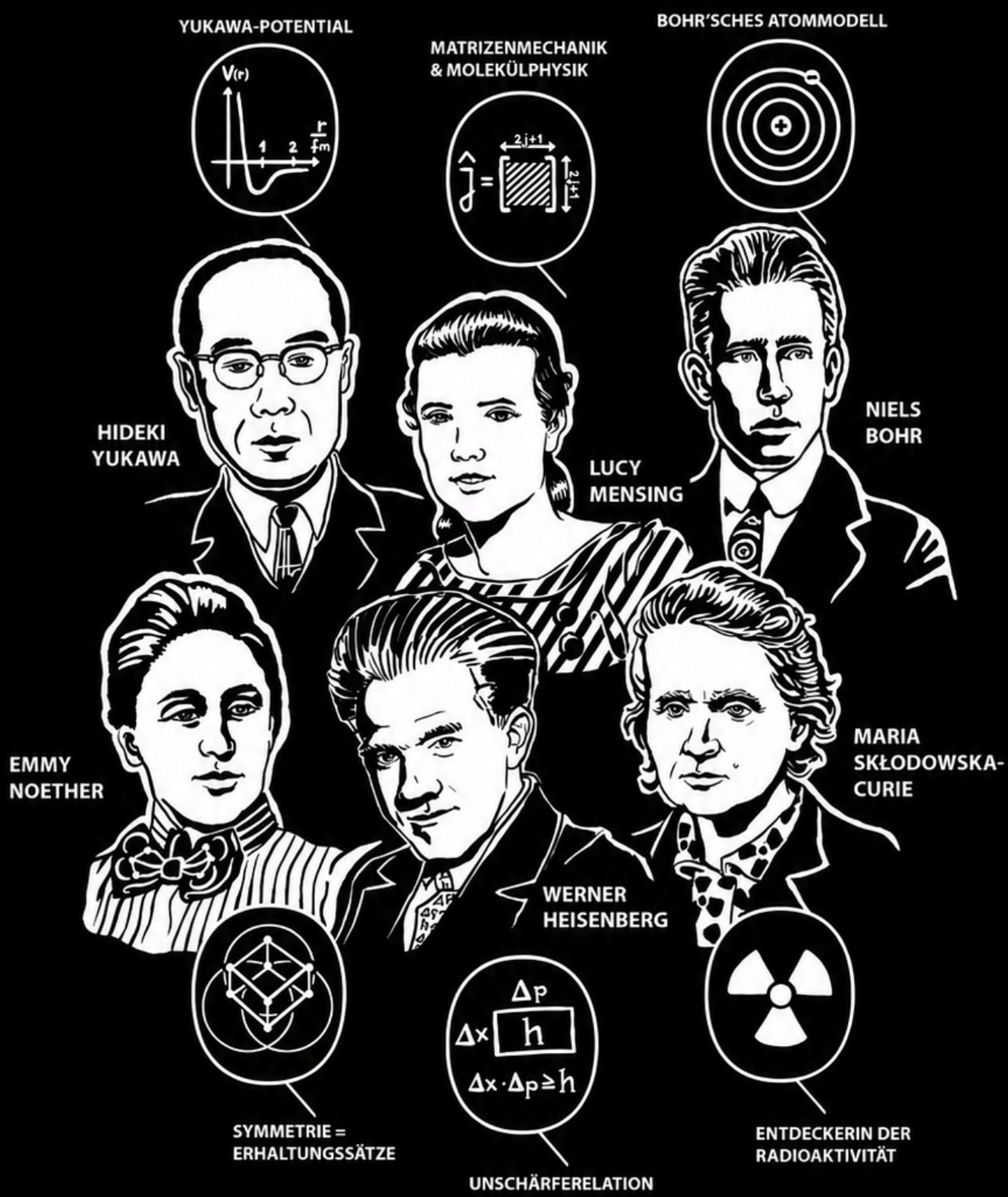
www.QUANTUM100.de



S. Heusler (Herausgeber): Quantum100
1. Auflage, November 2026

Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative-Commons-Lizenz **Namensnennung – Nicht kommerziell 4.0 International (CC BY-NC 4.0)**. Bearbeitungen der Texte sind erlaubt, sofern die Quelle genannt wird. Ausgenommen von der Creative-Commons-Lizenz sind die Porträtillustrationen von Michael Tewiele, auch auf dem Umschlag. Sie werden im Rahmen einer gesonderten Nutzungslizenz verwendet. Eine darüber hinausgehende Nutzung durch Dritte bedarf seiner Zustimmung, soweit sie nicht gesetzlich erlaubt ist.

creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de



ISBN 978-3-9829281-0-4

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 100 Jahre, 100 Physiker:innen, ein Chor **2**

2.1 Johann Wilhelm Hittorf . . . 7
2.2 Otto Lummer . . . 9
2.3 Hantaro Nagaoka . . . 11
2.4 Wilhelm Wien . . . 13
2.5 Niels Bohr . . . 15
2.6 Hendrika Johanna van Leeuwen . . . 17
2.7 Arnold Sommerfeld . . . 19
2.8 Marie Skłodowska Curie . . . 21
2.9 Max Planck . . . 23
2.10 Emmy Noether . . . 25
2.11 Walther Gerlach . . . 27
2.12 Otto Stern . . . 29
2.13 Louis de Broglie . . . 31
2.14 Satyendranath Bose . . . 33
2.15 Wolfgang Pauli . . . 35
2.16 Werner Heisenberg . . . 37
2.17 Erwin Schrödinger . . . 39
2.18 Max Born . . . 41
2.19 Lucy Mensing . . . 43
2.20 John von Neumann . . . 45
2.21 Lester Germer . . . 47
2.22 Edith Quimby . . . 49
2.23 Arthur Compton . . . 51
2.24 Paul Dirac . . . 53
2.25 Ernst Ruska . . . 55
2.26 James Chadwick . . . 57
2.27 Carl Anderson . . . 59
2.28 Enrico Fermi . . . 61
2.29 Iris Runge . . . 63
2.30 Hildegard Stücklen . . . 65
2.31 Hertha Sponer . . . 67
2.32 Hedwig Kohn . . . 69
2.33 Hideki Yukawa . . . 71
2.34 Albert Einstein . . . 73
2.35 Grete Hermann . . . 75
2.36 Eugene Wigner . . . 77
2.37 Otto Hahn . . . 79
2.38 Lise Meitner . . . 81
2.39 Russell Ohl . . . 83
2.40 Robert Oppenheimer . . . 85
2.41 Isidor Isaac Rabi . . . 87
2.42 John Bardeen . . . 89
2.43 Cecil Powell . . . 91
2.44 Richard Feynman . . . 93

2.45 Julian Schwinger . . . 95
2.46 Marietta Blau . . . 97
2.47 Freeman Dyson . . . 99
2.48 Maria Goeppert Mayer . . . 101
2.49 Shin-Ichirō Tomonaga . . . 103
2.50 Benedict Cassen . . . 105
2.51 Deborah Jin . . . 107
2.52 Chen Ning Yang . . . 109
2.53 Calvin Souther Fuller . . . 111
2.54 Norman Ramsey . . . 113
2.55 Elisabeth M. Boggs . . . 115
2.56 Chien-Shiung Wu . . . 117
2.57 Leon Cooper . . . 119
2.58 Berta Karlik . . . 121
2.59 Theodore Maiman . . . 123
2.60 Yōichirō Nambu . . . 125
2.61 Nick Holonyak . . . 127
2.62 Brian Josephson . . . 129
2.63 Kumar Patel . . . 131
2.64 Murray Gell-Mann . . . 133
2.65 Peter Higgs . . . 135
2.66 John S. Bell . . . 137
2.67 Charles Kuen Kao . . . 139
2.68 Steven Weinberg . . . 141
2.69 Gerhard 't Hooft . . . 143
2.70 Stuart Freedman . . . 145
2.71 Paul Lauterbur . . . 147
2.72 Michael Ter-Pogossian . . . 149
2.73 Klaus von Klitzing . . . 151
2.74 Alain Aspect . . . 153
2.75 Robert Laughlin . . . 155
2.76 Simon van der Meer . . . 157
2.77 Carlo Rubbia . . . 159
2.78 Charles H. Bennett . . . 161
2.79 Donna Strickland . . . 163
2.80 Georg J.Bednorz . . . 165
2.81 Ching Wan Tang . . . 167
2.82 Mark Arthur Reed . . . 169
2.83 Tim Berners-Lee . . . 171
2.84 Toshihide Maskawa . . . 173
2.85 Eli Yablonovitch . . . 175
2.86 Shuji Nakamura . . . 177
2.87 James Zimmerman . . . 179
2.88 Anton Zeilinger . . . 181
2.89 Peter Shor . . . 183
2.90 John Mather . . . 185
2.91 George Smoot . . . 187
2.92 Markus Arndt . . . 189

2.93 Lieven Vandersypen . . . 191
2.94 Takaaki Kajita . . . 193
2.95 Konstantin Novoselov . . . 195
2.96 Serge Haroche . . . 197
2.97 Carolin Hahn . . . 199
2.98 Anne L'Huillier . . . 201
2.99 Lov Kumar Grover . . . 203
2.100 Schrödingers Katze . . . 205

3 Declaration for the Future **207**

4 Das Abschlusskonzert und der Quantenchor **210**

5 Quellenverzeichnis und Literaturhinweise **216**

6 Danksagung **217**

1 Einleitung

Um das Jahr 1925 entstanden innerhalb kurzer Zeit mehrere Arbeiten, aus denen sich die theoretischen Grundlagen der modernen Quantentheorie entwickelten. Göttingen spielte dabei eine besonders wichtige Rolle; ebenso bedeutsam waren jedoch Forschungszusammenhänge in Kopenhagen, Cambridge, Zürich und vielen weiteren Orten. In intensiver internationaler Zusammenarbeit entstand ein neuer mathematischer Formalismus, der die Physik grundlegend veränderte.

Hundert Jahre später - im Jahr 2025 - hatte die UNESCO das *International Year of Quantum Science and Technology* proklamiert, in dessen Rahmen insbesondere in Deutschland eine Vielzahl von Veranstaltungen umgesetzt wurden. Unter dem Titel „Quantum100“ fand am 15.11.2025 in Münster die die bundesweite Abschlussveranstaltung des Quantenjahres unter der Schirmherrschaft der DPG mit 3000 Besuchern statt (die internationale Abschlussveranstaltung fand am 10. und 11. Februar 2026 in Accra, Ghana statt). Im Mittelpunkt standen dabei 100 Physiker:innen aus 100 Jahren Physikgeschichte – mit ihren Biografien, Porträts und wissenschaftlichen Beiträgen. Die einzelnen Biografien und kurzen Texte zu den theoretischen, experimentellen bzw. anwendungsorientierten Beiträgen, die in diesem Buch versammelt sind, setzen wie ein multidimensionales Mosaik die Entwicklung der Quantenphysik aus diesen jeweils sehr persönlichen Sichtweisen multiperspektivisch zusammen.

Ein Beispiel ist die Quantenverschränkung. Einstein, Podolsky und Rosen sowie Schrödinger diskutierten um das Jahr 1935 verschränkte Zustände vor allem im Zusammenhang mit der Frage, ob die Quantenmechanik eine vollständige Beschreibung der Natur liefert. Erst 1964 zeigte John Bell, dass sich die Vorhersagen der Quantenmechanik experimentell von bestimmten lokalen Theorien mit verborgenen Variablen unterscheiden lassen. Aber auch danach war für lange Jahre diese Frage ein Randthema der physikalischen Forschung, weit entfernt von technischen Anwendungen. Nur sehr langsam wurden Experimente zur Quantenverschränkung von einem Grundlagenproblem zu einer wichtigen Ressource der Quanteninformation, und schliesslich zu einer wesentlichen Grundlage der „zweiten Quantenrevolution“.

Doch Grundlagenforschung und ihre technologischen Anwendungen können nicht losgelöst vom gesellschaftlichen Kontext betrachtet werden. Max Born, einer der Väter der Quantenphysik, schrieb im Jahr 1960:

> „Als ich jung war, konnte man noch ein reiner Wissenschaftler sein, ohne sich um die Anwendungen und die Technik viel zu kümmern. Heute ist das nicht mehr möglich. Denn die Naturforschung ist mit dem sozialen und politischen Leben unentwirrbar verstrickt. [...] So ist jeder Naturforscher heute ein Glied des technischen und industriellen Systems, in dem er lebt. Damit hat er auch einen Teil der Verantwortung zu tragen für den vernünftigen Gebrauch seiner Ergebnisse.“ (Max Born, „Physik und Politik“. Göttingen 1960, S. 45)

Quantum100 hat diese vielschichtigen Bezüge aufgegriffen – in Vorträgen, einer Ausstellung und dem Abschlusskonzert – und führt diese bis in die Gegenwart. Denn auch heute bleibt die Frage nach der Verantwortung der Wissenschaft zentral. Die Friedensstadt Münster bot daher den idealen Rahmen für die gemeinsame "Declaration for the future" der Japanischen Physikalischen Gesellschaft (JPS) und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) zur Verantwortung der Physik für den Frieden, die am 14. November 2025 im Rathaus zu Münster unterzeichnet wurde.

2 100 Jahre, 100 Physiker:innen, ein Chor

Die Auswahl der 100 Physikerinnen und Physiker aus hundert Jahren Quantenphysik war Teamarbeit. Angestrebt wurde eine ausgewogene Mischung aus Beiträgen zur theoretischen Grundlagenforschung (Farbcode in der Tabelle: Beige), zur experimentellen Grundlagenforschung (Blau) und zu technologischen Anwendungen (Grün). Berücksichtigt wurden außerdem unterschiedliche Länder und insbesondere die Beiträge von Physikerinnen. In diesem Zusammenhang sei auf die Artikelserie mit Porträts von Quantenphysikerinnen im *Physik Journal* hingewiesen, von denen viele auch im *Quantenchor* vertreten sind.

Aus einer „Longlist“ mit mehr als 200 Namen wurde in einzelnen thematischen Untergruppen mithilfe eines Quantenzufallsgenerators jeweils eine Person ausgewählt. Die Zusammenstellung ist daher teilweise dem Zufall geschuldet und steht zugleich stellvertretend für zahlreiche weitere Beiträge aus aller Welt. Viele große Namen fehlen daher! Alle Porträts verbindet die Beiträge zur Entwicklung der Quantenphysik, die um 1925 eine entscheidende neue Gestalt annahm und seither vielfach erweitert und weiterentwickelt wurde - ohne dass sich die Grundlagen der Theorie entscheident geändert hätten, dafür aber umso mehr erweitert. In diesem Sinne bilden die Beiträge der hundert Personen gemeinsam einen „Chor“.

Die kurze Biographie und die Beschreibung der wissenschaftlichen Leistung sind vor allem als Anregung zu verstehen, sich jeweils vertiefter und genauer mit der jeweiligen Thematik zu beschäftigen, gerade auch in Hinblick auf die spezifischen gesellschaftlichen und politischen Umstände, in denen die wissenschaftlichen Leistungen entstanden sind. Durch die skizzenhafte Nennung von relevanten Vorarbeiten und Folgearbeiten soll deutlich werden, dass Forschung immer im jeweiligen Kontext zu sehen ist, und oftmals aufeinander aufbaut. Zu vielen der hier vorgestellten Persönlichkeiten stehen Biographien zur Verfügung, die ausführlicher und wissenschaftlich fundierter die komplexe Thematik beleuchten können.

Quantum100 ist nicht als wissenschaftlicher Beitrag zur Geschichte der Quantenphysik, sondern als ein interdisziplinäres und internationales Kunstwerk zu verstehen, das gemeinsam von Künstlern und Wissenschaftlern geschaffen wurde. Die Musik wurde von dem französischen Komponisten Yannick Paget (N’SO Kyoto) komponiert. Der Text des Quantenchors wurde von dem britischen Lyriker Chris Mosdell verfasst ist von der *Declaration for the Future* inspiriert. Inhaltlich wie musikalisch bringt er zum Ausdruck, dass internationale Zusammenarbeit möglich und notwendig ist: zwischen Ländern und Kulturen, zwischen Kunst und Wissenschaft und letztlich vor allem zwischen Menschen.



Abbildung 1: Der Quantenchor: 100 verschiedene T-Shirts mit den Portraits von 100 Physiker:innen aus 100 Jahren symbolisieren die vielen individuellen Perspektiven und Beiträge zur Geschichte der Quantenphysik (©Florian Graser)



Abbildung 2: Das Studentenorchester Münster unter der Leitung von Yannick Paget (Bildmitte). Gemeinsam mit dem Quantenchor haben sie am 15.11.2025 in der Halle Münsterland das Werk "Fundamental Interactions" aufgeführt (©Florian Graser)

Nr.	Name	Nationalität	Text auf dem T-Shirt
1	**Wilhelm Hittorf**	**Deutschland**	Entdecker der Kathodenstrahlen
2	**Otto Lummer**	**Deutschland**	Messung der Schwarzkörperstrahlung
3	**Hantaro Nagaoka**	**Japan**	Saturn-Modell vom Atom
4	**Willy Wien**	**Deutschland**	Wien'sches Verschiebungsgesetz
5	**Niels Bohr**	**Dänemark**	Bohr'sches Atommodell
6	**Johanna van Leeuwen**	**Niederlande**	Magnetismus ist ein Quanteneffekt
7	**Arnold Sommerfeld**	**Deutschland**	Bohr-Sommerfeld Atommodell
8	**Skłodowska-Curie**	**Polen**	Pionierin der Radioaktivitätsforschung
9	**Max Planck**	**Deutschland**	Kleinste messbare Wirkung
10	**Emmy Noether**	**Deutschland**	Symmetrie = Erhaltungssätze
11	**Walther Gerlach**	**Deutschland**	Stern-Gerlach Experiment
12	**Otto Stern**	**Deutschland**	Stern-Gerlach Experiment
13	**Louis de Broglie**	**Frankreich**	Materiewellen
14	**Satyendranath Bose**	**Indien**	Bose-Einstein Kondensat
15	**Wolfgang Pauli**	**Österreich**	Pauli Prinzip
16	**Werner Heisenberg**	**Deutschland**	Unschärferelation
17	**Erwin Schrödinger**	**Österreich**	Schrödinger-Gleichung
18	**Max Born**	**Deutschland**	Detektionswahrscheinlichkeit
19	**Lucy Mensing**	**Deutschland**	Matrizenmechanik & Molekülphysik
20	**John von Neumann**	**USA**	Mathematische Axiome der Quantenphysik
21	**Lester Germer**	**USA**	Nachweis von Materiewellen
22	**Edith Quimby**	**USA**	Begründerin der Nuklearmedizin
23	**Arthur Compton**	**USA**	Compton-Streuung
24	**Paul Dirac**	**GB**	Vorhersage von Antimaterie
25	**Ernst Ruska**	**Deutschland**	Pionier des Elektronenmikroskops
26	**James Chadwick**	**England**	Entdeckung des Neutrons
27	**Carl Anderson**	**USA**	Entdeckung des Positrons
28	**Enrico Fermi**	**Italien**	Fermi-Energie
29	**Iris Runge**	**Deutschland**	Industriephysikerin und Professorin
30	**Hildegard Stücklen**	**Deutschland/U**	Absorptionsspektren
31	**Herta Sponer**	**Deutschland**	Moleküldissoziation
32	**Hedwig Kohn**	**Deutschland**	Umkehrmessung an Spektrallinien
33	**Hideki Yukawa**	**Japan**	Yukawa-Potential
34	**Albert Einstein**	**Deutschland**	EPR-Paradoxon
35	**Grete Hermann**	**Deutschland**	Naturphilosophische Grundlagen der QM
36	**Eugene Wigner**	**ungarisch-amerikanisch**	Spin-Statistik-Theorem
37	**Otto Hahn**	**Deutschland**	Entdeckung der Kernspaltung
38	**Lise Meitner**	**Österreich**	Entdeckung der Kernspaltung
39	**Russell Ohl**	**USA**	Pionier der Entwicklung von Solarzellen

Nr.	Name	Nationalität	Text auf dem T-Shirt
40	**J. Robert Oppenheimer**	**USA**	Neutronenstern und schwarzes Loch
41	**Isodor Isaac Rabi**	**USA**	Rabi-Oszillation
42	**John Bardeen**	**USA**	Erfindung des Transistors
43	**Cecil Powell**	**GB**	Entdeckung der Pi-Mesonen
44	**Richard Feynman**	**USA**	Feynman-Diagramme
45	**Julian Schwinger**	**USA**	Pionier der Quantenelektrodynamik
46	**Mariette Blau**	**Österreich**	Spallation kosmischer Strahlung
47	**Freeman Dyson**	**GB/USA**	Pionier der Quantenelektrodynamik
48	**Maria Goeppert Mayer**	**Deutschland**	Schalenmodell des Atomkerns
49	**Sin-Itiro Tomonaga**	**Japan**	Renormierung von QED
50	**Benedict Cassen**	**USA**	Pinoierarbeit in der Nuklearmedizin
51	**Deborah Jin**	**USA**	Ultrakalte fermionische Kondensate
52	**Cheng-Ning Yang**	**China**	Yang-Mills Theorie
53	**Calvin Souther Fuller**	**USA**	Pionier der Entwicklung von Solarzellen
54	**Norman Ramsey**	**USA**	Hochpräzise Zeitmessung
55	**Elisabeth Boggs**	**USA**	Statistische Mechanik von Phasenübergängen
56	**Chien-Shiung Wu**	**China/USA**	Paritätsverletzung
57	**Leon Cooper**	**USA**	Theorie der Supraleitung
58	**Berta Karlik**	**Österreich**	Erste Physikprofessorin Wiens
59	**Thedore Maiman**	**USA**	Konstruktion des ersten Lasers
60	**Yoichiro Nambu**	**Japan/USA**	Spontane Symmetriebrechung
61	**Nick Holonyak**	**USA**	Erfinder der LED
62	**Brian Josephson**	**GB**	Supraleitender Tunnelkontakt
63	**Kumar Patel**	**Indien**	Pinoier des Industrielasers
64	**Murray Gell-Mann**	**USA**	Quark-Modell
65	**Peter Higgs**	**USA**	Vorhersage des Higgs-Teilchens
66	**John S. Bell**	**Nordirland**	Bell'sche Ungleichung
67	**Charles K. Kao**	**USA/GB (Chinese)**	Erfinder der Glasfaser
68	**Steven Weinberg**	**USA**	Elektroschwacher Phasenübergang
69	**Gerard 't Hooft**	**Niederlande**	Renormierbarkeit
70	**Stuart Freedman**	**USA**	Experimente zur Neutrinooszillation
71	**Paul Lauterbur**	**USA**	Pinonier der Anwendung von MRT in der Medizin
72	**Michael Ter-Pogossian**	**USA**	Pionier der Positron-Emissions-Tomographie
73	**Klaus von Klitzing**	**Deutschland**	Klitzing-Widerstand
74	**Alain Aspect**	**Frankreich**	Experimenteller Nachweis von Quantenverschränkung
75	**Robert Laughlin**	**USA**	Fraktionaler Quanten-Hall Effekt

Nr.	Name	Nationalität	Text auf dem T-Shirt
76	**Simon van der Meer**	**Niederlande**	Stochastische Kühlung
77	**Carlo Rubbia**	**Italien**	Entdecker der W/Z-Bosonen
78	**Charles H. Bennett**	**USA**	Nachweis von Quantenteleportation
79	**Donna Strickland**	**Kanada**	Ultrakurzzeitlaser
80	**Georg J. Bednorz**	**Deutschland**	Entdecker von Hochtemperatursupraleitern
81	**C. W. Tang**	**USA**	Erfinder der organischen LED
82	**Mark Arthur Reed**	**USA**	Erfinder von Quantenpunkten
83	**Tim Berners-Lee**	**GB**	Begründer des World Wide Web
84	**Toshihide Maskawa**	**Japan**	Vorhersage des Top-Quarks
85	**Eli Yablonovitch**	**USA**	Erfinder photonischer Kristalle
86	**Shuji Nakamura**	**USA (Japaner)**	Erfinder der blauen LED
87	**James Zimmerman**	**USA**	Erfinder des SQUID
88	**Anton Zeilinger**	**Österreich**	Quanten-Teleportation
89	**Peter Shor**	**USA**	Primfaktor-Quantenalgorithmus
90	**John Mather**	**USA**	Quantenfluktuationen in kosmischer Hintergrundstrahlung
91	**George Smoot**	**USA**	Quantenfluktuationen in kosmischer Hintergrundstrahlung
92	**Markus Arndt**	**Deutschland**	Interferenz von Makromolekülen
93	**Lieven Vandersypen**	**Belgien**	Pionier des Quantencomputers
94	**Takaaki Kajita**	**Japan**	Experimente zur Neutrinooszillation
95	**Konstantin Novoselov**	**Russland/GB**	Entdecker von Graphen
96	**Serge Haroche**	**Frankreich**	Experimentelle Realisierung von Schrödingers Katze
97	**Carolin Hahn**	**Deutschland**	Wechselwirkung ultrakalter Atome mit Licht
98	**Anne L'Huillier**	**Frankreich**	Attosekunden-Laserpulse
99	**Lov Grover**	**Indien/USA**	Quanten-Suchalgorithmus
100	**Schrödingers Katze**	**-**	Wanted - dead and alive!

