre später Professor. Er berechnet das Wasserstoffatom mit Heisenbergs Matrizen, formuliert das Ausschliessungsprinzip und eine Theorie des Paramagnetismus. Er lebt gerne gut: *Als ich nach*



Hamburg kam, wechselte ich unter dem Einfluss von [Kollege Otto] Stern direkt vom Mineralwasser zum Champagner. Seine maliziösen Sprüche sind legendär, beispielsweise über seinen Assistenten Rolf Peierls: *Der Peierls, der spricht so schnell; bis man verstanden hat, was er sagt, behauptet er schon das Gegenteil.* Nur gegenüber seinem Doktorvater Sommerfeld bleibt er stets zuvorkommend. Mit seinen Lehrbüchern und den über 2000 wissenschaftlichen Briefen, ist er neben Bohr das Zentrum im Austausch über die Quantenphysik. Wolfgang Pauli und Werner Heisenberg, sein Freund aus den Münchner Zeiten, begegnen sich immer wieder: In Göttingen, in Kopenhagen oder 1927 bei der berühmten Solvay-

Konferenz. Mit Schrödinger (ganz links) und Heisenberg (rechts) steht er noch in der Reihe der Neulinge hinter den «Bonzen», zu denen auch de Broglie zählt. Einstein und Born (vor Heisenberg) dürfen sitzen.

1928 wechselt Pauli nach Zürich an die ETH, besucht 1931 erstmals die USA und hält Vorträge über Kernphysik und berichtet dabei erstmals über durchdringende, neutrale Teilchen. Er reist auch nach Rom zu Fermi. *Horribile dictu, ich musste Mussolini die Hand schütteln.* Im folgenden Jahr werden sowohl das Neutron als auch das Neutrino identifiziert. Nicht nur anderen, sondern auch sich selbst gegenüber ist *das Gewissen der Physik* wissenschaftlich kritisch. Er hält sich zurück mit Publikationen zum Neutrino, das er schon 1930 in einem offenen Brief an Lise Meitner und die *Lieben Radioaktiven Damen und Herren* angekündigt hat.



Auch wegen seiner jüdischen Abstammung schaut er besorgt auf die Entwicklung in Deutschland und beantragt das Schweizer Bürgerrecht nach Kriegsausbruch erneut: *Wir bedauern, Ihnen mitteilen zu müssen, dass Ihrem Einbürgerungsgesuch nicht entsprochen werden kann, weil Sie dem Erfordernis der Assimilation in der strengen Auslegung der geltenden Praxis nicht genügen.* Darauf geht er erneut in die USA, nach Princeton, ans Institute for Advanced Studies, wo auch Einstein wirkt und wird amerikanischer Staatsbürger. Er pflegt den Kontakt mit Robert Oppenheimer, arbeitet aber nie im Manhattan-Project. 1945 erhält er den Nobelpreis. Nach dem Krieg kehrt er an die ETH zurück und wird 1949 Schweizer Bürger. In den USA verdiene man zwar mehr Geld, aber in Europa könne man es angenehmer ausgeben!



Kein Physiker hat eine derart intensive Beziehung zur Psychoanalyse, wie Wolfgang Pauli. Sie beginnt mit der Psychotherapie seiner Alkohol- und Eheprobleme, setzt sich fort im intensiven Briefwechsel mit C. G. Jung und endet erst mit seinem Tod. Jung analysiert über 1000 archetypische Träume von Pauli. Pauli seinerseits analysiert Keplers Schriften. Er selbst schwankt zwischen *der Szylla des Mystizismus und der Charybdis des sterilen Rationalismus*, wie er 1948 seinem früheren Assistenten und späteren ETH-Kollegen Markus Fierz schreibt.

Pauli engagiert sich beim Aufbau der Europäischen Kernforschung im CERN. 1956 erhält er aus den USA die Nachricht, das Neutrino sei experimentell nachgewiesen worden. Überzeugt, dass Energie- und Impulserhaltung auch beim Beta-Zerfall gelten, hat er es rein theoretisch längst vorhergesagt. Doch kurz vor seinem überraschenden Tod irritiert ihn der experimentelle Befund, dass Links- und Rechtshändigkeit in der Natur nicht gleichberechtigt sind (Verletzung der Parität).

Aufgaben zum Nachdenken und diskutieren

- 1) Durch welche Experimente werden die Existenz des Neutrons und des Neutrinos gestützt?
- 2) Vergleichen Sie die Behandlung von Pauli und von Einstein zu den Zeiten des Nationalsozialismus durch die Schweizer Behörden.
- 3) Erkennen Sie eine Wesensverwandtschaft zwischen Johannes Kepler und Wolfgang Pauli?

WERNER HEISENBERG (1901 - 1976)

Heisenbergs Vater ist Professor an der Universität München. Die Gymnasialzeit, in der Werner Karl als vielseitig talentierter und ehrgeiziger Schüler auffällt, wird durch Hilfsdienst unterbrochen. Platon, Musik, Matura und politische Wirren fallen zusammen. Im mathematischen Seminar will man ihn nicht,



weil er durch die Lektüre physikalischer Bücher wie «Raum-Zeit-Materie» verdorben sei. So wird er Student von Arnold Sommerfeld und befreundet sich mit Sommerfelds «Hilfsassistenten» Wolfgang Pauli. Heisenberg ist sportlich ehrgeizig, den romantischen Idealen der Wandervogelbewegung verhaftet und ein begabter Pianist. Schon im ersten Semester wird er mit dem Problem des anomalen Zeeman-Effekts konfrontiert. Heisenberg findet eine Lösung mit halben Quantenzahlen, die zwar nicht ins damalige Bild passt, aber sein Talent offenbart. Er besteht die Prüfungen nur knapp, weil er sich um die Experimentalphysik focht, aber in der Theorie glänzt. Er doktoriert, bevor er ordentlich klassische Physik studiert hat.

Max Born wählt ihn als Nachfolger von Pauli. Er sei mindestens ebenso talentiert, aber umgänglicher. 1922, anlässlich der «Bohr-Festspiele» in Göttingen, wagt Heisenberg einen Einwand gegen Bohr und verteidigt sich so gut, dass er mit Bohr auf einen Spaziergang darf. Im Herbst 1924 fährt er nach Kopenhagen und profitiert von der stimulierenden Atmosphäre. Im Frühling leidet er unter Heuschnupfen und flüchtet nach Helgoland, wo er in wenigen Tagen eine radikal neue Quantenmechanik formuliert: *In der vorliegenden Arbeit werden zunächst exakte Definitionen der Worte: Ort, Geschwindigkeit, Energie usw. (z. B. des Elektrons) aufgestellt, die auch in der Quantenmechanik Gültigkeit behalten, und es wird gezeigt, daß kanonisch konjugierte Größen [Ort und Impuls usw.] simultan nur mit einer charakteristischen Ungenauigkeit bestimmt werden können.* Mit 26 Jahren wird Werner Heisenberg (Im Bild mit seiner Frau bei Bohr) Professor in Leipzig. Dort bietet er ein Forschungsklima, das Besucher aus aller Welt anzieht. 1933



wird Heisenberg für seine Beiträge zur Quantenphysik mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

Nach der Entdeckung von Proton und Neutron benützen auch die Leipziger die Quantenphysik zur Lösung kernphysikalischer Fragen. Aber die Politik drückt. Heisenberg wird von Nazi-Physikern wie Johannes Stark als «weisser Jude» angegriffen. Trotz Angeboten aus dem Ausland bleibt er in Leipzig und arbeitet mit im deutschen «Atomverein», der nach Kriegsausbruch die zivilen und militärischen Anwendungen der Kernspaltung untersucht. 1941 besucht er Niels Bohr und führt Gespräche mit umstrittenem Inhalt, die im Stück «Kopenhagen» dramatisiert sind. Dann wird Heisenberg Leiter des Kaiser-Wilhelm-Instituts, des Zentrums der Kernforschung. Bis Kriegsende wird der Forschungsreaktor beinahe kritisch. Heisenberg wird wie die anderen Kernphysiker gefangen genommen, nach Farm Hall, einem Quartier des britischen Geheimdiensts, gebracht und ausgehört. Ob die deutschen Physiker das Funktionieren des Reaktors und damit den Bau einer Atombombe bewusst hinausgezögert oder ob sie die Kernphysik dahinter ungenügend verstanden haben, ist unter Historikern bis heute umstritten.