#1 Johann Wilhelm Hittorf (1824 - 1914)



27.03.1824	Geboren in Bonn, Deutschland
1846	Promotion bei Julius Plücker zu Kegelschnitten in Bonn
1847	Habilitation mit einer Experimentaluntersuchung über die „Bildung einiger Oxyde edler Metalle auf galvanischem Wege“
1847	Beginn der Lehrtätigkeit als Privatdozent für Physik und Chemie an der Akademie Münster
1851	Veröffentlichung über das elektrische Leitvermögen von Schwefelsilber: Unterscheidung von metallischer und elektrolytischer Leitung
1853 - 1859	Pionierarbeiten zur Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen bei der Elektrolyse: Einführung des Begriffs „Überführungszahl“
1856	Berufung als Professor für Physik und Chemie an die Akademie Münster.
1863 - 1865	Arbeiten zur Spektralanalyse gemeinsam mit Plücker; Beobachtung unterschiedlicher Emissionsspektren desselben Gases.
1867	Experimente mit Hochspannungsquellen bei der Pariser Weltausstellung, Impuls zu systematischer Erforschung der Gasentladungen
1869 - 1876	**Beschreibung der Strahlen des Glimmens, später bekannt als Kathodenstrahlung, als grundlegende Charakterisierung eines neuen physikalischen Phänomens im Bereich der Gasentladung**
1879	Nach langjährigen Bemühungen der Erfolg, die Akademie Münster zu einer Volluniversität auszubauen
ab 1880	Gesundheitlicher Rückzug infolge schwerer Depressionen; zeitweilige Niederlegung der Professur (1889)
1900 - 1901	Übernahme des Lehrstuhls der Physik und der Leitung des Physikalischen Instituts in Münster (vertretungsweise) im Alter von 76 Jahren, nachdem sich sein Gesundheitszustand drastisch verbessert hatte
28.11.1914	Gestorben in Münster, Deutschland

Wilhelm Hittorf nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Wilhelm Hittorf baute auf technischen Fortschritten wie verbesserten Vakuumpumpen sowie auf den Vorarbeiten von Julius Plücker und Johann Wilhelm Geißler auf.

#1 Entdeckung der Kathodenstrahlen

Der deutsche Physiker Johann Wilhelm Hittorf (1824 - 1914) untersuchte ab 1869 elektrische Entladungen in stark verdünnten Gasen. In speziellen Glasröhren stellte er fest, dass von der Kathode unsichtbare Strahlen ausgehen, die geradlinig verlaufen, Schatten werfen und Glaswände zum Leuchten bringen. Er beschrieb diese Eigenschaften präzise und legte damit die experimentelle Grundlage für die spätere Benennung als „Kathodenstrahlen“ durch Eugen Goldstein. Hittorfs Arbeiten ebneten den Weg für Crookes, Thomson und die Entdeckung des Elektrons.

Hittorfs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#25 Ruska: Elektronenmikroskop, #21 Germer: Nachweis von Materiewellen

#2 Otto Lummer (1860–1925)



17.07.1860	Geboren in Gera, Deutschland
1880 - 1884	Studium der Naturwissenschaften in Berlin und Tübingen, u.a. bei Hermann von Helmholtz
1884	Promotion bei Hermann von Helmholtz in Berlin zu Interferenzringen an planparallelen Platten (später als „Lummersche Ringe“ bekannt).
1884 - 1887	Assistent bei von Helmholtz
1887	Wechsel mit Helmholtz an die neugegründete Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) in Berlin.
1889	Entwicklung des Lummer-Brodhun-Würfels (Photometer) gemeinsam mit Eugen Brodhun zur Definition von Lichteinheiten
1890	Heirat mit Henriette Herzog; das Paar bekam Kinder; wieviel ist nicht bekannt
1897 - 1903	**Entwicklung mehrerer Schwarzer Strahler mit Pringsheim und Kurlbaum zur experimentellen Prüfung der Strahlungsgesetze.**
1899 - 1900	Lummer und Pringsheim zeigen experimentell, dass das Wien’sche Strahlungsgesetz bei hohen Wellenlängen nicht zutrifft.
1901	Habilitation an der Universität Berlin
1902	Entwicklung des Lummer-Gehrcke-Interferenzspektroskops mit Ernst Gehrcke (hochauflösendes Interferometrieverfahren)
1904	Ende der Tätigkeit an der PTR
1905	Berufung als ordentlicher Professor für Physik an die Universität Breslau
1905 - 1925	Schwerpunkt auf Lehre und Herausgabe von Lehrbüchern
29.07.1925	Gestorben in Breslau, Polen

Otto Lummer nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Wien'sche Verschiebungsgesetz (#4) Lummers präzise Daten ermöglichen es Wien, sein Verschiebungsgesetz ($\lambda_{max} \propto 1/T$) exakt zu formulieren.
Friedrich Paschen bestätigte als Erster das Wien'sche Strahlungsgesetz.
Stefan-Boltzmann-Gesetz: Lummer baut auf dem Boltzmann-Gesetz (Strahlungsleistung $\propto T^4$) auf, dessen Gültigkeit er durch genauere Messungen weiter bestätigte.

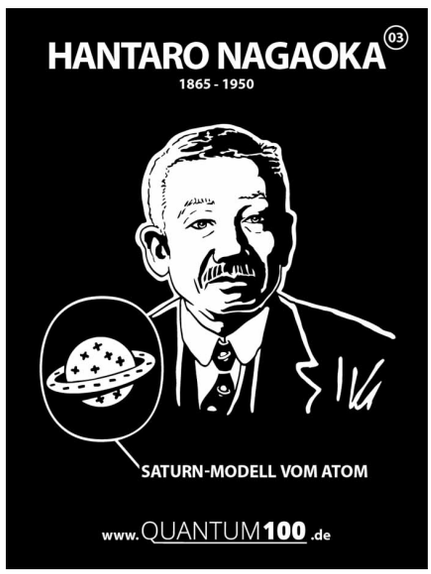
#2 Messung der Schwarzkörperstrahlung

Genaue Messungen des Strahlungsspektrums sogenannter schwarzer Körper, die jede Wellenlänge absorbieren, aber keine Strahlung reflektieren, waren die experimentelle Grundlage für die Geburt der Quantenphysik. Otto Lummer hat gemeinsam mit Ernst Pringsheim (und parallel zu Rubens und Kurlbaum) für diese Messungen am Ende des 19. Jahrhunderts in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin entscheidende Beiträge geleistet. Bei großen Wellenlängen, also kleinen Energien bzw. Frequenzen der emittierten Strahlung, zeigten sich Abweichungen von dem damals akzeptierten Wien'schen Strahlungsgesetz. Diese experimentell gefundene Diskrepanz hat Max Planck im Jahr 1900 zur Entwicklung seiner Strahlungsformel veranlasst, aus der sich im Laufe der kommenden Jahrzehnte die Quantenphysik entwickelt hat.
Lummers Arbeiten haben darüber hinaus auch praktische Anwendungen gefunden, beispielsweise in der Entwicklung von Strahlungsdetektoren und in der Kalibrierung von Strahlungsquellen. Seine Forschungen haben somit nicht nur unser Verständnis der fundamentalen Gesetze der Physik erweitert, sondern auch wichtige Beiträge zur technischen Entwicklung geleistet.

Lummers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#9 Max Planck: Strahlungsformel, Entdeckung vom Wirkungsquantum h;

#3 Hantaro Nagaoka (1865 - 1950)



15.08.1865	Geboren in Nagasaki, Japan
1884 - 1887	Studium der Mathematik und Physik an der Universität Tokyo
1888 - 1893	Studienaufenthalte in Deutschland, Österreich und Großbritannien
1892	Heirat mit Misa Mitsukuri; das Paar bekam eine Tochter und drei Söhne
1893	Rückkehr nach Japan; Berufung zum Professor für Physik an der Universität Tokio
1896	Ernennung zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften Japans
1902	Seine Frau stirbt und er heiratet Toyo Hirakawa; sie bekamen fünf weitere Söhne
1904	**Veröffentlichung seines Atommodells („Saturn-Modell“) in der Zeitschrift Tokyo Gakujutsu Kaishi**
1905	Ablehnung von Thomsons Plum-Pudding-Modell. Begründung: positive Ladung könne keine stabile Struktur erzeugen
1908	Nagaoka erkannte, dass die angenommenen Elektronenringe mechanisch sind und die Atomspektren nicht richtig erklären. Die Idee des Atomkerns bleibt aber als wesentliches Element bestehen
1910	Rutherford erwähnte Nagaokas Saturnmodell ausdrücklich. Nagaoka und Rutherford standen 1910/1911 miteinander in Kontakt; Nagaoka zeigte sich von Rutherfords experimentellen Resultaten beeindruckt.
1924	Emeritierung an der Universität Tokyo
1931	Auszeichnung mit dem Kulturorden Japans
11.12.1950	Gestorben in Tokyo, Japan

Hantaro Nagaoka nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Demokrit (400 v. Chr.); Dalton (1808); Thomson (1904) und das „Rosinenkuchen-Modell“; # 1 Wilhelm Hittorf: Entdecker der Kathodenstrahlen → Elementarer Beitrag zur Elektronentheorie, welche das Teilchenbild im Atom stärkte.

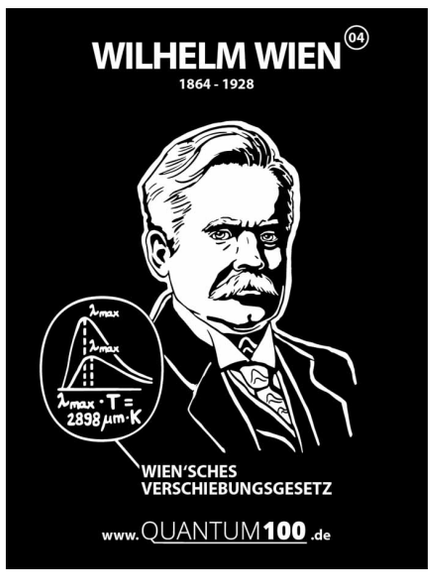
#3 Saturnmodell vom Atom

Hantaro Nagaoka, ein japanischer Physiker, entwickelte 1904 das „Saturnmodell“ des Atoms. Dieses Modell beschreibt das Atom als einen zentralen Kern, umgeben von Elektronen in konzentrischen Ringen, ähnlich den Ringen des Planeten Saturn. Parallel dazu hat J.J. Thomson das „Rosinenkuchen-Modell“ vorgeschlagen, das komplementär dazu eine Mischung positiver und negativer Ladungen annahm. Beide Modelle wurden durch die moderne Quantenphysik obsolet. Interessanterweise prägt aber das Modell von Nagaoka die bildliche Vorstellung gerade von Laien auch noch 120 Jahre später, freilich ohne damit den Namen Nagaokas in Verbindung zu bringen: Um einen positiven Atomkern bewegen sich Elektronen auf Kreisbahnen. Tatsächlich ist der Übergang von einem gestalttreuen und visuell zugänglichen Atommodell wie dem „Saturnmodell“ zu einem funktionalen und abstrakten ohne einen „Bahnbegriff“, wie ihn die Quantenphysik fordert, bis heute eine große intellektuelle Hürde.

Nagaokas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Bohr kannte das Modell, es ist aber nicht belegt, ob es relevant für die Entwicklung vom Bohr’schen Atommodell gewesen ist.

#4 Wilhelm Wien (1864 - 1928)



13.01.1864	Geboren in Gaffken bei Fischhausen, Ostpreußen
1882	Beginn des Physikstudiums in Göttingen, anschließender Wechsel nach Berlin
1883 - 1885	Beginn der Tätigkeit im Labor von Hermann von Helmholtz
1886	Promotion an der Universität Berlin mit einer Arbeit über Beugung von Licht an Metallen
1889	Anstellung an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR)
1892	Habilitation in Berlin
1893	**Formulierung des Wien'schen Verschiebungsgesetzes (Gesetz zur Verschiebung des Maximums der Schwarzkörperstrahlung bei Temperaturänderung)**
1894 - 1896	Ableitung eines Strahlungsgesetzes, das später als „Wien'sches Strahlungsgesetz“ bekannt wurde
1896 - 1899	Tätigkeit als Privatdozent an der RWTH Aachen
1898	Heirat mit Luise Mehler; das Paar bekam drei Töchter und einen Sohn
1900	Berufung als ordentlicher Professor für Physik an die Universität Würzburg
1911	Nobelpreis für Physik „für seine Entdeckungen über die Gesetze der Wärmestrahlung“
1919	Berufung an die Universität München
30.08.1928	Gestorben in München, Deutschland

Wilhelm Wien nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Stefan-Boltzmann-Gesetz: Die abgestrahlte Leistung eines Schwarzen Körpers ist proportional zur vierten Potenz der Temperatur; Friedrich Paschen bestätigte als Erster das Wien'sche Strahlungsgesetz; #02 Otto Lummer: Entwickelte gemeinsam mit Wilhelm Wien einen Hohlraumstrahler zur präzisen Untersuchung der Schwarzkörperstrahlung. Lummers Messungen bestätigten Wiens Strahlungsgesetz von 1896 bei kleinen Wellenlängen und deckten gleichzeitig Abweichungen bei langen Wellenlängen auf, was später zur Entwicklung der Planck'schen Strahlungsformel (#09) führte.

#4 Wien'sches Verschiebungsgesetz

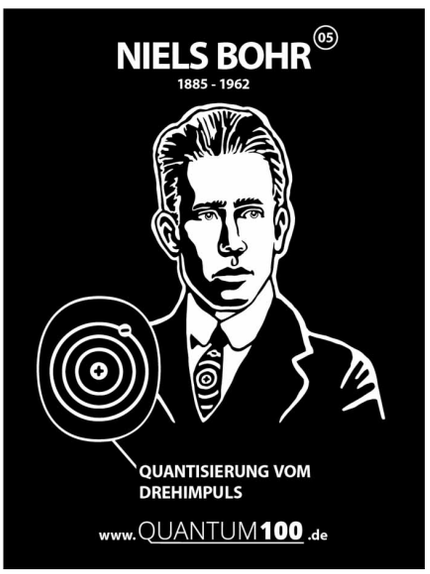
Das Wien'sche Verschiebungsgesetz besagt, dass die Wellenlänge, bei der ein Schwarzer Körper am stärksten strahlt, umgekehrt proportional zur Temperatur ist: je kälter der Körper, desto größer ist die Wellenlänge. Schmiede kennen dieses Phänomen, und auch sprichwörtlich kann man von der Rotglut (Maximum im Infrarot, also mehr als 1 Mikrometer) zur Weißglut (Maximum im Sichtbaren, 0,4-0,8 μmWellenlänge) gebracht werden.
Es gibt viele, zum Teil auch erstaunliche Anwendungen dieses Gesetzes, wie zum Beispiel die kosmische Hintergrundstrahlung: die Temperatur des Universums lag zur Zeit der Entkopplung von Materie und Strahlung bei etwa 3000 K, also der Ionisierungsenergie des Wasserstoffatoms. Nach weiterer Abkühlung durch Expansion hat sich stabiler Wasserstoff gebildet, die Strahlung entkoppelte sich von der Materie. Durch die Expansion des Universums wurden im Laufe der gut 13 Milliarden Jahre bis heute alle Wellenlängen gedehnt, sodass die Strahlung heute nur noch etwa 3 K „warm“ ist und ihr Maximum im Mikrowellenbereich liegt. Abstände sind gemäß dem Wien'schen Verschiebungsgesetz seit der Zeit der Entkopplung um den Faktor 3000/3 gewachsen, also tausendmal größer geworden.
Nicht verwechselt werden darf das Verschiebungsgesetz mit seinem Strahlungsgesetz (1896). Dieses war bis 1900 die akzeptierte Beschreibung des Spektrums der sogenannten Schwarzkörperstrahlung, bis neue Messungen (siehe #2, Otto Lummer) Max Planck veranlassten, es zu korrigieren.

Wiens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#9 Planck: Quantenhypothese (Plancksches Strahlungsgesetz)



#5 Niels Bohr (1885 - 1962)



07.10.1885	Geboren in Kopenhagen, Dänemark
1903–1911	Studium der Physik an der Universität Kopenhagen
1911	Promotion über die Elektronentheorie der Metalle, Forschungsaufenthalt in Cambridge (bei J.J. Thomson) und Manchester (bei E. Rutherford)
1912	Heirat mir Margrethe Nørlund; sie bekamen sechs Söhne; einer seiner Söhne bekam 1975 ebenfalls den Nobelpreis für Physik
1913	**Formulierung des Bohr'schen Atommodells, basierend auf Plancks Quantenhypothese und Rutherfords Atomkernmodell**
1916	Berufung als Professor für Theoretische Physik an die Universität Kopenhagen
1918	Formulierung des Korrespondenzprinzips: Bei großen Quantenzahlen geht die Quantentheorie in die klassische Physik über
1920	Direktor des neugegründeten Instituts für Theoretische Physik in Kopenhagen (später: Niels-Bohr-Institut)
1922	Nobelpreis für Physik für seine Verdienste um die Erforschung der Atomstruktur und Strahlung
1924	Veröffentlichung der BKS-Theorie (Bohr–Kramers–Slater) über Strahlung und Energieerhaltung
1927	Mitformulierung der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik (mit Heisenberg) und des Komplementaritätsprinzips
1936	Entwicklung des Tröpfchenmodells des Atomkerns und Theorie des Compoundkerns
1939	Aufbauend auf der grundlegenden Erkenntnis von Lise Meitner und Otto Frisch: Weiterentwicklung der Theorie der Kernspaltung gemeinsam mit John Wheeler auf Basis des Tröpfchenmodells
1943	Flucht vor dem NS-Regime über Schweden nach Großbritannien und Weiterreise in die USA; Teilnahme am Manhattan-Projekt
1950	Offener Brief an die Vereinten Nationen über nukleare Abrüstung und internationale Zusammenarbeit
1957	Erhält den ersten Atoms-for-Peace-Award
18.11.1962	Gestorben in Kopenhagen, Dänemark

Niels Bohr nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Rutherford-Streuversuch, Entdeckung des Atomkerns; #9 Max Planck: Quantenhypothese – Energie wird in Quanten übertragen, Grundlage für Bohrs Modell.

#5 Bohr'sches Atommodell

Das Bohr'sche Atommodell von 1913 war wegweisend für die Entwicklung der modernen Quantenphysik. Viele der zentralen Grundideen sind bis heute gültig, wenn auch in einer verfeinerten Form: das Spektrum des Wasserstoffatoms (mit einem Proton als Atomkern und einem Elektron) charakterisiert nach Bohr nicht die verschiedenen Energiezustände des Atoms, sondern die Übergänge zwischen diesen Zuständen. Die Neuheit des Bohr'schen Modells liegt darin, dass die Strahlungs- und Bahnfrequenz in keinem Zusammenhang stehen - im Gegensatz zu einem klassischen Hertz'schen Dipol. Der alles entscheidende Punkt ist aber die Quantisierungsbedingung: nicht die Energie, sondern der Drehimpuls diktiert die Quantenbedingung in Einheiten der minimalen Wirkung, also dem Planck'schen Wirkungsquantum ($h = 6.626e^{-34}Js$). Nur für gebundene Zustände folgt daraus die Quantisierung der Energiezustände des Elektrons. Das freie Elektron hat ein kontinuierliches Energiespektrum. Den Anschluss an die klassische Physik gelang durch das Bohr'sche Korrespondenzprinzip: für große Wirkungen, also großen Bahndrehimpuls, nähert sich die Bahnfrequenz der Strahlungsfrequenz an. Heisenbergs Entwicklung der modernen Quantenmechanik gelang in unmittelbarem Anschluss an Bohrs Ideen.