Im Nachkriegsdeutschland formuliert er eine Theorie, die mit der «Weltformel» publikumswirksam ist, aber von den Fachleuten abgelehnt wird. Er fördert aber die Kernforschung in der Bundesrepublik, und exponiert sich gleichzeitig als Gegner der Wiederaufrüstung. Gemeinsam mit siebzehn weiteren Physikern wendet er sich mit dem Göttinger Manifest gegen eine atomare Wiederbewaffnung. Heisenberg schreibt philosophische Bücher, etwa «Der Teil und das Ganze». Er ist überzeugt, dass die moderne Physik Plato recht gibt: *Denn die kleinsten Einheiten der Materie sind tatsächlich nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinne des Wortes; sie sind Formen, Strukturen, oder im Sinne Platons, Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik reden kann.*

Im Nachkriegsdeutschland formuliert er eine Theorie, die mit der «Weltformel» publikumswirksam ist, aber von den Fachleuten abgelehnt wird. Er fördert aber die Kernforschung in der Bundesrepublik, und exponiert sich gleichzeitig als Gegner der Wiederaufrüstung. Gemeinsam mit siebzehn weiteren Physikern wendet er sich mit dem Göttinger Manifest gegen eine atomare Wiederbewaffnung. Heisenberg schreibt philosophische Bücher, etwa «Der Teil und das Ganze». Er ist überzeugt, dass die moderne Physik Plato recht gibt: *Denn die kleinsten Einheiten der Materie sind tatsächlich nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinne des Wortes; sie sind Formen, Strukturen, oder im Sinne Platons, Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik reden kann.*

Im Nachkriegsdeutschland formuliert er eine Theorie, die mit der «Weltformel» publikumswirksam ist, aber von den Fachleuten abgelehnt wird. Er fördert aber die Kernforschung in der Bundesrepublik, und exponiert sich gleichzeitig als Gegner der Wiederaufrüstung. Gemeinsam mit siebzehn weiteren Physikern wendet er sich mit dem Göttinger Manifest gegen eine atomare Wiederbewaffnung. Heisenberg schreibt philosophische Bücher, etwa «Der Teil und das Ganze». Er ist überzeugt, dass die moderne Physik Plato recht gibt: *Denn die kleinsten Einheiten der Materie sind tatsächlich nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinne des Wortes; sie sind Formen, Strukturen, oder im Sinne Platons, Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik reden kann.*

Aufgaben zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Hätte Heisenberg unter den Nazis nicht Leiter der Kernforschung werden dürfen? Hätte er die Kernphysik bleiben lassen sollen, wie sein Kollege Friedrich Hund?
- 2) Hätte Heisenberg - obwohl nicht Jude - emigrieren müssen, wie sein Kollege Erwin Schrödinger?

ENRICO FERMI (1901 – 1954)

Enrico Fermi wird oft als «Architekt des Nuklearzeitalters» bezeichnet. Nach einer experimentellen Dissertation über Röntgenstreuung erhält er 1923 ein Stipendium um einige Monate bei Born in Göttingen weiter zu studieren. Im folgenden Jahr festigt er seine theoretischen Kenntnisse bei Ehrenfest. Schon im Alter von 24 Jahren wird er Professor für Mathematik in Florenz und im folgenden Jahr Professor für theoretische Physik in Rom.

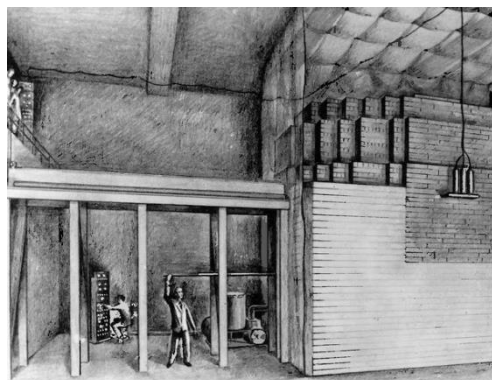
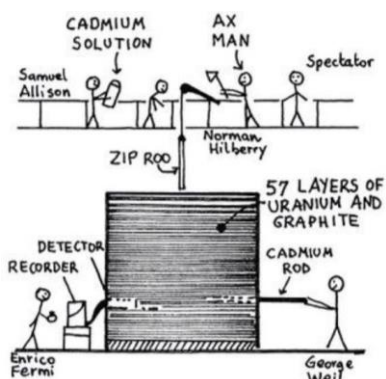


Fermis doppelte Fähigkeit in Theorie und Experiment zeichnet ihn schon früh aus. In Rom etabliert er sich, heiratet und betreut zugleich eine Gruppe von Theoretikern mit Majorana, Wick und anderen und eine Gruppe von Experimentalphysikern, darunter Segrè und Amaldi. Fermi arbeitet bis 1934 an

Anwendungen der Quantenphysik meist bei festen Körpern und findet die Fermi-Dirac-Statistik, die Fermi-Fläche und Fermis goldene Regel. Nach seiner Theorie zum Beta-Zerfall mit dem Postulat des Neutrinos, fühlt er sich immer mehr zur Kernphysik hingezogen, die nach der Entdeckung des Neutrons rasche Fortschritte macht.



Mit abgebremsten, moderierten Neutronen beschossen sie in Rom die Elemente am Schluss des Periodensystems und glauben zuerst, eine Reihe von Transuranen gefunden zu haben. Effektiv haben sie Atomkerne gespalten. 1938 reist er zusammen mit seiner Frau nach Stockholm um den Nobelpreis «für die Erzeugung neuer radioaktiver Elemente» entgegen zu nehmen. Dort teilt er seiner Frau mit, sie würden nicht ins faschistische Italien zurückkehren, sondern nach New York fliegen. An der Columbia University kann er mit Isidor Rabi weiter forschen. Die Kunde von der Urankernspaltung und der 2. Weltkrieg bringen schon vor



dem Kriegseintritt der USA die Kernwaffenforschung in Gang. Am 2. Dezember 1942 geht in der Garderobe eines Sportstadions in Chicago unter Fermis Leitung gebaute Kernreaktor mit etwa 0.5 W Leistung ohne Abschirmung und

Kühlung und mit Handregulierung in Betrieb. (Prinzip und Zeichnung, Fotos gibt es nicht.) Im Manhattan Project übernimmt Fermi verschiedene Rollen in Oak Ridge und Los Alamos und ist am 16. Juli 1945 beim ersten Bombentest dabei. Berühmt ist seine experimentelle Abschätzung der Sprengkraft dadurch, dass er Papierschnitzel fallen liess und aus der Ablenkung durch die Druckwelle auf die freigesetzte Energie schloss. Er kam auf 10 kT TNT-Äquivalent, während die offiziellen Messungen auf 20 kT lauteten.

Nach dem Krieg arbeitet er wieder wissenschaftlich in Chicago über Pionen, Mü-Mesonen und allgemein kosmische Strahlung. 1949 spricht er sich gegen den Bau der Wasserstoffbombe aus und verteidigt Oppenheimer im «Kommunistenprozess». Enrico Fermi stirbt noch jung auf einer Europareise an Magenkrebs.



Berühmt sind Fermis Probleme, die der Grössenordnung nach «back of the envelope», auf einem Briefumschlag, sollten gelöst werden können.

Aufgabe: Wie viele Klavierstimmer gibt es in Chicago?

Lösung: 9 Mio Menschen in Haushaltungen à 2 Personen; 1 Klavier pro 20 Haushaltungen; einmal stimmen pro Jahr beansprucht 2 Stunden; ein Klavierstimmer arbeitet 8 Stunden an 5 Tagen pro Woche mit 2 Wochen Ferien pro Jahr => 225 Klavierstimmer.

Kontrolle: 2009 gab es 290 Klavierstimmer in Chicago

IDA NODDACK (1896-1978)

Ida Noddack studierte als eine der ersten Frauen in Deutschland Chemie. Zusammen mit ihrem Mann Walter Noddack suchte sie an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt die zu dieser Zeit noch unbekannt Elemente der Ordnungszahlen 43 und 75, unterstützt vom Röntgen-Fachmann Otto Berg. Die Entdeckung des Elements 75 gelang ihnen 1925 und sie nannten es Rhenium. Zeitgleich behaupteten sie, auch das Element 43 entdeckt zu haben, und schlugen den Namen *Masurium* vor. Die Entdeckung des Rheniums wurde später bestätigt, und wägbare Mengen konnten isoliert werden. Dagegen war ihre Entdeckung des Elements Nummer 43 stets umstritten. Aufgrund der 1934 postulierten Isobarenregel war schon bald klar, dass Element 43 nur radioaktive Isotope haben konnte. Element 43 wurde erst 1937 als sicher entdeckt angenommen und Technetium genannt.