Bohrs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#7 Sommerfeld: Erweiterung des Bohrschen Atommodells zum Bohr-Sommerfeld-Modell mit elliptischen Umlaufbahnen, #6 van Leeuwen: Bohr-van Leeuwen Theorem: Magnetimus ist ein Quanteneffekt, #16 Heisenberg: Matrizen-Mechanik, #17 Schrödingers Gleichung



#6 Hendrika Johanna van Leeuwen (1887 - 1974)



03.07.1887	Hendrika Johanna van Leeuwen wird in Den Haag, Niederlande geboren
1914	Zusammen mit ihrer Schwester studierte sie Physik an der Universität Leiden
1919	Dissertation „Probleme aus der Elektronentheorie des Magnetismus“ mit der Erkenntnis, dass **Magnetismus ein Quantenphänomen ist → Bohr-van Leeuwen-Theorem**
1920 - 1947	Assistentin an der Technischen Hochschule Delft (heute: Technische Universität Delft)
1947	Ernennung zur ersten Professorin an der Technischen Hochschule Delft
1947 - 1952	Professur für theoretische und angewandte Physik. Neben ihrer Arbeit im Physiklabor hält sie Vorlesungen über Ferromagnetismus und Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie
1952	Emeritierung
1960	Sie zieht in ein Seniorenheim für Frauen im Zentrum von Delft. Sie pflegt weiter die Korrespondenz mit ehemaligen Kollegen und ihrer Schwester
26.02.1974	Hendrika Johanna van Leeuwen stirbt in Delft, Niederlande

Hendrika Johanna van Leeuwen nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#5 Niels Bohr: Bohr'sches Atommodell ermöglicht erstes Verständnis von magnetischen Momenten.

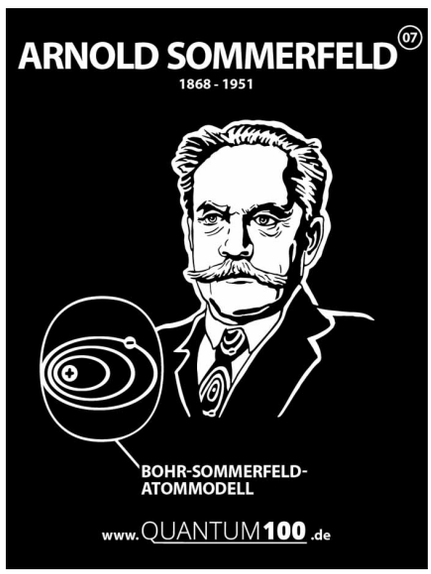
#6 Magnetismus ist ein Quanteneffekt

Hendrika Johanna van Leeuwen, eine niederländische Physikerin, zeigte 1959, dass Magnetismus ein Quanteneffekt ist.
In ihrer 1919 bei Hendrik Antoon Lorentz abgeschlossenen Dissertation „Vraagstukken uit de electronentheorie van het magnetisme" (Probleme der Elektronentheorie des Magnetismus) untersuchte Hendrika Johanna van Leeuwen verschiedene klassische Modelle des Magnetismus. Sie behandelte unter anderem gebundene Elektronen in Atomen und Molekülen sowie frei bewegliche Leitungselektronen in Metallen undverglich dabei Ansätze von Lorentz, Waldemar Voigt, J. J. Thomson und Erwin Schrödinger.
Das wichtigste Ergebnis ihrer Dissertation ist heute als Bohr-van-Leeuwen-Theorem bekannt. Van Leeuwen zeigte, dass in im thermischen Gleichgewicht die gemittelte Magnetisierung verschwindet. Ein äußeres Magnetfeld verändert in der klassischen statistischen Mechanik zwar die Bahnen der geladenen Teilchen, führt im thermischen Gleichgewicht jedoch zu einer verschwindenden Gesamtmagnetisierung. Niels Bohr war unabhängig davon zu einem entsprechenden Ergebnis gelangt.
Mit anderen Worten: Magnetismus muss ein Quanteneffekt sein, der über die bekannte klassische statistische Mechanik hinausgeht, was auch ein deutlicher Hinweis darauf ist, dass das Bohr'sche Atommodell mit dem Konzept des Bahnbegriffs aufgegeben und durch die Quantenphysik ersetzt werden muss.

van Leeuwens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Van Leeuwens Nachweis der Grenzen klassischer Magnetismustheorien bildet einen grundlegenden Bezugspunkt für die spätere quantenmechanische Erklärung des Para-, Dia- und Ferromagnetismus (z.B. Pauli-Paramagnetismus, Austauschtheorie des Ferromagnetismus von Heisenberg).

#7 Arnold Sommerfeld (1868 - 1951)



05.12.1868	Geboren in Königsberg (Ostpreußen)
1886 - 1891	Studium der Mathematik und Physik an der Universität Königsberg, Ostpreußen, heute Kaliningrad, Russland
1891	Promotion bei Ferdinand von Lindemann über partiell differenzierbare Funktionen
1895	Habilitation in Mathematik an der Universität Göttingen
1897	Heirat mit Johanna Höpfner; das Paar bekam zwei Töchter und zwei Söhne
1900	Berufung als außerordentlicher Professor für technische Mechanik an die RWTH Aachen
1906	Ruf auf den Lehrstuhl für Theoretische Physik an der Universität München
1916	**Veröffentlichung der Erweiterung des Bohr'schen Atommodells (Bohr– Sommerfeld-Modell) und Einführung der Feinstrukturkonstanten als fundamentale Naturkonstante**
1919	Veröffentlichung des Lehrbuchs Atombau und Spektrallinien
1920 - 1940	Ausbildung zahlreicher späterer Nobelpreisträger, darunter Pauli, Heisenberg, Bethe, Debye
1927	Anwendung der Fermi-Dirac-Statistik auf Metalle (Drude-Sommerfeld-Modell)
1935 - 1940	Emeritierung, Unterstützung von Heisenberg als Nachfolger; Ablehnung durch NSDAP-nahe Kräfte („Deutsche Physik“)
26.04.1951	Gestorben in München, Deutschland (infolge eines Verkehrsunfalles)

Arnold Sommerfeld nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#03 Hantaro Nagaoko: Saturn-Modell von Atomen - Vorgänger des Bohr'schen Atommodells
#05 Niels Bohr: Bohr'sche Atommodell - Bohrs Atommodell als Vorlage für Sommerfelds Erweiterung
#09 Max Planck – Kleinste messbare Wirkung → Grundlegend für alle Quantisierungsideen, auch in Bohr-Sommerfelds Bahnquantisierung.

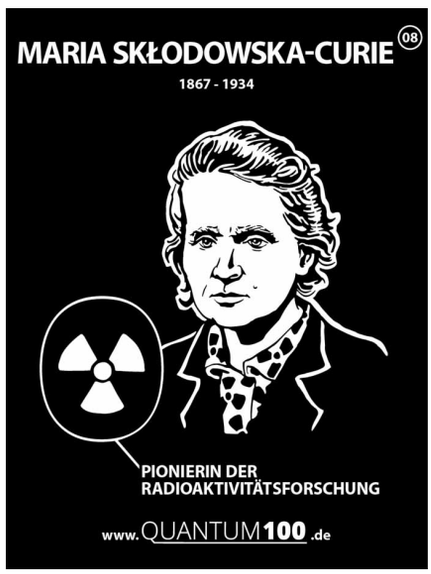
#7 Bohr-Sommerfeld Atommodell

Sommerfeld verallgemeinerte 1915 im Bohr-Sommerfeld-Modell die Kreisbahnen des Bohr'schen Atommodells zu Ellipsen, ganz analog zu den Kepler-Ellipsen. Aus heutiger Sicht ist der vielleicht wichtigste Beitrag dieses Modells die Verallgemeinerung der Quantisierungsbedingung: während Bohr die Quantisierung des Drehimpulses postuliert, wird diese Idee hier nun erweitert auf die Quantensierung der sogenannten „Wirkung“ die proportional zur Länge der elliptischen Umlaufbahn ist. Nur solche elliptische Bahnen, deren Wirkung ein Vielfaches des Planck'schen Wirkungsquantum ergeben, sind „erlaubt“. Der größte Triumph dieses Modells war die erfolgreiche Beschreibung der Feinstruktur des Wasserstoffspektrums. Diese kleine Aufspaltung der Spektrallinien ist aus heutiger Sicht jedoch eine Folge des Elektronenspins, der damals noch unbekannt war. Dass dieser Effekt auch mit dem eigentlich falschen Modell erklärt werden konnte, wird auch als „Sommerfeld-Rätsel“ bezeichnet. Auch der Stern-Gerlach-Versuch 1922 wurde zunächst erfolgreich mit der Theorie von Sommerfeld gedeutet – das richtige Experiment zur falschen Theorie. Denn auch hier wird nach heutigem Verständnis ein Effekt des Elektronenspins beobachtet, der jedoch erst 1925 von Uhlenbeck und Goudsmit postuliert wurde.

Sommerfelds Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

In gewisser Weise war die Sommerfeld-Erweiterung eine Sackgasse: Die moderne Quantenmechanik gibt die Vorstellung wohldefinierter Elektronenbahnen im Atom auf. Semiklassische Näherungen sind jedoch nach wie vor von großer Bedeutung.

#8 Marie Skłodowska Curie (1867 - 1934)



7.11.1867	Geburt in Warschau, Russisches Kaiserreich
1883	Teilnahme an Kursen der heimlich organisieren „Fliegenden Universität“
1890	Erste Gelegenheit für physikalische und chemische Experimente im Laboratorium des Warschauer Industrie- und Landwirtschaftsmuseum
1891	Studium an der Sorbonne in Frankreich, da Frauen in Warschau nicht an einer Universität studieren durften
26.07.1895	Heirat mit Pierre Curie im Rathaus Sceaux
12.09.1897	Geburt ihrer Tochter Irène
12.04.1898	Gabriel Lippmann stellt Marie Curies erste Ergebnisse zur Strahlung von Uran- und Thoriumverbindungen der Académie des sciences in Paris vor
1903	**Gemeinsam mit Pierre Curie erhält Marie Curie die Hälfte des Nobelpreises für Physik für ihre gemeinsamen Untersuchungen der von Henri Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene; Becquerel erhält die andere Hälfte**
	Erste gesundheitliche Probleme aufgrund von Strahlenkrankheit und eine Fehlgeburt
06.12.1904	Geburt ihrer zweiten Tochter Ève
19.04.1906	Ihr Mann Pierre Curie wird von einem Lastfuhrwerk überfahren und stirbt am Unfallort. Sie übernimmt seine Lehrverpflichtungen
1908	Berufung zur Professorin an der Sorbonne für allgemeine Physik und damit erste Professorin Frankreichs
1910	Auf dem Kongress für Radiologie und Elektrizität beschließt die Kommission, die Maßeinheit für Aktivität „Curie“ zu nennen
1911	**Nobelpreis für Chemie für die Entdeckung der radioaktiven Elemente Polonium und Radium**
1914	Entwicklung der „Petites Curies“, mobile Röntgengeräte zur Behandlung verwundeter Soldaten
04.07.1934	Gestorben bei Passy, Frankreich an aplastischer Anämie, wahrscheinlich als Spätfolge der Strahlenexposition

Marie Skłodowska Curie nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#01 Wilhelm Hittorf – Kathodenstrahlen - frühe Experimente mit Elektrizität in Gasen bereiteten das Feld, in dem auch die Strahlung von Stoffen später eine Rolle spielte.
Henri Becquerel - Entdeckte 1896 die spontane Strahlung von Uranverbindungen – Curie griff diese Beobachtung auf und prägte den Begriff „Radioaktivität“.

#8 Pionierin der Radioaktivitätsforschung

Marie Skłodowska-Curie, geboren am 7. November 1867 in Warschau, war eine bahnbrechende Wissenschaftlerin, die maßgeblich zur Erforschung der Radioaktivität beitrug. Gemeinsam mit ihrem Ehemann Pierre Curie entdeckte sie die Elemente Polonium und Radium und entwickelte Methoden zur Isolierung und Untersuchung radioaktiver Substanzen.
Die Forschungen von Marie Skłodowska-Curie führten zu einem tieferen Verständnis der Radioaktivität und ihrer Anwendungen in der Medizin, Physik und Chemie. Ihre Arbeit wurde international anerkannt, und sie erhielt 1903 zusammen mit Pierre Curie und Henri Becquerel den Nobelpreis für Physik für ihre Pionierarbeit auf dem Gebiet der Radioaktivität. 1911 erhielt sie einen weiteren Nobelpreis, diesmal für Chemie, für ihre Arbeiten zur Isolierung reiner Radiumsalze.
Marie Skłodowska-Curies Beiträge zur Wissenschaft sind unvergleichlich, und ihre Entdeckungen haben den Grundstein für zahlreiche weitere Forschungen in der Kernphysik, Nuklearmedizin und Materialwissenschaft gelegt. Sie bleibt eine Inspirationsquelle für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit und ein Symbol für Durchhaltevermögen und intellektuelle Neugier, auch und gerade unter extremer persönlicher Belastung.
Ihre Laborbücher und persönlischen Gegenständer sind bis heute radioaktiv kontaminiert und werden nur mit Schutzmaßnahmen benutzt.

Curies Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#37 Otto Hahn #38 Lise Meitner: Kernspaltung, #22 Edith Quimby: Nuklearmedizin

#9 Max Planck (1858 - 1947)



23.04.1858	Geboren in Kiel, Deutschland
1874 – 1879	Studium der Physik in München und Berlin
1879	Promotion an der Universität München mit einer Arbeit über den 2. Hauptsatz der Thermodynamik
1880	Habilitation an der Universität München
1885	Berufung als außerordentlicher Professor an die Universität Kiel
1887	Heirat mit Marie Merck; sie hatten zwei Töchter und zwei Söhne, die er alle überlebte
1889	Berufung als außerordentlicher Professor an die Universität Berlin (Nachfolge von Kirchhoff)
1892	Ernennung zum ordentlichen Professor
1894	Planck wird auf Vorschlag von Helmholtz in die „Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin“ gewählt im Alter von 35 Jahren (der Altersdurchschnitt lag bei über 60 Jahren)
1894 - 1900	Arbeit an der Strahlungstheorie; Analyse empirischer Daten von Lummer und Pringsheim
14.12.1900	**Vorstellung der quantisierten Energieverteilung im Hohlraumstrahler vor der DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft) und Einführung der Planck-Konstante h. Dies markiert die „Geburtsstunde der Quantentheorie“.**
1901	Veröffentlichung der Planck’schen Strahlungsformel in Annalen der Physik
1905	Unterstützt Einsteins Lichtquantenhypothese; frühe Rezeption der Quantentheorie
1911	Heirat mit Margarethe von Hoesslin, der Nichte seiner 1909 verstorbenen Frau; sie bekamen einen Sohn
1919	Verleihung des Nobelpreises für Physik „in Anerkennung der Begründung der Quantentheorie“
1930 - 1936	Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (heute: Max-Planck-Gesellschaft)
1945	Tod seines Sohnes Erwin Planck durch Hinrichtung nach dem Attentat vom 20. Juli 1944
04.10.1947	Gestorben in Göttingen, infolge mehrerer Schlaganfälle.

Max Planck nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#02 Otto Lummer – Messung der Schwarzkörperstrahlung
#04 Wien – Wien'sches Strahlungsgesetz - Wien lieferte eine Näherungslösung zur Strahlungsverteilung, die für hohe Frequenzen gut funktionierte. Planck übernahm sie zunächst, fand dann aber seine eigene Formel – mit dem revolutionären Ansatz der Quantisierung von Energie.

#9 Planck'sches Wirkungsquantum h

Basierend auf den Messergebnissen von Otto Lummer u.a. zur Schwarzkörperstrahlung entwickelte Max Planck die korrekte Formel für die Schwarzkörperstrahlung und führte das Planck'sche Wirkungsquantum ein, das er mit den Messdaten zu $h = 6.55 \cdot 10^{-34}$ J s bestimmte. Die experimentellen Daten zur Schwarzkörperstrahlung waren der unmittelbare Anlass für Plancks Arbeit, die jedoch in ein größeres Forschungsprogramm zur Begründung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik eingebettet war.
Max Planck wurde dadurch zum „Revolutionär wider Willen", da er zunächst wohl noch nicht aus diesem Ergebnis auf eine tatsächliche „Quantisierung" geschlossen hat. Dennoch ist seine Strahlungsformel in der Rückschau der Beginn der Quantenphysik. Erst im Laufe der weiteren Jahre hat sich nach und nach die fundamentale Bedeutung von h als kleinste messbare Wirkung herausgestellt. Heute ist der Wert als Naturkonstante festgelegt und ist ein Eckpfeiler des modernen Einheitensystems. Der Wert ist exakt gegeben durch: $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} Js$

Plancks Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#05 Bohr: Quantisierung vom Bahndrehimpuls, #07 Sommerfeld: Bohr-Sommerfeld-Atommodell, #13 de Broglie: Materiewellen, #16 Werner Heisenberg: Matrizen-Mechanik, #17 Schrödinger-Gleichung

#10 Emmy Noether (1882 - 1935)



23.03.1882	Geburt in Erlangen, Deutschland
1900	bayer. Staatsprüfung für Lehrerinnen der franz. und engl. Sprache und damit Erhalt der Zulassung zur Universität als „Hörerin ohne Rechte auf Prüfungen“ mit Genehmigung des Professors
1900 - 1903	Gasthörerin in der Universität Erlangen in Kurse in Mathematik, aber auch in Geschichte, Romanischen Sprachen und Archäologie
1903	Abitur am Realgymnasium in Nürnberg
1904	Eine Gesetzesänderung ermöglichte die Immatrikulation als ordentlich Studierende der Mathematik
1907	Dissertation „Über die Bildung des Formensystems der ternären biquadratischen Form“
1907 - 1915	Forschung und Arbeit am mathematischen Institut an der Universität Erlangen ohne Anstellung
1915 - 1933	Forschung und Arbeit an der Universität Göttingen
1918	**Formulierung des Noether-Theorems, das den Zusammenhang zwischen Symmetrien und Erhaltungsgrößen wiedergibt**
1921	Idealtheorie in Ringbereichen
1922	Außerordentliche Professur (ohne Einkommen) an der Universität Göttingen
1923	Erstes geringes Einkommen als Dozentin
1927	Abstrakter Aufbau der Idealtheorie in algebraischen Zahl- und Funktionenkörpern
1928	Hyperkomplexe Größen und Darstellungstheorie in der arithmetischen Auffassung
1932	Hyperkomplexe Systeme in ihrer Beziehung zur kommutativen Algebra und zur Zahlentheorie
1933	Entzug der Lehrerlaubnis aus „rassischen Gründen“ (Ihre Familie gehörte dem liberalen Judentum an). Daneben war Noether Mitglied der sozialdemokratischen Partei (1919 - 1924) und Pazifistin
1933 - 1935	Gastprofessur am Bryn Mawr College für Mädchen in Pennsylvania mit erstmalig angemessener Bezahlung
1934	Vorträge am Institut for Advanced Study in Princeton
14.04.1935	Emmy Noether starb in Bryn Mawr, Pennsylvania, USA an den Folgen einer Tumoroperation

Emmy Noether nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Lagrange und Hamilton – klassische Mechanikformulierung - Der Übergang zur analytischen Mechanik, in der man aus einem Wirkungsprinzip die Bewegungsgleichungen ableitet, war entscheidend.
Albert Einstein – Allgemeine Relativitätstheorie - Noether entwickelte ihr Theorem ursprünglich, um ein Problem in Einsteins Theorie zu lösen: die Erhaltung der Energie in einer allgemein kovarianten Theorie.

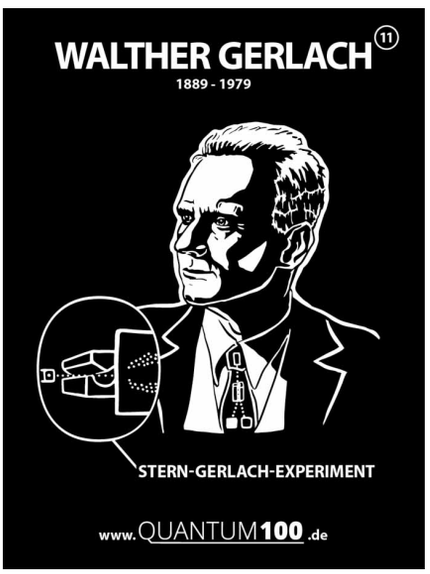
#10 Symmetrie = Erhaltungssatz

Emmy Noether, eine deutsche Mathematikerin, entwickelte 1918 ihre Theorie über die Beziehung zwischen Symmetrie und Erhaltungssätzen. Der Energieerhaltung folgt aus der Zeitinvarianz der physikalischen Gesetze, Impulserhaltung aus deren Ortsinvarianz.
Noether hat das Theorem noch allgemeiner formuliert und jeder Erhaltungsgröße - insbesondere Ladungen - eine Symmetriegruppe zugeordnet. Ihr Theorem ist bis heute von fundamentaler Bedeutung für die Physik. Auch wenn die Physik invariant mit der Zeit ist, sind gesellschaftliche Umstände es nicht: zum Glück hat sich seit ihrer Zeit einiges geändert, denn zunächst konnte sie sich an der Universität Erlangen im Jahr 1900 nur als Gasthörerin einschreiben, denn erst seit 1903 durften sich auch Frauen in Bayern zum Studium immatrikulieren.

Noethers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #52: Yang: Yang-Mills Theorie, Standardmodell der Elementarteilchenphysik

#11 Walther Gerlach (1889 - 1979)



01.08.1889	Geboren in Biebrich am Rhein, Deutschland
1908 – 1911	Studium der Philosophie, Mathematik, Physik und Chemie in Tübingen
1911 - 1916	Assistent bei Friedrich Paschen an der Universität Tübingen
1912	Promotion bei Paschen
1915 – 1918	Militärdienst im Ersten Weltkrieg als Nachrichtentechniker
1916	Habilitation an der Universität Tübingen
1917	Privatdozent in Göttingen und Heirat mit Mina (Wilhelmine Katharina) Mezger; das Paar bekam eine Tochter
1919 - 1920	Leiter des Physikalischen Labors der Farbenfabriken Elberfeld (später Bayer AG)
1920	außerordentlicher Professor an der Universität Frankfurt am Main
1921–1922	**Durchführung des Stern-Gerlach-Experiments zusammen mit Otto Stern in Frankfurt am Main**
1925	Ruf auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Tübingen
1929	Ruf auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik an der LMU München
1933/34	Vorlesungs- und Prüfungsverbot wegen Protesten gegen NS-Maßnahmen
1939	Seine Ehe wird wegen Geisteskrankheit der Frau aufgehoben; wenige Wochen nach der Scheidung heiratet er Dr. med. Ruth Probst
1939 - 1943	Mitglied der „Arbeitsgemeinschaft Cornelius“ (Entmagnetisierung von Schiffen, Entwicklung von Magnetzündern)
1940	Seine Tochter wird im Rahmen der nationalsozialistischen Krankenmorde in der Tötungsanstalt Grafeneck ermordet
1943 - 1945	Bevollmächtigter für Kernphysik im Reichsforschungsrat; Leitung des Uranprojekts
1945 - 1946	Internierung in England im Rahmen der Operation Epsilon („Farm HallProtokolle“)
1946 - 1948	Professur an der Universität Bonn
1948 - 1957	Rektor der LMU München und Lehrstuhl für Experimentalphysik
1949 - 1951	Gründungspräsident der Fraunhofer-Gesellschaft
1957	Unterzeichner der Göttinger Erklärung gegen atomare Bewaffnung, Emeritierung (danach verstärkte Tätigkeit in der Wissenschaftsgeschichte)
10.08.1979	Gestorben in München, Deutschland

Walther Gerlach nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#05 Niels Bohr - Bohr'sches Atommodell - Die Idee von gequantelten Bahnen und Energieniveaus inspirierte Versuche, Quanteneigenschaften direkt nachzuweisen
Klassische Magnetismusforschung (van Leeuwen #6) - Die Erkenntnis, dass klassische Physik Magnetismus nicht erklären kann, bereitete den Weg für quantenphysikalische Sichtweisen.

#11 Stern-Gerlach Experiment

Im Jahr 1922 führten Walther Gerlach und Otto Stern ein für die weitere Entwicklung entscheidendes Experiment durch, das heute als „Stern-Gerlach Experiment" in die Geschichte eingegangen ist. In Würdigung der Leistungen des äußerst fähigen Mechanikers Adolf Schmidt könnte es aber ebenso als „Stern-Gerlach-Schmidt Experiment" bezeichnet werden. Die von Otto Stern entwickelte Molekularstrahlmethode war Ausgangspunkt für die Möglichkeit, aus einem Ofen einen feinen Strahl von neutralen Silberatomen auszusenden, die dann mit einem inhomogenen Magnetfeld wechselwirken. Nach klassischer Vorstellung ist das Dipolmoment der Silberatome zufällig ausgerichtet und man würde auf dem Schirm eine *kontinuierliche* Verteilung erwarten. Im Experiment hingegen zeigten sich genau zwei *diskrete* Signale – ein Quanteneffekt!
Aber welcher? Interpretiert wurde die Beobachtung damals im Rahmen der (falschen) Theorie von Bohr-Sommerfeld als Quantisierung vom Bahndrehimpuls, also der räumlichen Orientierung vom Orbital. Aus heutiger Sicht ist die Aufspaltung jedoch eine Folge des Spins, den das Hüllenelektron des Silberatoms besitzt. Das Experiment hat also etwas entdeckt, was es zu der Zeit in der Theorie noch nicht gab: den quantisierten Elektronenspin, der erst 1925 von Uhlenbeck und Goudsmit postuliert wurde.

Gerlachs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#15 Pauli: Ausschließungsprinzip, #16 Heisenberg: Unschärferelation, #20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #24 Dirac: Vorhersage von Antimaterie, #36 Wigner: Spin-Statistik-Theorem

#12 Otto Stern (1888 - 1969)



17.02.1888	Geboren in Sohrau, Oberschlesien
1906 - 1912	Studium der Physik an der Universität in Breslau mit Studienaufenthalten in München und Freiburg
1912	Promotion mit einer Dissertation über den osmotischen Druck von Kohlendioxid in konzentrierten Lösungen an der Universität Breslau und anschließendem Wechsel an die Universität Prag zur engen Zusammenarbeit mit Albert Einstein
1912 - 1913	Forschungsassistent von Einstein an der ETH Zürich
1913	Habilitation an der ETH Zürich im Fach physikalische Chemie mit einer Arbeit zur kinetischen Theorie
1914 - 1921	Privatdozent an der Universität Frankfurt am Main, angegliedert an Max Borns Lehrstuhl
1915 - 1918	Kriegsdienst in einer meteorologischen Einheit im Ersten Weltkrieg
1921	Ruf als außerordentlicher Professor für Theoretische Physik an die Universität Rostock
1922	**Nachweis der Richtungsquantelung an Silberatomen im Stern-Gerlach-Experiment**
1923	Berufung zum Ordinarius am neu gegründeten Institut für Physikalische Chemie an der Universität Hamburg
1933	Rücktritt aus dem Amt und Emigration in die USA nach der nationalsozialistischen Machtübernahme
1943	Nobelpreis für Physik für die Entwicklung der Molekularstrahlmethode und die Messung des magnetischen Moments des Protons (verliehen 1944)
1946	Emeritierung und Umzug nach Kalifornien
17.08.1969	Gestorben in Berkeley, Kalifornien, USA

Otto Stern nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#05 Niels Bohr - Bohr'sches Atommodell - Die Idee von gequantelten Bahnen und Energieniveaus inspirierte Versuche, Quanteneigenschaften direkt nachzuweisen
Klassische Magnetismusforschung (van Leeuwen #6) - Die Erkenntnis, dass klassische Physik Magnetismus nicht erklären kann, bereitete den Weg für quantenphysikalische Sichtweisen.

#12 Stern-Gerlach Experiment

Otto Stern war ein begnadeter Experimentalphysiker, der die Molekularstrahlmethode entwickelt hat. Als Jude war Stern bereits früh in seiner Karriere mit Antisemitismus konfrontiert. Zugleich wurde kein anderer Physiker häufiger für den Nobelpreis nominiert: insgesamt erhielt er 82 Nominierungen, bevor ihm der Preis 1943 schließlich verliehen wurde. Otto Stern emigrierte 1933 in die USA. Anders als viele andere europäische Emigranten, darunter Hans Bethe und Edward Teller, beteiligte sich Stern nicht am Manhattan-Projekt. Eine Mitarbeit an der Entwicklung der Atombombe lehnte er aus ethischen Gründen ab. Die von ihm mitentwickelte Molekularstrahlmethode fand gleichwohl in Bereichen der kernphysikalischen Grundlagenforschung Anwendung, die für das Manhattan-Projekt von Bedeutung waren – jedoch ohne Sterns unmittelbare Beteiligung.

Sterns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#15 Pauli: Ausschließungsprinzip, #16 Heisenberg: Unschärferelation, #20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #24 Dirac: Vorhersage von Antimaterie, #36 Wigner: Spin-Statistik-Theorem, sowie: Weiterentwicklung der Molekularstrahlmethode

#13 Louis de Broglie (1892 - 1987)



15.08.1892	Geboren in Dieppe, Frankreich
1910 - 1913	Studium der Philosophie und Geschichte an der Sorbonne, danach Wechsel zur Physik und Mathematik
1914 - 1919	Militärdienst im Ersten Weltkrieg, Tätigkeit im Bereich Funktechnik
1919	Wiederaufnahme des Studiums der an der Sorbonne
1924	**Promotion mit der Dissertation „Recherches sur la théorie des quanta“, in der er die Hypothese der Materiewellen aufstellt**
1927	Bestätigung der Wellennatur von Elektronen durch das Experiment von Davisson und Germer
1929	Verleihung des Nobelpreises für Physik „für seine Entdeckung der Wellennatur der Elektronen“
1932	Berufung als Professor an die Sorbonne
1945	Berater der französischen Atomenergiekommission, Einsatz für Verbindung zwischen Forschung und Industrie
1949	Offizieller Vorschlag zur Gründung eines europäischen Kernforschungslabors (führt später zur Gründung des CERN)
1953	Wahl zum auswärtigen Mitglied der Royal Society
1956	Rückkehr zur kausalen Wellenmechanik im Anschluss an Bohm und Vigier (de-Broglie-Bohm-Theorie)
1960	Übernahme des Herzogstitels als 7. Duc de Broglie nach dem Tod seines Bruders
19.03.1987	Gestorben in Louveciennes bei Paris, Frankreich

Louis de Broglie nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#5 Bohr und #7 Sommerfeld – Atommodelle - # Planck: Planck'sches Wirkungsquantum, #23 Arthur Compton – Compton-Effekt - Compton zeigte, dass Photonen Teilcheneigenschaften besitzen → de Broglie fragte: Haben Teilchen dann Welleneigenschaften?

#13 Materiewellen

Louis de Broglie, geboren am 15. August 1892 in Dieppe, Frankreich, war ein bedeutender Physiker, der mit seiner Arbeit die Grundlagen der Quantenmechanik revolutionierte. Im Jahr 1924 stellte er die Hypothese auf, dass nicht nur Licht, sondern auch Materie wellenartige Eigenschaften mit $\lambda = h/p$ besitzt. Hier bezeichnet λ die Wellenlänge, h das Planck'sche Wirkungsquantum und p den Impuls des Teilchens. Diese spekulative Idee war ein wichtiger Meilenstein in der Entwicklung der modernen Physik, und bereits 1926 formulierte Schrödinger auf ihrer Grundlage seine Wellengleichung. Der experimentelle Nachweis der „Materiewellen" gelang bereits 1927.
Allerdings erfuhren die „Materiewellen" de Broglies durch die späteren Arbeiten eine wichtige Umdeutung: Die Schrödinger-Wellenfunktion beschreibt keine materielle Welle im Raum wie eine elektromagnetische Welle nach Maxwell. Vielmehr bestimmt ihr Betragsquadrat die Wahrscheinlichkeit, ein Teilchen an einem bestimmten Ort nachzuweisen.

de Broglies Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#17 Schrödingers Gleichung, #21 Germer: Nachweis von Materiewellen, #66 Bells Ungleichung, #88 Zeilinger: Quantenteleportation, #92 Arndt: Interferenz von Makromolekülen

#14 Satyendranath Bose (1894 – 1974)



01.01.1894	Geboren in Kalkutta, Indien
1909 - 1915	Studium der Mathematik am Presidency College und der Universität Kalkutta
1914	Arrangierte Heirat mit Ushabati Ghosh; das Paar bekam sechs Töchter und drei Söhne; Zwei der Kinder verstarben im frühen Kindesalter; seine Töchter absolvierten alle ein Universitätsstudium
1917	Ernennung zum Dozenten für Physik an der Universität Kalkutta
1924	Bose verfasst eine Arbeit über die statistische Verteilung von Photonen ohne Verwendung klassischer Mechanik und sendet sie an Albert Einstein, nachdem sie vorher von einer Zeitschrift abgelehnt wurde
1924	**Einstein erkennt die Bedeutung sofort, übersetzt Boses Arbeit ins Deutsche und reicht sie bei der Zeitschrift für Physik ein; Beginn der Bose-Einstein-Statistik**
1924 - 1926	Aufenthalt in Europa; Zusammenarbeit mit Einstein und anderen Physikern
1926	Rückkehr nach Indien; Professur an der Dacca University (heute in Bangladesch)
1945	Rückkehr nach Kalkutta; Professur für Physik an der Universität Kalkutta
1958	Ernennung zum National Professor of India
04.02.1974	Gestorben in Kalkutta, Indien

Satyendranath Bose nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#09 Max Planck – Quantenhypothese - Grundlage für die Idee der Energiequanten.
#13 Louis de Broglie – Materiewellen - BECs sind kollektive Wellenzustände aus de-Broglie-Wellen.
#15 Wolfgang Pauli – Ausschlussprinzip - Im Gegensatz zu Fermionen (die sich nicht „stapeln“ dürfen), dürfen Bosonen denselben Zustand besetzen - der zentrale Mechanismus hinter dem BEC.

#14 Bose-Einstein Kondensat

Der indische Physiker S. Bose nutzte die Idee von de Broglie, schlug 1924 eine neue Statistik für Photonen vor und gab damit der Planck'schen Strahlungsformel ein neues theoretisches Fundament. Gemeinsam mit Albert Einstein erkannte er, dass bei tiefen Temperaturen die Wellenlänge von Materiewellen größer wird, da der Impuls kleiner wird. Das Bose-Einstein-Kondensat (BEK) ist ein besonderer Aggregatzustand, der auftritt, wenn viele Bosonen bei extrem tiefen Temperaturen denselben quantenmechanischen Grundzustand einnehmen und sich dadurch wie eine einzige „Superwelle“ verhalten, wenn der mittlere Abstand zwischen den Teilchen von der Größenordnung der De Broglie-Wellenlänge ist. Experimentell nachgewiesen wurde das Bose-Einstein-Kondensat über 70 Jahr nach dieser Vorhersage im Jahr 1995 von Eric Cornell und Carl Wieman bei Rubidium-87-Atomen bei einer Temperatur von etwa 170 Nanokelvin – also weniger als ein Millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt. Kurz darauf gelang Wolfgang Ketterle am MIT die Erzeugung eines BEK mit Natrium-Atomen, wodurch er besonders große und dichte Kondensate herstellen konnte.

Boses Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#51 Jin: ultrakalte fermionische Kondensate, #62 Josephson: supraleitender Tunnelkontakt, sowie: Quantenstatistik von Quantengasen

#15 Wolfgang Pauli (1900 - 1958)



25.04.1900	Geboren in Wien, Österreich
1918 - 1921	Studium der Physik an der Universität München bei Arnold Sommerfeld. In dieser Zeit entstand sein allgemein gerühmtes Übersichtsreferat über die Relativitätstheorie für die „Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften“.
1921	Promotion bei Arnold Sommerfeld mit einer Arbeit über das Wasserstoffmolekül-Ion
1921 - 1922	Assistent von Max Born an der Universität Göttingen, Arbeit an quantentheoretischen Modellen des Heliumatoms
1922 - 1923	Aufenthalt bei Niels Bohr in Kopenhagen
1923 - 1928	Professur an der Universität Hamburg und Aufbau eines Zentrums für theoretische Physik
1924	**Formulierung des Pauli-Prinzips: Kein Elektron kann denselben Quantenzustand wie ein anderes einnehmen**
1926	Matrizendarstellung der Quantenmechanik: Pauli berechnet das Wasserstoffspektrum und etabliert die neue Theorie
1927	Einführung der Pauli-Matrizen zur Beschreibung des Elektronenspins
1928	Berufung als ordentlicher Professor für Theoretische Physik an die ETH Zürich
1929	Heirat mit der Berliner Tänzerin Käthe Deppner; die Ehe hielt nicht einmal ein Jahr; infolge dessen und zusammen mit dem Suizid seiner Mutter 1927 bekam er Depressionen
1930	Vorschlag der Existenz des Neutrinos zur Erklärung der Energieerhaltung beim Betazerfall
1930 - 1932	Therapie bei Carl Gustav Jung, dabei intensives Auseinandersetzen mit dem Unbewussten, später reger Austausch mit dem Psychotherapeuten über Grenzen zwischen Wissenschaft und Psychologie
1934	Heirat mit Franziska „Franca“ Bertram
1935 - 1938	Aufenthalt in den USA (u.a. Princeton University)
1940	Gemeinsam mit Markus Fierz: Spin Statistik Theorem
1945	Verleihung des Nobelpreises für Physik für die Entdeckung des Pauli-Prinzips
1946	Annahme der US-Staatsbürgerschaft, Rückkehr an die ETH Zürich
15.12.1958	Gestorben in Zürich, Schweiz

Wolfgang Pauli nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#5 Niels Bohr – Atommodell - Pauli verfeinert Bohrs Elektronenbahnen, indem er den Quantenzahlen hinzufügt
#07 Arnold Sommerfeld – Quantenzahlen - Erweitert Bohrs Modell um Nebenquantenzahl und magnetische Quantenzahl
#13 Louis de Broglie – Materiewellen - Grundlage für die Beschreibung von Elektronen als stehende Wellen in Atomen

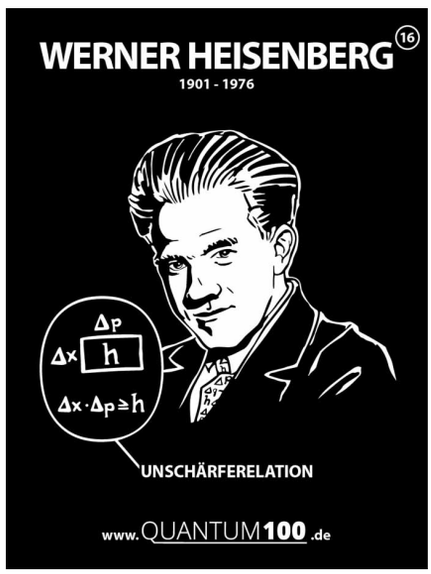
#15 Pauli Prinzip

Wolfgang Pauli, ein österreichischer Physiker, formulierte 1924 das Pauli-Prinzip, auch bekannt als Ausschlussprinzip. Er stellte zunächst empirisch fest, dass in einem Atom keine zwei Elektronen dieselben Quantenzahlen haben können, d.h. sie müssen sich in mindestens einer Quantenzahl unterscheiden. Er schrieb dazu: „Schon in meiner ursprünglichen Arbeit hatte ich den Umstand stark betont, dass es mir unmöglich war, für das Ausschließungsprinzip einen logischen Grund anzugeben oder es aus allgemeineren Annahmen abzuleiten“. Erst später wurde durch das Spin-Statistik Theorem der Zusammenhang erkannt. Das Pauli-Prinzip begründet die Stabilität von Materie und hat etliche Anwendungen, ganz direkt beim Aufbau des Periodensystems, bei dem systematisch Energieniveaus bis zum Valenzelektron „aufgefüllt“ werden, und bei der Festkörperphysik, bei der die Fermi-Energie dem analogen „Füllstand“ der erlaubten Energieniveaus der quasifreien Elektronen im Valenzband entspricht.
Pauli war für seine gnadenlose Kritik bekannt; der Satz „Das ist nicht einmal falsch“, wird mit ihm verbunden. Das passt zu seiner Rolle als scharfer Wächter theoretischer Klarheit.

Paulis Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#36 Wigner: Spin-Statistik-Theorem, #62 Josephson: supraleitender Tunnelkontakt

#16 Werner Heisenberg (1901 - 1976)



05.12.1901	Geboren in Würzburg, Deutschland
1919	Beteiligung als Freiwilliger an der Niederschlagung der Münchner Räterepublik (ohne Kampfhandlungen)
1920 - 1923	Studium der Physik an der Universität München
1923	Promotion bei Arnold Sommerfeld in München über Turbulenzprobleme
1923 - 1924	Assistent von Max Born in Göttingen
1924 - 1925	Habilitation über den Zeeman-Effekt; Einladung durch Niels Bohr; Aufenthalt am Bohr-Institut in Kopenhagen
1925	Formulierung der Matrizenmechanik („Umdeutung“)
1925	Mitautor der „Dreimännerarbeit“ (Born, Heisenberg, Jordan) zur Matrizenmechanik
1927	**Formulierung der Heisenberg’schen Unschärferelation**
1927	Ruf an die Universität Leipzig als ordentlicher Professor für Theoretische Physik
1933	Beteiligung an der Verteidigung wissenschaftlicher Standards gegen „Deutsche Physik“
1937	Diffamierung in der SS-Zeitung „Das Schwarze Korps“und Heirat mit Elisabeth Schumacher; das Paar bekam vier Töchter und drei Söhne
1939	Ablehnung von USA-Angeboten nach Vortragsreise; Rückkehr nach Deutschland
1939 - 1945	Tätigkeit im Uranprojekt (Kernreaktorforschung)
ab 1942	Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik
1945	Verhaftung durch die Alsos-Mission, Internierung in Farm Hall, Großbritannien
1946	Rückkehr nach Deutschland; Wiederaufbau des Max-Planck-Instituts für Physik in Göttingen als Direktor
1957	Unterzeichner der Göttinger Erklärung gegen atomare Bewaffnung der Bundesrepublik
1958 - 1970	Umzug des MPI für Physik nach München; Professur an der Universität München
01.02.1976	Gestorben in München, Deutschland

Werner Heisenberg nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#09 Max Planck – Wirkungsquantum- Die Skala $\hbar$ stammt von Plancks Konstante - bestimmt die Unschärfe
#5 Nils Bohr – Heisenbergs Ziel war es nicht, die Physik zu revolutionieren, sondern lediglich, im Rahmen des Bohr'schen Atommodells nicht nur die Frequenzen, sondern auch die Intensitäten der Spektrallinien theoretisch zu deuten

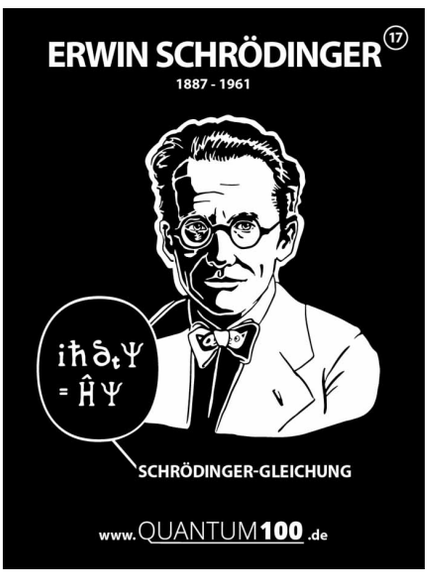
#16 Heisenberg'sche Unschärferelation

Werner Heisenberg zählt zu den wichtigsten Wegbereitern der modernen Quantenphysik. Ausgehend von seiner grundlegenden Arbeit entwickelte er 1925 gemeinsam mit Max Born und Pascual Jordan die Matrizenmechanik und schuf damit die erste mathematisch konsistente Formulierung der Quantenmechanik. Zwei Jahre später formulierte er die nach ihm benannte Unbestimmtheitsrelation. Sie besagt, dass bestimmte Paare physikalischer Größen – insbesondere Ort und Impuls – in einem Quantenzustand grundsätzlich nicht gleichzeitig beliebig genau festgelegt sein können.
Ein kontrovers diskutiertes Kapitel seiner Biografie ist seine Rolle während der Zeit des Nationalsozialismus. Im Zweiten Weltkrieg gehörte Heisenberg zu den führenden Wissenschaftlern des deutschen Uranprojekts, das die Kernspaltung und Möglichkeiten ihrer technischen Nutzung untersuchte. Die Forschungen führten weder zu einem funktionsfähigen Kernreaktor (siehe #28 Fermi) noch zur Entwicklung einer Atombombe (siehe #40 Oppenheimer). Heisenbergs persönliche Haltung zur Entwicklung von Kernwaffen und seine Verantwortung innerhalb des Projekts werden bis heute unterschiedlich beurteilt.