Im Jahre 1934 äußerte sie die Vermutung, dass «bei der Beschießung schwerer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere größere Bruchstücke zerfallen». Da diese Vermutung im Widerspruch zu damals üblichen Annahmen über die Physik des Atomkerns stand, fand sie keine nennenswerte Beachtung. Der Zerfall schwerer Atomkerne in leichtere Elemente galt als ausgeschlossen, und auch Ida Noddack selbst unternahm nichts, um ihre gewagte Spekulation wissenschaftlich zu verifizieren. Erst fünf Jahre später, am 17. Dezember 1938, wurde die Kernspaltung des Urans von Otto Hahn und seinem Assistenten Fritz Straßmann entdeckt und radiochemisch nachgewiesen.

MARIA GOEPPERT-MAYER (1906-1972)

Maria Goeppert wird als Einzelkind in eine Akademikerfamilie in Göttingen geboren. Es ist klar, dass sie nach dem Abitur studieren würde. Sie beginnt mit Mathematik und wechselt später zur Physik. 1930 doktoriert sie bei Max Born mit dem Thema «Über Elementarakte mit zwei Quantensprüngen». Noch im gleichen Jahr heiratet sie den Amerikaner Joseph Edward Mayer, der mit einem Stipendium



in Göttingen bei James Frank als Postdoc arbeitet. Bald gehen beide in die USA, wo Joseph Mayer eine Professur erhält, Maria aber ohne Lohn arbeiten muss. Erst nach dem Krieg erhält sie eine ordentliche Professur an der University of Chicago und arbeitet am Argonne National Laboratory. Es gelingt ihr, die besondere Stabilität gewisser Atomkerne durch die Spin-Bahn-Kopplung zu erklären. Diese kennt sie aus der Quantenphysik der Atomhülle seit ihren Studienzeiten in Göttingen. Die Übertragung in die viel komplexere Situation der Atomkerne bringt ihr 1963 den Nobelpreis ein: «für ihre Entdeckung der nuklearen Schalenstruktur.»

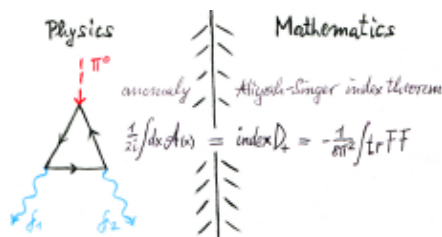
Die wichtige Phase in ihrem Leben wird in der offiziellen Nobel-Biographie folgendermassen dargestellt: *In 1946 they went to Chicago. This was the first place where she was not considered a nuisance, but greeted with open arms. She was suddenly a Professor in the Physics Department and in the Institute for Nuclear Studies. She was also employed by the Argonne National Laboratory with very little knowledge of Nuclear Physics! It took her some time to find her way in this, for her, new field. But in the atmosphere of Chicago, it was rather easy to learn nuclear physics. She owes a great deal to very many discussions with Edward Teller, and in particular with Enrico Fermi, who was always patient and helpful.*

Aufgaben zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Maria Goeppert-Mayer hat wie Marie Curie zwei Kinder grossgezogen. Suchen Sie nach weiteren Übereinstimmungen und Unterschieden in den Biographien der beiden Wissenschaftlerinnen.
- 2) Wie wichtig war die allgemeine Situation der Frauen in den USA der 40er Jahre für die wissenschaftliche Entwicklung von Hertha Sponer und Maria Goeppert-Mayer.
- 3) Suchen Sie nach Beispielen, in denen die beiden Physikerinnen in der aktuellen Gender-Diskussion als Rollenmodelle benutzt werden.
- 4) Göttingen war in den 20er Jahren anscheinend der Ort, in dem Frauen theoretische Physik studierten. Weshalb wohl?