Heisenbergs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#17 Schrödingers Gleichung, #18 Born: Detektionswahrscheinlichkeit, #20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, und vieles mehr

#17 Erwin Schrödinger (1887 - 1961)



12.08.1887	Geboren in Wien, Österreich
1906 - 1910	Studium der Mathematik und Physik an der Universität Wien
1910	Promotion bei Franz Exner über luftelektrische Messungen
1910 - 1920	Assistent am II. Physikalischen Institut in Wien; Forschungen zur Höhenstrahlung, Dielektrizität und Schmelzpunkttheorie
1914	Habilitation in Physik mit Arbeiten zur Kinetik der Dielektrika
1914 - 1918	Kriegsdienst als Artillerieoffizier an der Isonzofront; Tapferkeitsauszeichnung
1918	Veröffentlichungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, die Einsteins Interesse weckten
1920	Berufung an die Universität Jena und Heirat mit Annemarie Bertel; das Paar konnte keiner Kinder bekommen
1920 - 1921	Ruf an verschiedene Hochschulen (Jena, Stuttgart, Breslau)
1921	Berufung zum Ordinarius für Theoretische Physik an die Universität Zürich
1922	Entdeckung einer Eigenschaft der Quantenbahnen, die de Broglies Materiewellen vorwegnimmt
1925 - 1926	**Formulierung und Veröffentlichung der vier Mitteilungen zur Wellenmechanik, inkl. Schrödinger-Gleichung**
1926	Amerikareise zur Verbreitung der Wellenmechanik
1927	Berufung als Nachfolger Max Plancks auf den Berliner Lehrstuhl für Theoretische Physik
1933	Emigration nach Oxford nach der nationalsozialistischen Machtübernahme
1934	Geburt seiner ersten Tochter mit Hilde March; Er lebte fortan mit beiden Frauen zusammen
1935	Veröffentlichung des Gedankenexperiments zu „Schrödingers Katze“ in Oxford
1936	Rückkehr nach Österreich; Professur in Graz
1938	Emigration nach der Annexion Österreichs; kurze Station in Gent, danach Dublin.
1943	Schrödinger hält in Dublin seine Vorlesungsreihe „What Is Life?“, die 1944 in Buchform erscheint. Schrödinger postuliert die Existenz eines „aperiodic crytsals“, was die Entdeckung der DNA durch Watson und Crick mit vorbereitet
1956 - 1958	Rückkehr nach Österreich; Professur an der Universität Wien
04.01.1961	Gestorben in Wien, Österreich

Erwin Schrödinger nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#5 Bohr und #7 Sommerfeld – Atommodelle: Schrödinger deutet die diskreten Energien der Atome analog zu Eigenzuständen einer Schwingung.
#13 Louis de Broglie – Materiewellen: Schrödinger formuliert die Wellengleichung, der die „Materiewellen“ de Broglies genügen.

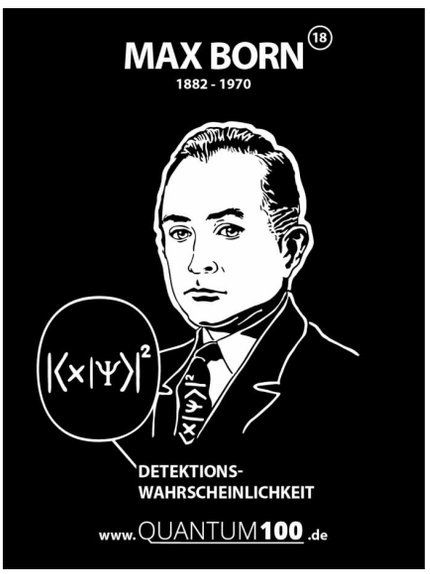
#17 Schrödinger Gleichung

Erwin Schrödinger zählt ebenso wie Werner Heisenberg zu den zentralen Wegbereitern der modernen Quantenphysik. Angeregt durch Louis de Broglies Konzept der Materiewellen entwickelte er 1926 die nach ihm benannte Wellengleichung. Dabei hoffte Schrödinger zunächst, mit der Wellenfunktion eine anschaulichere Alternative zu Heisenbergs abstrakter Matrizenmechanik zu schaffen. Schon kurze Zeit später zeigte sich jedoch, dass beide Formulierungen mathematisch äquivalent sind und denselben quantenmechanischen Formalismus in unterschiedlicher Darstellung wiedergeben. Eine seiner grundlegenden Strukturen ist die Vertauschungsrelation zwischen Ort und Impuls, $(qp - pq = i\hbar)$.
Während sich der mathematische Formalismus der Quantenmechanik außerordentlich erfolgreich bewährt hat, ist die physikalische Bedeutung der Wellenfunktion bis heute Gegenstand unterschiedlicher Interpretationen.
Schrödingers Privatleben ist in den vergangenen Jahren kontrovers diskutiert worden. Neuere Untersuchungen der Tagebücher, Briefe und biographischen Quellen relativieren jedoch die weitreichenden Vorwürfe sexuellen Missbrauchs, die in diesem Zusammenhang erhoben wurden. Die Darstellung Schrödingers als pädophiler oder serieller Missbrauchstäter lässt sich nach gegenwärtigem Kenntnisstand nicht aufrechterhalten. Problematisch bleiben allerdings seine Beziehungen zu wesentlich jüngeren Frauen und das damit verbundene Alters- und Abhängigkeitsgefälle (siehe dazu: Gronau, M., & Gronau, M. (2026) Erwin Schrödinger und die Versuchungen der (Wissenschafts-) Biografik: Vorurteilsgefüge und Mechanismen der Skandalisierung. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, e70017).

Schrödingers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#18 Born: Detektionswahrscheinlichkeit, #20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #48 Goeppert Mayer: Schalenmodell des Atomkerns, #62 Josephson: supraleitender Tunnelkontakt, #96 Haroche: Experimentelle Realisierung von Schrödingers Katze

#18 Max Born (1882 - 1970)



11.12.1882	Geboren in Breslau, Polen
1901	Beginn des Studiums in Breslau (zunächst Jura und Philosophie, dann Mathematik, Physik, Astronomie)
1902 - 1906	Fortsetzung des Studiums in Heidelberg, Zürich und Göttingen
1906	Promotion bei Carl Runge über Stabilität elastischer Linien
1907 - 1909	Mitarbeit bei David Hilbert und Hermann Minkowski; erste Arbeiten zur Relativitätstheorie
1909	Habilitation in Göttingen über starre Körper in der Relativitätstheorie
1913	Heirat mit Hedwig Martha Ehrenberg; das Paar bekam zwei Töchter und einen Sohn
1914	außerordentlicher Professor an der Universität Frankfurt am Main
1915	außerordentlicher Professor in Berlin; Kontakte zu Einstein und Planck
1919	Professur in Frankfurt am Main
1921	Berufung auf den Lehrstuhl für Theoretische Physik in Göttingen; Aufbau eines prominenten Schülerkreises
1925	Mitverfasser der Matrizenmechanik (Born, Heisenberg, Jordan); Grundstein der Quantenmechanik
1926	**Einführung der Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellenfunktion (Born'sche Regel)**
1927	Veröffentlichung zur statistischen Interpretation in den Nachrichten der Göttinger Akademie
1933	Entlassung nach dem „Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums"; Emigration nach Großbritannien
1954	Rückkehr nach Deutschland
1937 - 1953	Tait-Professur für Physik an der University of Edinburgh
1943 - 1949	Veröffentlichung naturphilosophischer Werke (Experiment and Theory in Physics, Natural Philosophy of Cause and Chance)
1954	Nobelpreis für Physik für die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Quantenmechanik, Rückkehr nach Deutschland
1955/1957	Unterzeichnung des Russell-Einstein-Manifests und des Göttinger Manifests gegen atomare Aufrüstung
05.01.1970	Gestorben in Göttingen, Deutschland

Max Born nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie - Materiewellen - Born zeigt: Diese „Wellen“ sind keine physikalischen Felder, sondern Wahrscheinlichkeitsamplituden
#17 Erwin Schördinger - Schrödinger Gleichung - Schrödinger beschreibt, wie sich Ψ entwickelt - Born: Aber was bedeutet Ψ?
Antwort: Detektionswahrscheinlichkeit

#18 Detektionswahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeitsdeutung der Wellenfunktion geht nicht auf Schrödinger selbst, sondern auf Max Born zurück. Born schlug vor, das Betragsquadrat der Wellenfunktion als Wahrscheinlichkeitsdichte zu interpretieren – eine Deutung, der Schrödinger zunächst ablehnend gegenüberstand. Während die statistischen Vorhersagen der Quantenmechanik experimentell außerordentlich gut bestätigt sind, bleibt die Bedeutung des quantenmechanischen Zufalls und die Rolle des Messprozesses bis heute Gegenstand kontroverser Debatten.
Eine bemerkenswerte biografische Randnotiz ist, dass Max Born der Großvater der Sängerin und Schauspielerin Olivia Newton-John war.

Borns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #34 Einstein: EPR-Paradoxon, #66 Bell’sche Ungleichung, #74 Aspect: Nachweis von Quantenverschränkung

#19 Lucy Mensing (1901 - 1995)



11.03.1901	Geburt in Hamburg, Deutschland
1925	Promotion über den Einfluss eklektischer Felder auf die Breite von Spektrallinien
1925 - 1926	Forschung zur Entwicklung Quantenmechanik in Göttingen. **Studium des Rotationsspektrums von zweiatomigen Molekülen mit Matrizenmechanik.** Entdeckung der zulässigen Werte für den quantenmechanischen Bahndrehimpuls.
1926	Veröffentlichung der Ergebnisse zum Bahndrehimpuls in der Zeitschrift für Physik, sowie Veröffentlichung ihrer Arbeit zur Berechnung der elektrischen Polarisierbarkeit von Gasen aus zweiatomigen Molekülen in der Physikalischen Zeitschrift
1926 - 1927	Arbeiten zur Streuung langsamer Elektronen in Atomen in Tübingen
1928	Heirat mit dem Physiker Wilhelm Schütz; das Paar bekam zwei Töchter und zwei Söhne
1930	Veröffentlichung ihres letzten Zeitschriftenaufsatzes über die Verbreiterung von Spektrallinien. Mit der Geburt ihres ersten Sohnes endet ihre wissenschaftliche Karriere
28.04.1995	Gestorben in Meiningen, Deutschland

Lucy Mensing nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Werner Heisenberg – Matrizenmechanik - Mensing war eine von Heisenbergs ersten Studentinnen in Göttingen und übernahm das Operatoren-Konzept direkt in die Molekültheorie.

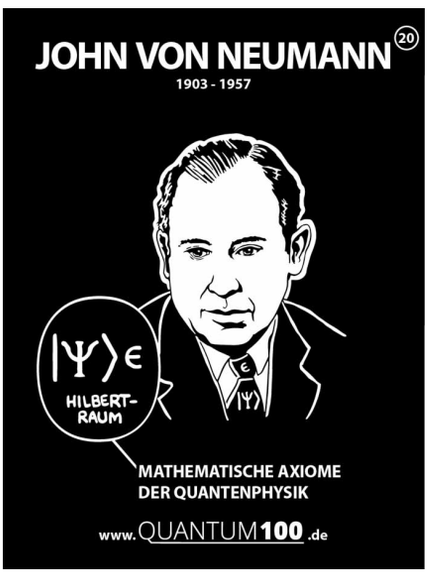
#19 Matrizenmechanik und Molekülphysik

Lucy Mensing gehörte zu den ersten Physikerinnen und Physikern, die die neue Matrizenmechanik auf konkrete spektroskopische Probleme anwendete. Nach ihrer Promotion 1925 in Hamburg ging sie nach Göttingen, wo sie mit Pascual Jordan zusammenarbeitete. Dort untersuchte sie die Rotations- und Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle und zeigte, wie sich deren Energieniveaus und Spektrallinien mit den Methoden der neuen Quantenmechanik berechnen ließen. Besondere Anerkennung fanden ihre sorgfältigen Rechnungen, die nicht nur die Lage, sondern auch die Intensitäten der Spektrallinien erfassten.
In den entscheidenden Jahren 1925 und 1926 arbeitete Mensing unmittelbar an der Entwicklung und Erprobung des neuen Formalismus mit. Nach ihrer Heirat zog sie sich jedoch aus der wissenschaftlichen Forschung zurück. Diese Entscheidung scheint sie bewusst getroffen zu haben; nach der Erinnerung ihrer Tochter empfand sie auch das ausgeprägte Konkurrenzdenken unter ihren männlichen Kollegen als abstoßend. Ihr früher Rückzug verweist daher nicht einfach auf eine verhinderte Karriere, sondern ebenso auf eine Wissenschaftskultur, in der sie ihre weitere Lebensperspektive offenbar nicht sah.

Mensings Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#20 von Neumann: mathematische Axiome der Quantenphysik, #29 Runge: Industriephysikerin, #30 Stücklen: Absorptionsspektren, #31 Sponer; Moleküldissoziation

#20 John von Neumann (1903 - 1957)



28.12.1903	Geboren in Budapest, Österreich-Ungarn
1923 - 1926	Doppelstudium: Industriechemie an der ETH Zürich (Diplom 1926) und Mathematik in Berlin (gleichzeitig Promotion in Budapest 1926)
1925	Dissertation zur Axiomatisierung der Mengenlehre
1927 - 1930	Forschungsaufenthalte und Lehrtätigkeit in Berlin, Hamburg, Göttingen, Deutschland und Princeton, USA
1928	Habilitation an der Universität Berlin und Grundlage der Spieltheorie mit dem Beweis des Minimax-Theorems („Zur Theorie der Gesellschaftsspiele“)
20. 1929	Heirat mit Marietta Kövesi; das Paar bekam eine Tochter und ließ sich 1937 scheiden
1931 - 1932	Beweis zur Ergodentheorie
1932	**Veröffentlichung des Buchs „Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik“; Formulierung der Quantenmechanik in Operatorensprache im Hilbertraum**
1933	Berufung an das Institute for Advanced Study in Princeton
1937	Annahme der US-Staatsbürgerschaft und Veröffentlichung zu ökonomischen Gleichgewichtsmodellen (Fixpunktsätze und Gleichgewichtstheorie)
1938	Heirat mit Klára Dán
1941 - 1945	Mitarbeit in US-Rüstungsprojekten; seit 1943 in Los Alamos im Manhattan-Projekt, Mitglied der „Target Commission“ 1945
1946	Beteiligung an der Entwicklung des ersten elektronischen Rechners (ENIAC); Entwicklung der sog. „Von-Neumann-Architektur“
1955	Mitglied der US-Atomenergiekommission
08.02.1957	Gestorben nach einem qualvollen Krebsleiden, das möglicherweise durch seine Teilnahme an Nukleartests verursacht worden war, in Washington D.C., USA

John von Neumann nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#10 Emmy Noether – Symmetrieprinzipien: Noethers Verbindung von Symmetrien und Erhaltungsgrößen bildet einen konzeptionellen Bezugspunkt; #16 Heisenberg, #17 Schrödinger und #18 Born – Von Neumann vereinte Matrizen- und Wellenmechanik in einem systematischen Hilbertraumformalismus und formulierte die Wahrscheinlichkeitsregeln für allgemeine Messgrößen.

#20 Mathematische Axiome der Quantenphysik

John von Neumann gehörte zu den vielseitigsten Mathematikern des 20. Jahrhunderts. Bereits 1927 veröffentlichte er mehrere grundlegende Arbeiten zur mathematischen Struktur der Quantenmechanik. In seinem 1932 erschienenen Buch *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* führte er diese Ansätze zu einer systematischen Darstellung zusammen. Zustände werden darin als Elemente eines Hilbertraums, beobachtbare Größen als Operatoren und Messergebnisse durch Wahrscheinlichkeiten beschrieben.
Von Neumanns Formalismus brachte zugleich ein Grundproblem der Quantentheorie besonders deutlich zum Vorschein: Während sich ein abgeschlossener Quantenzustand kontinuierlich und deterministisch entwickelt, wird eine Messung als diskontinuierlicher und probabilistischer Übergang beschrieben. Wie diese beiden Arten der Zustandsänderung zusammenhängen, gehört bis heute zu den zentralen Fragen der Interpretation der Quantenmechanik.
Sein Wirken reichte jedoch weit über die Quantenphysik hinaus. Von Neumann leistete grundlegende Beiträge unter anderem zur Funktionalanalysis, Spieltheorie, Computerentwicklung und zur Theorie selbstreproduzierender Automaten. Berühmt waren zudem sein außergewöhnliches Gedächtnis, seine schnelle Auffassungsgabe und seine Vorliebe für elegante Kleidung sowie gesellschaftliche Geselligkeit.
Zu seiner Biographie gehört allerdings auch seine Mitarbeit an militärischen Forschungsprogrammen, insbesondere dem Manhatten-Projekt.

Neumanns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#36 Wigner: Spin-Statistik-Theorem, #45 Schwinger: Quantenelektrodynamik, #49 Tomonaga: Renomierung von QED, #66 Bell'sche Ungleichung

#21 Lester Germer (1896 - 1971)



10.10.1896	Geboren in Chicago, USA
1917	Bachelorabschluss in Elektrotechnik am City College of New York
1917 - 1919	Tätigkeit bei Western Electric, anschließend Wechsel zu Bell Telephone Laboratories
1919	Heirat mit Ruth Woodard; das Paar bekam eine Tochter
1924 - 1927	Zusammenarbeit mit Clinton Davisson bei Bell Labs zur Untersuchung von Elektronenstreuung an Metalloberflächen
1927	**Veröffentlichung des Davisson-Germer-Experiments: Elektronenbeugung an einem Nickelkristall – erster experimenteller Nachweis der Wellennatur von Elektronen**
1928 - 1940	weitere Arbeiten zur Oberflächenphysik und Elektronenspektroskopie bei Bell Labs
1940–1945	Beteiligung an militärtechnischen Forschungsprojekten im Zweiten Weltkrieg (u. a. für die US Navy)
1945 - 1971	Tätigkeit bei Bell Labs bis zur Pensionierung 1961 und darüber hinaus
03.10.1971	Gestorben bei einer Klettertour in Shawangunk Ridge, New York, USA

Lester Germer nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie – Materiewellen - Seine Hypothese $\lambda = h/p$ sagte die Wellenlänge der Elektronen voraus.
#17 Schrödinger – Wellenmechanik - Schrödingers Gleichung lieferte das theoretische Gerüst, in dem Materiewellen mathematisch beschrieben werden.

#21 Nachweis von Materiewellen

Lester Germer, ein amerikanischer Physiker, führte 1927 zusammen mit Clinton Davisson ein bedeutendes Experiment durch, das den Nachweis von Materiewellen erbrachte. Sie beobachteten die Beugung von Elektronen an Kristallen und zeigten damit, dass Elektronen tatsächlich Welleneigenschaften besitzen, wie Louis de Broglie 1924 vorausgesagt hatte. Ohne es zu wissen, standen Davisson und Germer in Konkurrenz zu einem anderen Forscherteam: in Aberdeen arbeiteten Thomson und Reid ebenfalls an einem Experiment zu Elektronenbeugung, deren Ergebnisse nur zwei Monate später (Juni 1927) in Nature veröffentlicht wurde. Durch den Erfolg der Schrödingergleichung von 1926 war für viele Physiker der Nachweis von Materiewellen hochwillkommen und wurde vorbehaltlos akzeptiert.

Germers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#25 Ruska: Pionier des Elektronenmikroskops, #92 Arndt: Interferenz von Makromolekülen

#22 Edith Quimby (1891 - 1982)



10.07.1891	Edith Hinkley wurde geboren in Rockfort, Illinois, USA
1912	Studium mit einem Vollstipendium für das Whitman College Bachelor of Science in Physik und Mathematik
1915	Mit einem Stipendium Master in Physik an der University of California und Heirat mit dem Physiker Shirley Leon Quimby; das Paar bekam zwei Töchter und zwei Söhne
1919	**Assistenzphyikerin im ersten Forschungslabor der USA zur medizinischen Anwendung von Strahlung in New York**
1919 - 1940	**Forschung zur Quantifizierung radiobiologischer Wirkung von Radium und Röntgenstrahlung und Rechen-**
	modelle für Kliniken zur Bestimmung sicherer und wirksamer Strahlenbehandlungsdosen für Patienten
1941	Ernennung zur Assistenzprofessorin am Weill Cornell Medical College
1943	Ernennung zur außerordentlichen Professorin für Radiologie an der Columbia University
1954	Ernennung zur ordentlichen Professorin an der Columbia University
1978	Erst im Alter von 87 Jahren verließ sie die Columbia University
1940 - 1978	Zahlreiche Ehrungen in Form von Ehrendoktorwürden und Medallien
11.10.1982	Gestorben in Manhatten, USA

Edith Quimby nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#26 James Chadwick – Entdeckung des Neutrons - Ermöglichte die Erzeugung neuer Radioisotope in Kernreaktionen, die Quimby später in der Klinik einsetzte.
#37 Otto Hahn und #38 Lise Meitner – Entdeckung der Kernspaltung - Die Kenntnis instabiler Kerne und das Verständnis radioaktiver Zerfallsprozesse waren Grundlage für die Dosimetrie in der Nuklearmedizin.

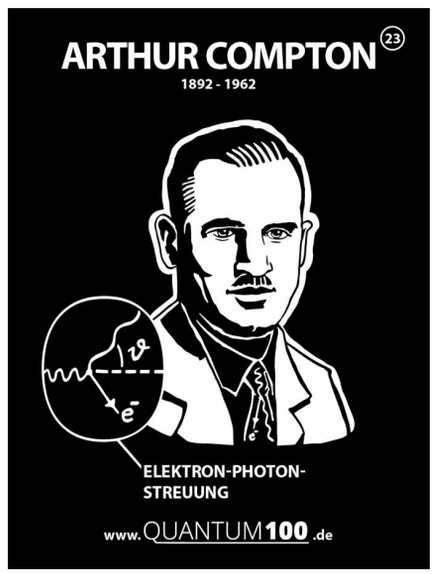
#22 Begründerin der Nuklearmedizin

Edith Quimby, eine amerikanische Physikerin und Medizinerin, war eine Pionierin auf dem Gebiet der Nuklearmedizin. Ab den 1930er Jahren arbeitete sie an der Entwicklung von Radionukliden für medizinische Zwecke und leistete wichtige Beiträge zur Erforschung der Strahlenbiologie. Quimby war eine der ersten Wissenschaftlerinnen, die Anwendung von Radioisotopen in der Diagnose und Behandlung von Krankheiten erforschten. Ihre Arbeit legte den Grundstein für die moderne Nuklearmedizin und trug dazu bei, dass Radioisotope heute in vielen Bereichen der Medizin eingesetzt werden, wie z.B. in der Krebsbehandlung, der Diagnostik und der Therapie von Stoffwechselkrankheiten.