JOHN STEWART BELL (1928-1990)

John Bell ist der Prototyp eines modernen Forschers. Er will schon mit 11 Jahren Forscher werden und studiert in Belfast Experimental- und theoretische Physik. Während er für die britische Atomenergiebehörde arbeitet, erhält er ein Stipendium für das Doktorat an der Universität Birmingham bei einem der Gründerväter der Quantenphysik, Rolf Peierls. Bell beweist praktisch gleichzeitig mit Pauli, aber auf eine weniger abstrakte Weise eine tiefliegende Symmetrieeigenschaft der Natur, die CPT-Invarianz: Beim Übergang zu umgekehrter Ladung C (Elektron => Positron), umgekehrter Parität P (=> räumliche Spiegelung) und Umkehrung der Zeit T muss das Produkt CPT unverändert sein. Schon in Grossbritannien beschäftigt er sich mit Beschleunigern. Doch 1960 wechselt er gemeinsam mit seiner Frau Mary, die ebenfalls Physikerin ist, von nach Genf ans CERN, wo es nicht nur die längsten Tunnels und die grössten Magnete für die leistungsfähigsten Beschleuniger gibt, sondern auch eine grosse Theorieabteilung. Dort publizieren sie auch gemeinsame Arbeiten, etwa über die Quantenphysik der Bremsstrahlung. Das Photo zeigt die beiden als Studierende auf einem Ausflug in Stonehenge.



Am CERN konzentriert sich John auf die Teilchenphysik. Zu einer Zeit als das Standardmodell der Materie noch nicht existiert, trägt er mit anspruchsvollen mathematischen Methoden zur Erweiterung des «Elementarteilchenzoos» bei. Doch die Grundsatzfragen der Quantenphysik, die ihn schon als Student beschäftigt haben, holen ihn ein. Eine Frage ist brennend: «Where does the quantum world stop and the classical world begin?» In einem Interview sagt er später: *Für diese Themen habe ich mich schon als Student interessiert, also für die augenscheinliche Subjektivität der Quantenmechanik und dann diese Formulierungen, die einem die Einbeziehung des Beobachters nahelegen und es dann doch nicht tun. (...) Allerdings ging ich diesen Fragen einige Jahre aus dem Weg und beschäftigte mich mit praktischen Dingen, weil ich sah, dass Leute, die klüger waren als ich, kaum damit vorankamen. (...) Was mich besonders interessierte, war, ob wirklich etwas gegen den von de Broglie und Bohm schon lange vorgebrachten Gedanken sprach, dass man von allen Quantenphänomenen eine vollkommen realistische Beschreibung geben könne. Als de Broglie das 1927 vorbrachte, wurde er in einer Weise verlacht, die ich heute als Schande empfinde, denn seine Argumente wurden nicht widerlegt, sondern man trampelte einfach drauf herum. (...)*



1964 publiziert er den berühmten Artikel *On the Einstein-Podolsky-Rosen-Paradox*. Er beweist, dass die Voraussetzungen für einen Satz in der Physik nicht erfüllt sind und findet eine Ungleichung, mit der sich experimentell überprüfen lässt, ob es eine verborgene Variable geben kann, die den quantenphysikalischen Zufall bewirkt. Immer genauere Experimente zeigen, dass die Kopenhagener Interpretation vollständig stimmt. Einstein hat nicht Recht. Bell, bedauert: *So for me, it is a pity that Einstein's idea doesn't work. The reasonable thing just doesn't work.* Nebenan ist eine Darstellung dieses Sachverhalts, gezeichnet von Reinhold Bertlmann für Bells sechzigsten Geburtstag, zwei Jahre vor seinem Tod, der ihn leider vor dem unbestrittenen Nobelpreis ereilt. John Stewart Bell hat den neuen, nicht einfachen Begriff «Bertlmanns Socken» eingeführt. Einfacher ist das folgende, Statement: *For the good books known to me are not much concerned with physical precision. This is clear already from their vocabulary. Here are some words which, however legitimate and necessary in application, have no place in a formulation with any pretension to physical precision: system, apparatus, environment, microscopic, macroscopic, reversible, irreversible, observable, information, measurement. (...) On this list of bad words from good books, the worst of all is 'measurement'.*

Fragen zum Nachdenken und Diskutieren:

- 1) Diskutieren Sie Bells Liste der «bad words» und versuchen Sie, einen dieser Begriff zu präzisieren.
- 2) Informieren Sie sich bei WIKIPEDIA über Richtung, in die «Bertlmanns Socken» gehen.