Quimbys Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#50 Cassen: nuklearmedizinische Bildgebung (1951),#71 Lauterbur: Anwendung von MRT in der Medizin, #72 Ter-Pogossian: Positron-Emissions-Tomographie

#23 Arthur Compton (1892 - 1962)



10.09.1892	Geboren in Wooster, Ohio, USA
1909 - 1913	Studium der Physik am College of Wooster, Abschluss als Bachelor of Science
1913 - 1916	Masterstudium an der Princeton University, anschließende Promotion über Röntgenreflexion an Kristallen
1916	Heirat mit Betty Charity McCloskey; das Paar bekam zwei Söhne
1916 - 1917	Lehrtätigkeit an der University of Minnesota; Experimente zur Magnetisierung und Röntgenstrahlung
1919	Forschungsstipendium, Aufenthalt am Cavendish Laboratory (Cambridge, UK) bei Ernest Rutherford
1920	Professur an der Washington University in St. Louis
1922	**Nachweis der wellenlängenabhängigen Streuung von Röntgenstrahlen an Elektronen (Compton-Effekt)**
1923	Berufung an die University of Chicago als Nachfolger von Robert Millikan
1927	Nobelpreises für Physik, gemeinsam mit R. Wilson
1931 - 1934	Organisation eines globalen Messprogramms zu kosmischer Strahlung mit neun Expeditionen
1934 - 1935	Eastman-Gastprofessor in Oxford
1941	Leitung eines Gutachterausschusses zur Umsetzbarkeit der Atombombe
1942 - 1945	Direktor des Metallurgical Laboratory im Manhattan-Projekt; Aufbau des ersten Reaktors mit Enrico Fermi
1945 - 1953	Kanzler der Washington University in St. Louis
1954 - 1961	Distinguished Service Professor für Naturphilosophie
15.03.1962	Gestorben an einer Hirnblutung nach einem Schlaganfall in Berkeley, Kalifornien, USA

Arthur Compton nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Röntgen- und Röntgenspektroskopie - Zugang zu hochenergetischer Strahlung, mit der Compton arbeiten konnte.
#9 Max Planck – Quantisierung des Lichts - Photonen mit Energie $E = h\nu$ waren etabliert.
#34 Albert Einstein – Photoelektrischer Effekt - Photonen als Teilchen mit Impulsvorstellung.

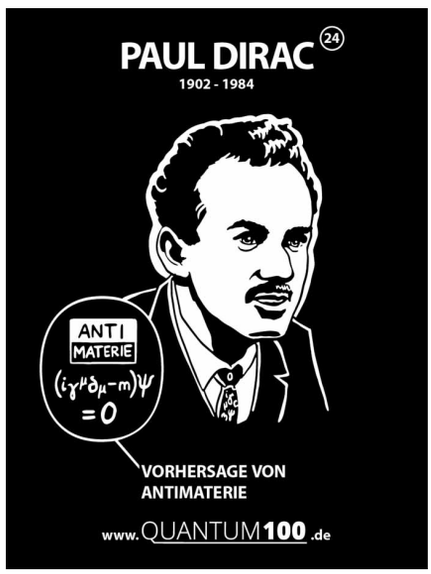
#23 Compton-Streuung

Zu Beginn der 1920er Jahre untersuchte Arthur Compton die Streuung von Röntgenstrahlung an Graphit. Mithilfe eines Bragg-Spektrometers analysierte er das Spektrum der gestreuten Strahlung und stellte fest, dass neben einer unverschobenen Komponente eine zweite Komponente mit vergrößerter Wellenlänge auftrat. Compton deutete diesen Befund als Stoßprozess zwischen einem Lichtquant und einem Elektron, bei dem Energie und Impuls erhalten bleiben.
Für die Entdeckung des nach ihm benannten Effekts erhielt Compton 1927 den Nobelpreis. Bemerkenswert ist, dass sich die offizielle Begründung auf die Entdeckung des Effekts und nicht ausdrücklich auf Comptons Teilchendeutung bezog. Das bis heute verbreitete Bild eines „Billardstoßes“ zwischen Photon und Elektron ist zwar anschaulich und liefert unmittelbar die beobachtete Wellenlängenverschiebung. Die Verschiebungsformel allein stellt jedoch noch keinen eindeutigen Nachweis für die Quantisierung des elektromagnetischen Feldes dar: Sie lässt sich auch in einer semiklassischen Beschreibung herleiten, in der das Elektron quantenmechanisch, die einfallende Strahlung hingegen als klassisches elektromagnetisches Feld behandelt wird.
Die Notwendigkeit einer quantisierten Beschreibung des Strahlungsfeldes zeigt sich deutlicher bei genuin nichtklassischen Eigenschaften des Lichts. Dazu gehören insbesondere die von Philippe Grangier, Gérard Roger und Alain Aspect 1986 beobachteten Antikorrelationen an einem Strahlteiler. Sie zeigen, dass ein entsprechend präpariertes Lichtquant nicht wie eine klassische Welle auf beide Ausgänge verteilt und dort zugleich nachgewiesen werden kann. Solche Experimente liefern daher einen wesentlich unmittelbareren Beleg für den nichtklassischen, unteilbaren Charakter einzelner Lichtquanten als die Compton-Verschiebung für sich genommen.

Comptons Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#24 Dirac: Vorhersage der Antimaterie, #44 Feynmans Diagramme, #45 Schwinger: Quantenelektrodynamik #49 Tomonaga: Renomierung von QED

#24 Paul Dirac (1902 - 1984)



08.08.1902	Geboren in Bristol, England
1918 - 1921	Studium der Elektrotechnik an der University of Bristol mit Abschluss als Elektrotechnik-Ingenieur
1921 - 1923	Mathematikstudium an der University of Bristol, Abschluss in Mathematik
1923	Beginn der Forschung in Cambridge (St John's College), zunächst zur Relativitätstheorie, dann zur Quantenstatistik bei Ralph Fowler
1925	erste bedeutende Veröffentlichung: unabhängige Ableitung der Quantenmechanik aus Heisenbergs Theorie; sein Bruder Réginald Dirac begeht Suizid
1926	Entwicklung der 'q-Zahl-Rechnung' und algebraische Formulierung der Quantenmechanik und Veröffentlichung der Fermi-Dirac-Statistik
1927	Veröffentlichung der Theorie der Emission und Absorption von Strahlung (Grundlage der Quantenelektrodynamik)
1928	**Formulierung der Dirac-Gleichung: relativistische Wellengleichung für das Elektron mit Spin; Vorhersage negativer Energiezustände**
1930	Veröffentlichung des Lehrbuchs „The Principles of Quantum Mechanics"
1931	Interpretation negativer Energiezustände als Existenz eines Antielektrons (Positron)
1932	Ernennung zum Lucasian Professor of Mathematics an der University of Cambridge
1933	Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit Schrödinger) für Beiträge zur Quantentheorie
1937	Heirat mit Margit Wigner, Schwester von Eugene Wigner; sie brachte eine Tochter und einen Sohn mit in die Ehe; das Paar bekam noch zwei weitere Töchter
ab 1948	Ablehnung der Renormierungsmethoden in der QED und Entwicklung alternativer Theorien
1969	Emeritierung an der University of Cambridge
1971	Forschungsprofessur an der Florida State University in Tallahassee, USA
1984	Sein adoptierter Sohn Gabriel stirbt kurz vor ihm
20.10.1984	Gestorben in Tallahassee, Florida, USA

Paul Dirac nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Heisenberg – Matrizenmechanik - Dirac kannte die Operatorformulierung und kombinierte sie mit Spinoperatoren.
#17 Schrödinger – Wellenmechanik - Schrödingers Gleichung war nicht relativistisch; Dirac suchte eine Erweiterung im Einklang mit Einsteins Relativität.
#18 Max Born – Wahrscheinlichkeitsinterpretation - Die Dirac-Gleichung braucht eine geeignete Wahrscheinlichkeitsdichte, um physikalisch interpretierbar zu sein.
Albert Einstein – Spezielle Relativitätstheorie - Dirac musste sicherstellen, dass seine Gleichung Lorentz-invariant ist.

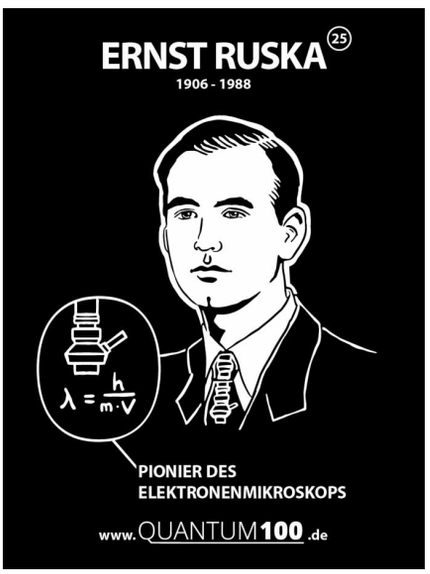
#24 Vorhersage der Antimaterie

Paul Dirac suchte nach einer Verbindung von Quantenmechanik und spezieller Relativitätstheorie. Ausgangspunkt war die relativistische Energie-Impuls-Beziehung $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$. 1928 gelang es ihm, diese Beziehung mithilfe neuartiger Matrizen zu „linearisieren“. Die daraus hervorgegangene Dirac-Gleichung beschreibt - sozusagen als Beifang - den Spin des Elektrons.
Die Gleichung besitzt Lösungen mit positiver und negativer Energie, deren Zeitentwicklung die Form $e^{-iEt/\hbar}$ beziehungsweise $e^{+iEt/\hbar}$ haben. Ihre physikalische Bedeutung war zunächst unklar. 1931 deutete Dirac die negativen Energielösungen als Hinweis auf ein Antielektron; 1932 wurde das Positron von Carl Anderson experimentell nachgewiesen.
In der Stueckelberg-Feynman-Deutung kann ein Positron formal als ein Elektron aufgefasst werden, das sich rückwärts durch die Zeit bewegt. Dies ist jedoch keine wörtliche Beschreibung seiner Bewegung, sondern eine Interpretation der mathematischen Struktur der relativistischen Quantentheorie. Das CPT-Theorem besagt, dass die gemeinsame Anwendung von Ladungskonjugation C, Raumspiegelung P und Zeitumkehr T eine universelle Symmetrie darstellt.
Dirac war für seine außergewöhnliche Wortkargheit bekannt. Seine Kollegen scherzten über eine „Dirac-Einheit“ von einem gesprochenen Wort pro Stunde – passend zu seinem ebenso knappen und eleganten mathematischen Stil.

Diracs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#27 Anderson: Entdeckung des Positrons, #44 Feynmans Diagramme, #45 Schwinger: Quantenelektrodynamik, #49 Tomonaga: Renomierung der QED, #77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen

#25 Ernst Ruska (1906 - 1988)



25.12.1906	Geboren in Heidelberg, Deutschland
1925	Praktikum bei Brown-Boveri in Mannheim, anschließender Beginn des Elektrotechnikstudiums an der TH München
1928	Wechsel an die TH Berlin-Charlottenburg
1929	erste Experimente mit Elektronenlinsen im Labor von Max Knoll
1931	Abschluss des Studiums (Diplomprüfung); Bau des ersten funktionsfähigen Elektronenmikroskops
1932	Veröffentlichung des Aufbaus eines Elektronenmikroskops mit magnetischen Linsen
1933	Bau eines weiterentwickelten Prototyps mit Auflösung oberhalb der Lichtmikroskopiegrenze
1934	Promotion an der TH Berlin-Charlottenburg
1934 - 1936	Entwicklungsingenieur bei der Fernseh-AG in Berlin-Zehlendorf
1937	Gründung einer Forschungsstelle für Elektronenmikroskopie bei Siemens und Heirat mit Irmela Geigis; das Paar bekam eine Tochter und zwei Söhne
1937 - 1945	**Entwicklung und Bau des ersten serienreifen Transmissions-Elektronenmikroskops mit über 30.000-facher Vergrößerung (gemeinsam mit Bodo von Borries); ca. 40 Geräte produziert**
1944	Habilitation an der TH Berlin-Charlottenburg
1944 - 1945	Scheidung seiner ersten Ehe und Heirat mit Eleonora Wolff-Heinz; sie bekamen zwei weitere Söhne
1949 - 1955	Leiter der Abteilung Elektronenmikroskopie am Fritz-Haber-Institut in Berlin-Dahlem
1955 - 1959	Wechsel ans neu eingerichtete Max-Planck-Institut für Elektronenmikroskopie
1959	Professur an der Freien Universität Berlin
1974	Emeritierung
1986	Verleihung des Nobelpreises für Physik „für seine grundlegenden Arbeiten zur Elektronenoptik und für die Konstruktion des ersten Elektronenmikroskops“
27.05.1988	Gestorben in West-Berlin, Bundesrepublik Deutschland

Ernst Ruska nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#01 Wilhelm Hittorf – Kathodenstrahlen - Zeigte, dass Elektronen sich als Strahl fokussieren lassen.
#13 Louis de Broglie – Materiewellen - Legte mathematisch die kurze Wellenlänge der Elektronen fest $\lambda = h/p$, ohne die hohe Auflösung nicht denkbar wäre.
#21 Germer und Davisson – Elektronenbeugung - Bestätigte die Welleneigenschaften experimentell und motivierte das Design von Elektronenoptiken.
Elektromagnetische Linsentechnik - Ruska adaptierte und perfektionierte elektromagnetische Spulen als „Linsen“ für Elektronen.

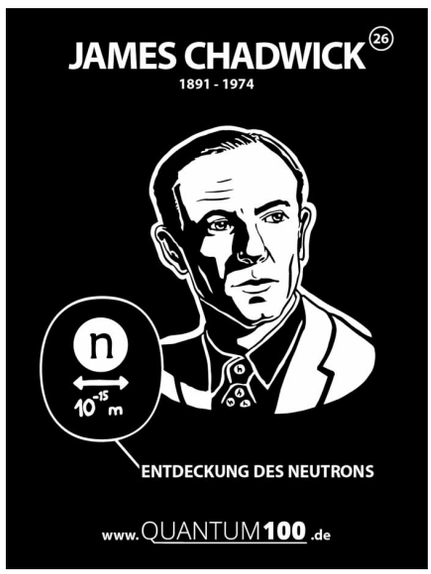
#25 Pionier des Elektronenmikroskops

Ruska begann seine Arbeit an Elektronenmikroskopen Ende der 1920er Jahre, motiviert durch die Einschränkungen der Lichtmikroskopie, die durch die Wellenlänge des Lichts begrenzt ist. Nach de Brogli haben auch Elektronen eine Wellenlänge, die aber viel kleiner sein kann als die von sichtbarem Licht, was zu einer viel höheren Auflösung führen sollte. Nach jahrelanger Forschung und Entwicklung gelang es Ruska 1933, ein funktionstüchtiges Elektronenmikroskop zu bauen.
Das Elektronenmikroskop verwendet einen Strahl von Elektronen statt Licht, um Objekte zu beleuchten und zu vergrößern. Durch magnetische oder elektrostatische Linsen können die Elektronen gebündelt und auf eine Oberfläche gerichtet werden, wodurch hochauflösende Bilder von sehr kleinen Strukturen erstellt werden können. Diese Technologie hat die Forschung in vielen Bereichen wie Biologie, Materialwissenschaft und Nanotechnologie revolutioniert, indem sie es Wissenschaftlern ermöglicht, Strukturen zu untersuchen, die mit herkömmlichen Mikroskopen nicht sichtbar sind.
Für seine Pionierarbeit auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie erhielt Ernst Ruska 1986 den Nobelpreis für Physik.

Ruskas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#42 Bardeen: Erfindung des Transistors, #95 Novoselov: Entdeckung von Graphen

#26 James Chadwick (1891 - 1974)



20.10.1891	Geboren in Bollington bei Macclesfield, England
1908	Beginn des Studiums der Physik an der University of Manchester
1911	Abschluss mit First Class Honours; erste Veröffentlichung mit Ernest Rutherford
1912	Erlangung des Grades Master of Science, erste direkte Messungen zur Absorption von Gammastrahlen in Gasen
1913	Studienaufenthalt bei Hans Geiger in Berlin; Entdeckung des kontinuierlichen Beta-Spektrums
1914 - 1918	Internierung als feindlicher Ausländer im Lager Ruhleben bei Berlin; Aufbau eines provisorischen Labors, Fortsetzung einfacher radioaktiver Experimente
1919	Rückkehr nach England; Angebot Rutherfords für eine Stelle in Manchester; Mitarbeit an Streuexperimenten mit Alphateilchen
1920	Wechsel ans Cavendish Laboratory in Cambridge
1921	Promotion in Cambridge
1923	Ernennung zum Assistant Director of Research am Cavendish Laboratory
1925	Heirat mit Aileen Maud Stewart-Brown, Tochter eines Börsenmaklers; das Paar bekam zwei Töchter
1927	Wahl zum Mitglied der Royal Society
1930 - 1931	Untersuchung der Strahlung bei Alphabeschuss von Beryllium
1932	**Entdeckung des Neutrons**
1935	Verleihung des Nobelpreises für Physik für die Entdeckung des Neutrons
1935	Ruf auf den Lehrstuhl für Physik in Liverpool; Aufbau eines Zyklotrons
1940 - 1945	Mitglied im britischen MAUD-Komitee; zentrale Rolle bei der Vorbereitung und Koordination mit dem US-amerikanischen Manhattan-Projekt
1943 - 1945	Wissenschaftlicher Berater der britischen Delegation beim Combined Policy Committee in den USA
1945	Erhebung in den Ritterstand
1946	Rückkehr nach Liverpool; Aufbau eines Synchrozyklotrons für neue Forschung an Mesonen
1970	Aufnahme in den Order of the Companions of Honour
24.07.1974	Gestorben in Cambridge, England

James Chadwick nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#05 Niels Bohr – Bohr'sches Atommodell - Beschrieb den Atomkern als zentrale Masse, ließ aber Neutronen und deren Rolle offen.
#08 Marie Skłodowska-Curie – Radioaktivitätsforschung - Legte Grundlagen zu Zerfallsprozessen, die neutrale Strahlung (später Neutronen) vermuten ließen.
#23 Arthur Compton – Compton-Streuung - Verständnis der Wechselwirkung von Strahlung mit Materie war entscheidend, um die neue Strahlung zu charakterisieren.

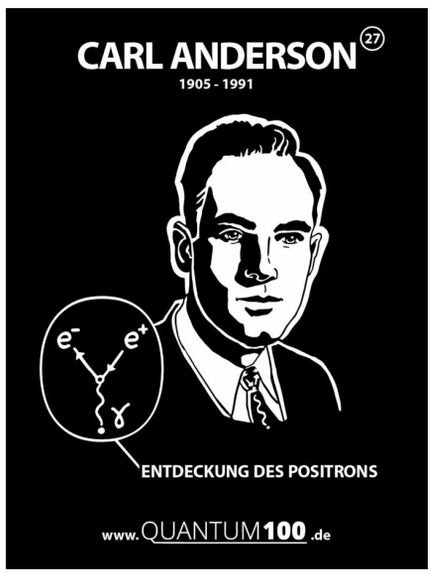
#26 Entdeckung des Neutrons

James Chadwick entdeckte das Neutron im Jahr 1932. In seinen Experimenten beschoss er Beryllium mit Alphateilchen, wobei er eine bislang unbekannte, elektrisch neutrale und sehr durchdringende Strahlung beobachtete. Durch sorgfältige Messungen konnte Chadwick nachweisen, dass es sich bei dieser Strahlung nicht um Gammastrahlen handelte, sondern um ein neues Teilchen mit etwa der Masse eines Protons, jedoch ohne elektrische Ladung – das Neutron. Diese Entdeckung war ein entscheidender Fortschritt für das Verständnis des Atomkerns und legte den Grundstein für die moderne Kernphysik.
Das Periodensystem definiert die Elemente entsprechend der Ladung Z. Die Isotopentafel ist zweidimensional, unterscheidet dabei Z und N, also die Anzahl von Protonen und Neutronen. Verschiedene Isotope desselben Elements (Z = const, N variabel) können stabil oder radioaktiv sein. Ohne Neutronen wäre außer Wasserstoff kein einziges Element stabil. Protonen und Neutronen ziehen sich aufgrund der starken Wechselwirkung an. Die Protonen stoßen sich aufgrund der gleichnamigen Ladung ab. Neutronen sind somit der „Kleber", der die Atomkerne zusammenhält.

Chadwicks Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#33 Yukawa-Potential, #37 Hahn und #38 Meitner: Entdeckung der Kernspaltung

#27 Carl Anderson (1905 - 1991)



03.09.1905	Geboren in New York City, USA
1924	Beginn des Physikstudiums am California Institute of Technology (Caltech)
1927	Bachelorabschluss in Physik
1930	Promotion am Caltech bei Robert A. Millikan zur Verteilung der Elektronenemission in kosmischen Gasen unter Einwirkung von Röntgenstrahlung
1932	**Beobachtung positiver Elektronenspuren in einer Nebelkammer im Magnetfeld (Cloud Chamber); Identifikation eines Teilchens mit der Masse des Elektrons, aber positiver Ladung**
1933	Veröffentlichung der Entdeckung des Positrons in Physical Review
1936	Verleihung des Nobelpreises für Physik für
	die Entdeckung des Positrons und Entdeckung des Myons mit Neddermeyer
1939 - 1976	Professur an California Institute of Technology
1940 - 1945	Forschung am Jet Propulsion Laboratory während des Zweiten Weltkriegs
1946	Heirat mit Lorraine Elvira Bergman; sie brachte einen Sohn mit in die Ehe; das Paar bekam noch einen weiteren Sohn
11.01.1991	Gestorben in San Marino, Kalifornien, USA

Carl Anderson nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Cosmic-Ray-Forschung und Wilson-Kammer-Technik - Millikan und spätere Caltech-Kollegen verfeinerten die Nebelkammer zum Nachweis kosmischer Strahlung.
#23 Arthur Compton – Photon-Elektron-Wechselwirkung - Verständnis von Teilchenimpulsen half bei der Interpretation von Spurkrümmungen in Magnetfeldern.
#24 Paul Dirac – Theoretische Vorhersage von Antimaterie - Diracs relativistische Feldgleichung sagte 1928 die Existenz von Antiteilchen voraus.

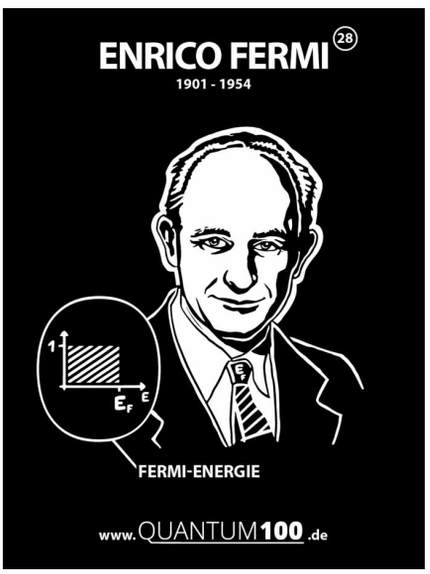
#27 Entdeckung des Positrons

Carl David Anderson, geboren am 3. Februar 1905 in New York City, USA, war ein amerikanischer Physiker, der durch seine bahnbrechende Entdeckung des Positrons, dem Antiteilchen des Elektrons, bekannt wurde. Diese Entdeckung im Jahr 1932 bestätigte die Vorhersagen von Paul Dirac über die Existenz von Antimaterie und markierte einen bedeutenden Meilenstein in der Entwicklung der modernen Physik.
Anderson arbeitete am California Institute of Technology (Caltech), wo er Experimente zur Erforschung der kosmischen Strahlung durchführte. Er verwendete eine Wilson-Kammer, um die Spuren von Teilchen zu beobachten, die durch die Atmosphäre drangen. Im August 1932 beobachtete er eine Spur, die darauf hindeutete, dass ein positives Teilchen mit einer Masse ähnlich der eines Elektrons vorhanden war. Dieses Teilchen, das Anderson zunächst „Positron“ nannte, wies alle Eigenschaften eines Antielektrons auf, wie es von Dirac vorhergesagt worden war.
Die Entdeckung des Positrons war ein Beweis für die Existenz von Antimaterie und bestätigte die Theorien von Paul Dirac. Andersons Entdeckung öffnete neue Türen in der Forschung zur Teilchenphysik und zur Erforschung der fundamentalen Kräfte der Natur. Für seine Entdeckung des Positrons erhielt Carl Anderson 1936 den Nobelpreis für Physik.

Andersons Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Forschung zum Antiproton und Antineutron, #44 Feynmans Diagramme #45 Schwinger: Quantenelektrodynamik, #49 Tomonaga: Renomierung der QED, #66 Bells Ungleichung, #72 Ter-Pogossian: Pionier der Positron-Emissions-Tomographie, #74 Aspect: Experimenteller Nachweis von Quantenverschränkung, #77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen

#28 Enrico Fermi (1901 - 1954)



29.09.1901	Geboren in Rom, Italien
1918	Beginn des Physikstudiums an der Scuola Normale Superiore in Pisa
1922	Promotion in Physik; Dissertation über Röntgenstrahlen
1923 - 1924	Studienaufenthalte in Göttingen (bei Max Born) und in Leiden (bei Paul Ehrenfest)
1925	Anwendung des Pauli-Prinzips auf ein ideales Gas (Entwicklung der Fermi-Statistik)
1926	**Veröffentlichung der quantenstatistischen Beschreibung eines Fermigas, Einführung des Begriffs der Fermi-Energie** und Berufung auf den neu geschaffenen Lehrstuhl für Theoretische Physik in Rom
1928	Heirat mit der Naturwissenschaftsstudentin Laura Capon; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1933	Entwicklung einer effektiven Theorie des Betazerfalls (Vier-Ströme-Theorie, Vorläufertheorie der schwachen Wechselwirkung)
1934	Beginn experimenteller Arbeiten zur Neutronenaktivierung; Entdeckung neuer radioaktiver Isotope und Entdeckung der Bedeutung langsamer Neutronen für Kernreaktionen
1938	Verleihung des Nobelpreises für Physik für seine Arbeiten zur künstlichen Radioaktivität und zu langsamen Neutronen
1938 - 1939	Emigration in die USA (wegen antisemitischer Gesetze in Italien); Professur an der Columbia University
1942	Aufbau des ersten funktionsfähigen Kernreaktors (Chicago Pile-1), kontrollierte Kettenreaktion mit Uran und Graphit
1944 - 1945	Mitarbeit im Manhattan-Projekt in Los Alamos; Entwicklung der Atombombe
1946	Berufung an die University of Chicago; Mitbegründer des Enrico Fermi Institute
1951 - 1953	Beiträge zur Teilchenphysik und kosmischen Strahlung; Theorie der Mesonenproduktion
28.11.1954	Gestorben kurz nach einer Operation an einem Magenkarzinom in Chicago, USA

Enrico Fermi nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#15 Wolfgang Pauli – Pauli-Prinzip - Das Ausschlussprinzip zwingt Elektronen, sukzessive immer höhere Zustände zu besetzen - Definition einer „Obergrenze“ bei T=0.
#24 Paul Dirac – Fermi-Dirac-Statistik - Unabhängig von Fermi entwickelte Dirac kurz danach dieselbe Statistik für Fermionen und begründete formal die Verteilung.

#28 Fermi-Energie

Die Fermi-Energie ist ein Begriff aus der Festkörperphysik und ist eine direkte Folge des Pauli-Prinzips. Sie beschreibt die höchste Energie, die ein Elektron in einem Festkörper bei absoluter Null Temperatur (0 Kelvin) haben kann. Sie markiert die Grenze zwischen besetzten und unbesetzten Energieniveaus.
Um die Bedeutung der Fermi-Energie besser zu verstehen, kann man sie mit dem Konzept des Valenzelektrons vergleichen. Das Valenzelektron ist das äußerste mit einem Elektron besetzte Zustand in einem Atom, und somit für chemischen Bindungen relevant. In einem Festkörper befinden sich die Valenzelektronen in einem gemeinsamen „Elektronenmeer“. Die Fermi-Energie entspricht dann der Energie des höchsten besetzten Zustands im Festkörper, oft auch als „Fermi-Kante“ bezeichnet.
Die Fermi-Energie hat viele Anwendungen, etwa bei der Unterscheidung von Leitern, Halbleitern und Isolatoren. Nur wenn nahe der Fermi-Energie „freie“ Zustände existieren, können Elektronen nahe der Fermi-Energie für den Ladungstransport beitragen.
Fermi hat eine Vielzahl von bedeutenden Beiträgen zur Physik geleistet, von der Festkörperphysik über Teilchenphysik zur Kernphysik. Fermi verband dabei Theorie und Experiment in seltener Weise. Die berühmten „Fermi-Probleme“ zeigen seine Kunst, Größenordnungen rasch abzuschätzen.

Fermis Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#42 Bardeen: Erfindung des Transistors, #40 Oppenheimer: Fermi-Druck im Neutronenstern, #80 Bednorz: Entdeckung von Hochtemperatursupraleitern, sowie: Kernreaktoren

#29 Iris Runge (1888 - 1966)



01.06.1888	Geboren in Hannover, Deutschland
1907	Abitur als Externe in Lüneburg am Johanneum. Im Anschluss belegte sie Kurse in Physik, Mathematik und Erdkunde an der Universität Göttingen
1912	Lehramts-Staatsexamen
1912 - 1918	Kriegsvertretung in Göttingen, Bremen und im Landerziehungsheim Hassbinde
1918 - 1920	Kurse in Chemie an der Universität Göttingen mit der abschließenden Ergänzungsprüfung für Lehramt in Chemie
1923 - 1945	**Physikerin im Versuchslaboratorium der OSRAM GmbH (ab 1939 Telefunken) in Berlin**
1926	Veröffentlichung ihrer Forschungsergebnisse zu den Grundlagen des Farbensehens in der „Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft“
1946	Assistentin am Institut für theoretische Physik an der Humboldt-Universität Berlin
1947	Habitation (aufgrund ihrer Veröffentlichungen „Über das Rauschen von Elektronenröhren“ ohne Habitationsschrift)
1949	Ernennung zur Dozentin
1950	**Professur mit Lehrauftrag für theoretische Physik an der Humboldt-Universität.**
1952	Emeritierung
27.01.1966	Gestorben in Ulm, Deutschland

Iris Runge nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#28 Enrico Fermi – Fermi-Energie / Statistik - Grundlage zur Berechnung von Ladungsträgerverteilungen in Halbleitern.
#30 Hildegard Stücklen – Absorptionsspektren - Verwandte Forschung an der optischen Materialcharakterisierung.

#29 Industriephysikerin und Professorin

Iris Runge, geboren am 1. Juni 1888 in Hamburg, Deutschland, war eine deutsche Physikerin und Ingenieurin, die als eine der ersten Frauen in Deutschland eine Karriere in der Physik und Ingenieurwissenschaften machte. Sie ist die Tochter des Mathematikers Carl Runge. Max Laue hielt um ihre Hand an, erhielt aber eine Absage. Sie war nie verheiratet.
Sie arbeitete unter anderem bei Osram. Dort befasste sie sich entsprechend den Produkten der Firma (Glühlampen, Rundfunkröhren) unter anderem mit Wärmeleitungsproblemen, Elektronenemission in Röhren und Statistik für Qualitätskontrolle in der Massenproduktion, worüber sie auch ein damaliges Standard-Lehrbuch mit verfasste.
1947 habilitierte sie sich an der Humboldt-Universität Berlin (Antrittsvorlesung: Über das Rauschen von Elektronenröhren), wobei ihr die Habilitationsthese aufgrund ihrer veröffentlichten Arbeiten erlassen wurde. Sie wurde eine von drei nur Professorinnen an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität.

Runges Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Halbleiterphysik, Industriephysik und angewandte Quantenmodelle, Spektroskopie

#30 Hildegard Stücklen (1891 - 1963)

03.05.1891	Geboren in Berlin, Deutschland
1919	Promotion „Zur Frage nach der scheinbaren Gestalt des Himmelsgewölbes“ in Göttingen
1925	Veröffentlichung des Artikels **„Das Linien- und Bandenabsorptionsspektrum des Kupfers und seine Feinstrukturlinien“**
1931	Hildegard Stücklen habilitieret an der Universität Zürich und wird Privatdozentin
1934	Assistentin am Frauen-College in South Hadley, Massachusetts. migration in die USA und Assistentin am Frauen-College in South Hadley, Massachusetts
1956	Ruhestand
1956 - 1960	Vorsitz der Physikfakultät des Wilson-College
16.12.1963	Hildegard Stücklen stirbt in Göttingen, Deutschland



Hildegard Stücklen nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#29 Iris Runge – Spektralanalyse in der Industrie - Beide forschten an der Schnittstelle von Quantenphysik und angewandter Messtechnik.
#31 Herta Sponer – Molekülspektren und Dissoziation - Eng verwandt: Sponer untersuchte ebenfalls elektronische Übergänge in Molekülen.

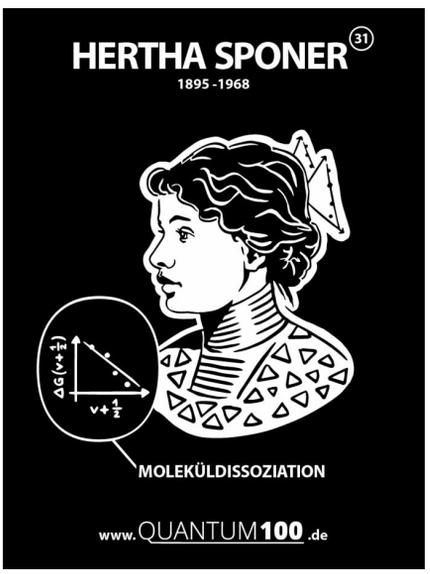
#30 Absporptionsspektren

Hildegard Stücklen war eine deutsche Physikerin, die sich durch ihre Arbeit auf dem Gebiet der Spektroskopie und insbesondere der Absorptionsspektren einen Namen gemacht hat. Ihre Forschungen haben wesentlich zum Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Molekülen und Oberflächen beigetragen.
Sie promovierte 1919 bei Robert Pohl in Göttingen und wandte sich erst später, zu ihrer Habilitation 1931 in Zürich, spektroskopischen Methode zu. Ähnlich wie Herta Sponer erhielt sie erst in den USA eine Professur. Als eine der wenigen Frauen in einer von Männern dominierten Wissenschaftswelt hat sie auch als Vorbild für kommende Generationen von Wissenschaftlerinnen gewirkt.

Stücklens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#98 L'Huillier: Attosekunden-Laserpulse, Spektroskopie und Materialanalyse

#31 Hertha Sponer (1895 - 1968)



01.09.1895	Geboren in Neisse, Schlesien, heute Polen
1913	Abschluss der Ausbildung als Erzieherin und Volksschullehrerin in Hannover und Heidelberg
1917	Abitur als Externe an einem Realgymnasium für Jungen in Bresslau
1917 - 1920	Studium der Physik, erst in Tübingen bei Paschen, ab 1919 in Göttingen
1920	**Dissertation „Über ultrarote Absorption zweiatomiger Gase“ bei Peter Debye**
1920 - 1921	Mitarbeiterin von Fritz Haber am Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie in Berlin
1921	Sie ging mit Franck nach Göttingen zurück, wo sie ihre Untersuchungen zum Elektronenstoß fortsetzte
1925	Habilitation mit der Schrift „Anregungspotentiale der Bandenspektren des Stickstoffs“ durchgesetzt gegen den Widerstand der Fakultät von James Franck und damit erhalt der Venia legendi
1925 - 1932	Privatdozentin an der Universität Göttingen
1925 - 1926	Einjähriger Forschungsaufenthalt in Berkeley, Kalifornien mithilfe eines Rockefeller-Stipendiums
1932 - 1934	Außerordentliche Professur
1934	Nachdem James Fanck und andere jüdische Mitarbeiter Göttingen 1933 verlassen mussten, löst sich ihre Forschungsgruppe fast völlig auf. Außerdem entzog ihr der Institutsleiter Pohl die Stelle als Oberassistenten, da er weibliche Dozentinnen prinzipiell ablehnte. Hertha Sponer verließ Deutschland.
1934 - 1936	Professur am Institut für Physik in Oslo, Norwegen
1936 - 1965	Ordentliche Professorin an der Duke University, Durham, North California
1946	Heirat mit ihrem früheren Mentor und Freund James Franck, nachdem seine Frau verstorben war. Franck war zu der Zeit Professor in Chicago. Die beiden lebten nie zusammen in einem Haus
1966	Hertha Sponer erkrank an Alzheimer und kehrt nach Deutschland zurück
17.02.1968	Gestorben in Ilten bei Hannover, Deutschland

Hertha Sponer nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#30 Stücklen – Absorptionsspektren - Ähnliche Techniken, jedoch ging Sponer in Richtung Zerfallsprozesse.

#31 Moleküldissoziation

Herta Sponer gehört zu der frühen Generation von Frauen, die in der von Männern dominierten Welt der Wissenschaft auf einige Widerstände gestoßen ist. Sie promovierte 1920 bei Peter Debye „Über ultrarote Absorption zweiatomiger Gase“ zunächst in Tübingen, dann nach dem Ruf von Debye in Göttingen. Diese Arbeit gehört zu den ersten, in denen die Rotationsspektren von Molekülen quantentheoretisch behandelt wurden. Allerdings wurde Frauen erst im Jahr 1920 das Recht zur Habilitation zugesprochen, was nicht immer auf Unterstützung gestoßen ist. Sie arbeitete zunächst in Göttingen als Assistentin von Franck. Bis 1932 war Sponer Privatdozentin und danach bis 1934 außerordentliche Professorin in Göttingen. In dieser Zeit entwickelte sie sich zu einer führenden Expertin bei der Anwendung von Quantenphysik auf Chemie, mit über 30 Veröffentlichungen sowie als Autorin des Lehrbuchs „Molekülspektren und ihre Anwendungen auf Chemische Probleme“ (1935). In 1936 erhielt sie als erste Frau eine Ruf auf eine Professur in Duke (USA), wo sie bis 1965 lehrte und arbeitete. Es war nicht Oppenheimer, der alleine Quantenphysik in die USA brachte - zu den berühmteren Schülern von Sponer gehört etwa Edward Condon, der in Berkeley Vorlesungen von Sponer hörte, bevor er das Frank-Condon-Prinzip formulierte. Die Beiträge von Herta Sponer in über 80 Veröffentlichungen sowie in der Lehre von Quantenphysik sollten nicht in Vergessenheit geraten.

Sponers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Molekülspektren, Dissotiation, Quantenchemie und Photochemie, Laserspektroskopie Atmosphärenforschung

#32 Hedwig Kohn (1887 - 1964)



05.04.1887	Geboren in Breslau, Polen
1906 - 1913	Studium als Gasthörerin an der Universität Breslau
1913	Promotion „Über das Wesen der Emission der in Flammen leuchtenden Metalldämpfe“
1914	Assistentin am Physikalischen Institut der Universität Breslau, mit umfangreichen Aufgaben, da viele männliche Kollegen zur Armee einberufen wurden. Ihre Beiträge zur Neuauflage des Müller-Pouillet-Lehrbuch wurden nachträglich als Habilitation anerkannt
1930	Habilitation und Forschung zu **Umkehrmessungen an Spektrallinien**
22.07.1933	Entzug der Lehrerlaubnis durch die Nazis aufgrund ihrer jüdischen Herkunft
1933	Emigration in die Schweiz und Arbeit am Lichtklimatischen Observatorium in Arosa und als Industrieberaterin
1938	Lehraufträge am Women’s College der Universität of North California, am Sweetbriar College in Virginia und am Wellesley College in Massachusetts ermöglichten ihr die Einreise in die USA
1945	Assistenzprofessorin am Wellesley College
1948	Ordentliche Professorin am Wellesley College
1952	Hedwig Kohn geht in Rente
1952 - 1964	Herta Sponer ermöglicht ihr die Mitarbeit an Forschungsprojekten und Lehre an der Duke University in Durham, North California
26.11.1964	Gestorben in Durham, North California, USA.

Hedwig Kohn nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#02 Otto Lummer – Schwarzkörperstrahlung - Umkehrmessung basiert auf Vergleich mit einem idealen Schwarzkörper.
#05 Niels Bohr – Beschreibung der Übergänge, die zu Emission und Absorption führen.

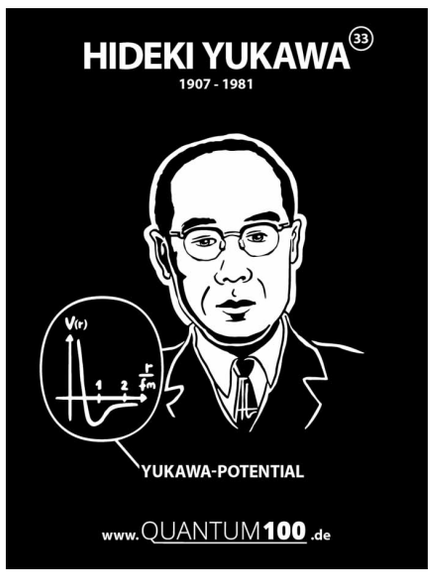
#32 Umkehrmessung an Spektrallinien

Hedwig Kohn, geboren am 5. April 1887 in Breslau, Deutschland, war eine deutsche Physikerin, die sich durch ihre Arbeit auf dem Gebiet der Spektroskopie einen Namen gemacht hat. Ihre Forschungen haben wesentlich zum Verständnis der Spektrallinien und deren Analyse beigetragen. Kohn entwickelte die Methode der Umkehrmessung an Spektrallinien, die es ermöglicht, die Intensitäten von Spektrallinien zu messen und daraus Informationen über die Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften von Atomen und Molekülen zu gewinnen.
Sie war neben Lise Meitner und Herta Sponer eine von drei Frauen, die vor dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland eine Habilitation in Physik erreichten. Alle drei haben Deutschland in der NS-Zeit verlassen, Lise Meitner und Hedwig Kohn flohen wegen ihrer jüdischen Herkunft. 1933 wurden alle jüdischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität entlassen; Hedwig Kohn verlor auch ihre Lehrerlaubnis. Sie emigrierte zunächst in die Schweiz, ab 1938 erhielt sie Lehraufträge an mehreren US-Colleges, was die Einreise in die USA ermöglichte. 1952 wechselte sie an die Duke University, wo auch Herta Sponer tätig war.

Kohns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Umkehrmessung, quantitative Spektroskopie, Temperaturdiagnostik in Gasen und Plasmen, Einfluss auf Plasmaforschung, Astrophysik und Lasertechnik

#33 Hideki Yukawa (1907 - 1981)



23.01.1907	Geboren in Azabu, Tokio, Japan als Hideki Ogawa
1926	Beginn des Physikstudiums an der Universität Kyoto
1929	Abschluss des Studiums; Assistent an der Universität Osaka
1932	Heirat mit Sumi Yukawa; Namensänderung - nach japanischem Brauch wurde er von der Familie seiner Frau adoptiert, die keinen männlichen Erben hatte
1933	Beginn der Tätigkeit als Dozent an der Osaka Imperial University
1934–1935	Theoretische Entwicklung einer Potentialform zur Beschreibung der Kernkraft
1935	**Einführung des Yukawa-Potentials und Vorhersage eines massiven Austauschteilchens der Kernkraft (Meson)**
1938	Promotion an der Osaka Imperial University
1940	Ernennung zum Professor an der Kyoto Imperial University
1947	experimentelle Entdeckung des Myons (zunächst mit Yukawas Meson verwechselt)
1949	Verleihung des Nobelpreises für Physik. „für die theoretische Vorhersage der Existenz von Mesonen“. Vor ihm hatte noch nie ein Japaner den Nobelpreis erhalten
1953	Gründungsdirektor des Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto
955	Mitbegründer des „Committee of Seven for World Peace“, das sich gegen Atomwaffen und für die friedliche Lösung internationaler Konflikte einsetzt.
1955 - 1970	Leitung des YITP; Förderung internationaler Theorieforschung
08.09.1981	Gestorben in Kyoto, Japan

Hideki Yukawa nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 de Broglie – Materiewellen - Diente als Grundidee für die Wellennatur auch der Mesonen.
#16 Heisenberg – Quantenmechanik und Isospin-Idee - Heisenberg entwickelte erste Konzepte für Wechselwirkungen im Kern.
#23 Compton – Teilchen-Wellen-Dualismus von Photonen - Yukawa dachte analog: Auch für die Kernkraft könnte es einen Vermittler geben.
#26 Chadwick – Neutron - Nach der Entdeckung des Neutrons wurde klar: Es muss eine starke Kraft zwischen Neutronen und Protonen geben.

#33 Yukawa-Potential

Hideki Yukawa schlug 1935 ein neues massives Austauschteilchen vor, um die kurze Reichweite der Kernkraft zwischen Protonen und Neutronen zu erklären. Dieses Teilchen wurde später mit dem 1947 entdeckten Pion identifiziert. In natürlichen Einheiten ($\hbar = c = 1$) ergibt sich das Yukawa-Potential $V(r) = -Ae^{-m_\pi r}/r$. Anders als das Coulomb-Potential nimmt es exponentiell ab. Seine Reichweite beträgt ungefähr $R \simeq \frac{\hbar}{m_\pi c}$. Mit $\hbar c \simeq 197{,}3\,\text{MeV fm}$ und $m_\pi c^2 \simeq 135\text{–}140\,\text{MeV}$ erhält man $R_\pi \simeq 1{,}4\text{–}1{,}5\,\text{fm}$. Yoichiro Nambu (#60) schlug 1957 ein schweres neutrales Vektormeson vor, das später mit dem 1961 nachgewiesenen ω-Meson identifiziert wurde. In einem vereinfachten Modell erzeugt sein Austausch bei noch kleineren Abständen einen repulsiven Beitrag:

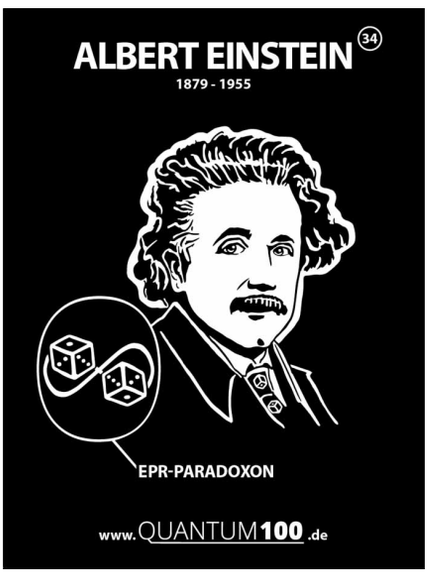
$$V(r) \simeq -A\,\frac{e^{-m_\pi r}}{r} + B\,\frac{e^{-m_\omega r}}{r}, \qquad A, B > 0.$$

Da $m_\omega > m_\pi$ gilt, ist der repulsive ω-Beitrag kurzreichweitiger (etwa ein Sechstel der Reichweite des Pionenbeitrags) als die durch Pionenaustausch beschriebene Anziehung. Dieses Potential ist allerdings nur ein vereinfachtes Modell der Kernkraft. Im heutigen Verständnis ist sie eine residuale Wirkung der durch Gluonen vermittelten starken Wechselwirkung zwischen Quarks. Für seine Vorhersage der Mesonen erhielt Yukawa 1949 als erster Japaner überhaupt den Nobelpreis für Physik.

Yukawas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#43 Powell: Entdeckung der Pi-Mesonen, #46 Blau: Spallation kosmischeer Strahlung, sowie: Theorie der starken Kernkraft (QCD)

#34 Albert Einstein (1879 - 1955)



14.03.1879	Geboren in Ulm, Deutschland
1895 - 1896	Abbruch des Luitpold-Gymnasiums in München; Besuch der Kantonsschule Aarau (Schweiz)
1896	Aufnahme des Studiums an der ETH Zürich (mathematisch-physikalisches Fachlehrerstudium)
1900	Diplomabschluss als Fachlehrer in Mathematik und Physik
1902	Anstellung am Schweizer Patentamt in Bern als technischer Experte
1903	Heirat mit der Mathematikerin und Physikerin Mileva Marič ; das Paar bekam eine Tochter und zwei Söhne; die Ehe wurde 1919 geschieden
1905	Veröffentlichung von vier bahnbrechenden Arbeiten in den Annalen der Physik (u.a. Spezielle Relativitätstheorie, Lichtquantenhypothese, Masse-Energie-Äquivalenz, Brownsche Bewegung)
1909 - 1913	Professuren in Zürich, Prag und an der ETH Zürich
1914	Berufung an die Preußische Akademie der Wissenschaften in Berlin
1915	Vollendung der Allgemeinen Relativitätstheorie
1919	Bestätigung der Lichtablenkung durch Gravitation(Expedition von Arthur Eddington und Frank Dyson während Sonnenfinsternis) und Heirat mit seiner Cousine Elsa Löwenthal; sie organisierte seinen Alltag und ertrug seine zahlreichen außerehelichen Affären bis zu ihrem Tod Dezember 1936
1922	Verleihung des Nobelpreises für Physik für Deutung des photoelektrischen Effekts
1933	Emigration in die USA infolge der NS-Machtergreifung; Berufung ans Institute for Advanced Study in Princeton
1935	**Veröffentlichung des EPR-Paradoxons mit Boris Podolsky und Nathan Rosen**
1939	Brief an Präsident Roosevelt zur Warnung vor deutscher Atombombenforschung. Zuvor hatten die Eugene Wigner und Leo Szilard ihn dazu animiert
1945 - 1950	Verstärktes Engagement gegen Atomwaffen und Krieg; Eintreten für Abrüstung und Wissenschaftsethik
1947	Bezeichnet quantenmechanische Fernwirkung in einem Brief an Max Born als „spukhafte Fernwirkung“
18.04.1955	Gestorben in Princeton, USA

Albert Einstein nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Heisenberg – Unschärferelation - EPR griff genau diese Grundannahme der Quantenmechanik an. #17 Schrödinger – Schrödinger analysierte den EPR-Zustand und prägte den Begriff der „Verschränkung“. #18 Born – Wahrscheinlichkeitsinterpretation - Einstein mochte die Wahrscheinlichkeitsdeutung nicht: „Gott würfelt nicht.“ #20 von Neumann – Mathematische Axiome - EPR stellte die Vollständigkeit dieser Axiome infrage.

#34 EPR-Paradoxon

Albert Einstein zählt zu den bedeutendsten Physikern des 20. Jahrhunderts. Von seinen zahlreichen Beiträgen zur Quantentheorie soll hier nur eine späte Arbeit zur Deutungsdebatte genauer betrachtet werden. Der 1926 in einem Brief an Max Born geäußerte Satz „Eine innere Stimme sagt mir, dass das noch nicht der wahre Jakob ist“ bringt seine Vorbehalte gegenüber der damals entstehenden Deutung der Quantenmechanik treffend zum Ausdruck.
1935 veröffentlichten Albert Einstein, Boris Podolsky und Nathan Rosen den Aufsatz „Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?“, der (nach den Anfangsbuchstaben der Autoren) als EPR-Arbeit bekannt wurde. Im Zentrum steht die Frage, ob die Quantenmechanik eine vollständige Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit liefert. Dabei treffen zwei grundlegende Vorstellungen aufeinander: Observablen sollen unabhängig von ihrer Beobachtung bestimmte Werte besitzen, und Vorgänge an einem Ort sollen entfernte Systeme nicht unmittelbar beeinflussen. Die Quantenphysik behauptet jedoch, dass so eine vollständige Beschreibung grundsätzlich nicht möglich ist, da ein Quantenzustand immer nur in Bezug zu einer zu wählenden Messbasis ausgewertet werden kann, und dass in komplementären Messbasen (z.B. Ort und Impuls) nicht simultan beliebig genau gemessen werden kann.
Das EPR-Argument behauptet nicht, Relativitätstheorie und Quantenmechanik seien grundsätzlich unvereinbar. Es macht vielmehr eine Spannung zwischen der quantenmechanischen Beschreibung und bestimmten klassischen Vorstellungen von Realität und Lokalität sichtbar.

Einsteins Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Entstehung des Begriffs „Verschränkung“, #66 Bell’sche Ungleichung, #74 Aspect: Nachweis von Quantenverschränkung, Grundlage moderner Quanteninformation

#35 Grete Hermann (1901 - 1984)



02.03.1901	Clara Margarete Hermann wurde in Bremen geboren, Deutschland
1920	Abitur am Neuen Gymnasium (heute Oberschule am Barkhof) an dem Mädchen nur in Ausnahmefällen zugelassen wurden
1921 - 1925	Studium der Mathematik, Physik und Philosophie in Göttingen und Freiburg im Breisgau.
1925	Dissertation über „Die Frage der endlich vielen Schritte in der Theorie der Polynomideale“ bei Emmy Noether. Außerdem legte sie die Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen ab
1925 - 1927	Privatassistentin des Göttinger Philosophen Leonard Nelson bis zu dessen Tod
1929 - 1931	Mitarbeit im von Nelson gegründeten Landerziehungsheim Walkemühle bei Melsungen
1934	Korrespondenz mit bedeutenden Physikern (Heisenberg, Bohr, Weizsäcker und weitere); Emigration nach Dänemark
1935	**Veröffentlichung ihrer Arbeit „Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik“**
1937	Übersiedlung nach England.
01.02.1938	Scheinehe mit Edward Henry, um die britische Staatsbürgerschaft zu erwerben; die Ehe wurde nach dem Krieg einvernehmlich geschieden
1946	Rückkehr nach Deutschland
1947 - 1950	Leitung der Pädagogischen Hochschule (PH) Bremen
1950 - 1966	Stellvertretende Leiterin und Professorin für Philosophie und Physik; die PH wurde 1973 in die Universität Bremen integriert
02.03.1984	Gestorben in Bremen, Deutschland

Grete Hermann nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Werner Heisenberg – Unschärferelation - Sie untersuchte, in welchem Maße die Unschärfe prinzipiell ist oder nur aus der Messtheorie folgt.
#17 Erwin Schrödinger – Wellenmechanik - Schrödingers Bild vom quantenmechanischen Zustand als Welle kritisierte sie hinsichtlich dessen philosophischer Aussagekraft.
#18 Max Born – Wahrscheinlichkeitsdeutung: Hermann fragte nach der ontologischen Bedeutung der Wahrscheinlichkeit und forderte eine tiefere Analyse ihres Sinns in der QM.

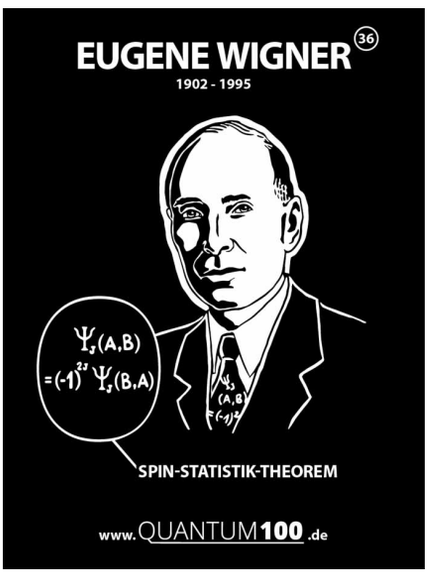
#35 Naturphilosophische Grundlage der QM

Grete Hermann war eine ungewöhnlich vielseitige Wissenschaftlerin und Philosophin. Sie promovierte bei Emmy Noether, arbeitete zeitweise mit David Hilbert zusammen und war in Göttingen Assistentin des Philosophen Leonard Nelson. Dessen Vorstellung einer Philosophie, die sich auch im praktischen Handeln bewähren muss, prägte ihr weiteres Wirken nachhaltig. Nach Nelsons frühem Tod setzte Hermann diese Arbeit fort und beschäftigte sich intensiv mit den philosophischen Grundlagen der Quantenmechanik.
Bereits kurz nach Erscheinen der EPR-Arbeit erkannte sie, dass eine Ergänzung der Quantenmechanik durch verborgene Variablen nicht ohne Berücksichtigung des jeweiligen Messkontextes möglich wäre. Zugleich wandte sie sich gegen die vorschnelle Gleichsetzung von Kausalität und Determinismus. In späterer Terminologie weist ihre Argumentation damit auf Einsichten voraus, die durch Theoreme wie dasjenige von Kochen und Specker formal präzisiert wurden: Quantenmechanische Größen können nicht durchweg als kontextunabhängige Eigenschaften eines Systems aufgefasst werden.

Hermanns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Korrektur von Neumanns No-Hidden-Variables-Beweis, #66 Bell'sche Ungleichung, #88 Zeilinger: Quantenteleportation

#36 Eugene Wigner (1902 - 1995)



17.11.1902	Geboren in Budapest, Österreich-Ungarn
1920 - 1925	Chemie-Ingenieurstudium an der Universität Budapest und TH Berlin, Promotion zum Dr.-Ing. unter Michael Polanyi
1927	Assistent von David Hilbert an der Universität Göttingen; Einführung der Paritätserhaltung in die Quantenmechanik
1928	Entwicklung der Jordan-Wigner-Transformation zur Beschreibung von Fermionen in Spin-Systemen
1930	Berufung an die Princeton University; Beginn der Zusammenarbeit mit John von Neumann
1931	**Wigner-Theorems über Symmetrieoperationen in der Quantenmechanik, wesentliche Grundlage zum Spin-Statistik Theorem**
1932	Wigner-Funktion zur Darstellung von Quantenzuständen im Phasenraum
1936	Heirat mit der Physikstudentin Amelia Ziporah Frank; sie erkrankte kurz nach der Hochzeit an Krebs und verstarb 1937
1938	Ernennung zum Professor für Mathematische Physik an der Princeton University
1941	Heirat mit Physikprofessorin Mary Annette Wheeler; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn; sie erkrankte ebenfalls an Krebs und verstarb 1977
1942 - 1945	Mitarbeit am Manhattan-Projekt; Leitung eines Teams zur Entwicklung von Kernreaktoren für Plutoniumproduktion
1946 - 1947	Direktor für Forschung und Entwicklung am Clinton Laboratory (heute Oak Ridge National Laboratory)
1963	Nobelpreis für Physik für Beiträge zur Theorie des Atomkerns und der Elementarteilchen, insbesondere durch die Entdeckung und Anwendung grundlegender Symmetrieprinzipien
1969	Verleihung der National Medal of Science
1971	Emeritierung von der Princeton University
1979	Heirat mit der Witwe Eileen Clare- Patton Hamilton
1992	Veröffentlichung seiner Memoiren „The Recollections of Eugene P.Wigner“
01.01.1995	Gestorben in Princeton, New Jersey, USA

Eugene Wigner nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#15 Wolfgang Pauli – Ausschlussprinzip: Das Ausschlussprinzip für Elektronen bildete einen wichtigen Ausgangspunkt für Wigners Untersuchung der Symmetrie von Mehrteilchenzuständen.
#16 Werner Heisenberg – Seine Arbeiten zur Quantenmechanik identischer Teilchen bildeten einen Ausgangspunkt für Wigners gruppentheoretische Beschreibung der Symmetrieklassen von Wellenfunktionen.
#17 Erwin Schrödinger und #18 Max Born – Wellenmechanik und Wahrscheinlichkeitsdeutung: Die Wellenmechanik lieferte die Zustandsbeschreibung für Wigners Symmetrieanalysen; Borns Deutung verband die Zustandsamplituden mit den Wahrscheinlichkeiten von Messergebnissen.
#20 John von Neumann – Darstellungstheorie von Gruppen: Im Austausch und in gemeinsamen Arbeiten mit von Neumann erschloss Wigner die Darstellungstheorie als Werkzeug zur Untersuchung quantenmechanischer Symmetrien.

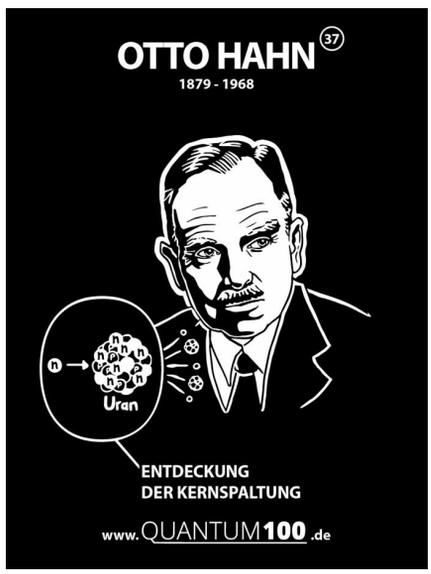
#36 Spin-Statistik-Theorem

Eugene Wigner trug entscheidend dazu bei, die Bedeutung von Symmetrien und gruppentheoretische Methoden in der Quantenmechanik zu verankern. Damit schuf er wichtige Grundlagen für die Beschreibung des Drehimpulses, des Spins sowie der Struktur von Atomkernen und Elementarteilchen.
Die enge Verbindung zwischen Spin und Teilchenstatistik wurde 1940 von Pauli und Fierz im Spin-Statistik-Theorem präzisiert: Teilchen mit halbzahligem Spin, etwa Elektronen, Protonen und Neutronen, sind Fermionen und gehorchen der Fermi-Dirac-Statistik. Teilchen mit ganzzahligem Spin, beispielsweise Photonen, sind dagegen Bosonen und folgen der Bose-Einstein-Statistik. Diese Verbindung ist grundlegend für unser Verständnis des Aufbaus der Materie und vieler quantenphysikalischer Vielteilcheneffekte.
Wigner erhielt 1963 den Nobelpreis für seine Beiträge zur Theorie der Atomkerne und Elementarteilchen, insbesondere für die Entdeckung und Anwendung grundlegender Symmetrieprinzipien.

Wigners Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#48 Goeppert-Mayer: Schalenmodell des Atomkerns, sowie Gruppentheorie und Quantenstatistik

#37 Otto Hahn (1879 - 1968)



08.03.1879	Geboren in Frankfurt am Main, Deutschland
1897 - 1901	Studium der Chemie, Physik, Philosophie und Mineralogie an der Phillips-Universität Marburg und der Universität München
1901	Promotion in Chemie bei Theodor Zincke mit einer Dissertation über „Bromderivate des Isoeugenols“ in Marburg
1901 - 1904	einjähriger Militärdienst, anschließende Assistenztätigkeit bei Zincke
1904	Wechsel an das University College London zu William Ramsay, Entdeckung des „Radiothoriums“
1905	Wechsel zur McGill University Montréal zu Ernest Rutherford, weitere radiochemische Entdeckungen
1906	Rückkehr nach Deutschland, Mitarbeiter bei Emil Fischer in Berlin
1907	Habilitation an der Universität Berlin
1907	Beginn der Zusammenarbeit mit Lise Meitner
1912	Leiter der radiochemischen Abteilung am neu gegründeten Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem
1913	Heirat mit Kunststudentin und spätere Malerin Edith Junghans; das Paar bekam einen Sohn
1914 - 1918	Militärdienst in der Spezialeinheit für chemische Kriegsführung unter Fritz Haber
1917	Entdeckung des Elements Protactinium zusammen mit Lise Meitner
1921	Entdeckung des Isotops „Uran Z“ (erste Kernisomerie)
1928 - 1946	Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie
1938	**Entdeckung der Kernspaltung gemeinsam mit Fritz Straßmann**
1945	Nobelpreis für Chemie 1944 (verliehen 1945) für die Entdeckung der Kernspaltung; Obwohl Meitners Deutung entscheident war, erhielt Hahn den Nobelpreis allein
1948 - 1960	Erster Präsident der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, anschließende Ernennung zum Ehrenpräsidenten
1959	Verleihung des Großkreuzes des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland
1960	Unfalltod seines Sohnes und dessen Frau; er kümmerte sich fortan mit seiner Frau um seinen verwaisten Enkel
1967	Veröffentlichung seiner Memoiren unter dem Titel „Mein Leben“
28.07.1968	Gestorben in Göttingen

Otto Hahn nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#8 Marie Skłodowska-Curie - Pionierin der Radioaktivitätsforschung: Grundwissen über instabile Atomkerne und deren Zerfall war essenziell. #26 James Chadwick – Entdeckung des Neutrons (1932) Ohne Neutronen gäbe es keine Kernspaltung: Chadwicks Nachweis liefert das „Projektilelement“ für den Spaltprozess.

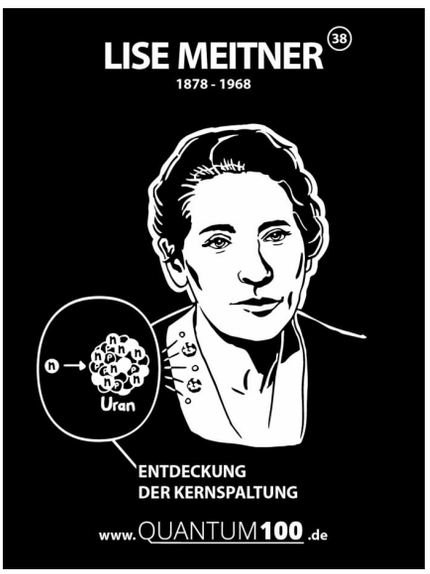
#37 Entdeckung der Kernspaltung

Otto Hahn, geboren am 8. März 1879 in Frankfurt am Main, Deutschland, war ein deutscher Chemiker, der durch seine bahnbrechende Entdeckung der Kernspaltung bekannt wurde. Diese Entdeckung, die er gemeinsam mit Lise Meitner und Fritz Straßmann im Jahr 1938 machte, revolutionierte das Verständnis von Atomkernen und führte zu bedeutenden Fortschritten in der Kernphysik.
Lise Meitner war bereits im Juli 1938 wegen ihrer jüdischen Herkunft aus Deutschland geflohen und arbeitete in Stockholm. Sie nahm daher nicht an den entscheidenden Experimenten im Dezember 1938 teil. Otto Hahn und Fritz Straßmann erbrachten am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem den chemischen Nachweis, dass bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen nicht nur neue radioaktive Elemente entstanden, sondern dass auch Barium und andere Elemente mit wesentlich geringerer Masse als Uran entstanden. Lise Meitner und ihr Neffe Otto Frisch lieferten anschließend die physikalische Erklärung als Spaltung des Urankerns. Die Entdeckung der Kernspaltung durch Hahn, Meitner und Straßmann war ein Meilenstein in der Physik und Chemie. Sie eröffnete neue Möglichkeiten für die Energiegewinnung und hatte weitreichende Auswirkungen auf die Entwicklung von Kernreaktoren und Kernwaffen. Obwohl Lise Meitner gemeinsam mit Otto Frisch die Kernspaltung physikalisch deutete, erhielt 1945 allein Otto Hahn den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1944 für den experimentell-chemischen Nachweis. Ein wesentlicher Grund war die ungeeignete Trennung der Nobelkomitees für Chemie und Physik, durch die der interdisziplinäre Charakter der Entdeckung und Meitners entscheidender Beitrag nicht angemessen erfasst wurden. Zusätzlich erschwerten ihre durch die nationalsozialistische Verfolgung erzwungene Emigration sowie institutionelle, politische und persönliche Vorurteile eine gerechte Würdigung.

Hahns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#22 Quimby: Nuklearmedizin, #40 Oppenheimer: Neutronenstern und schwarzes Loch, sowie: Atombombe

#38 Lise Meitner (1878 - 1968)



07.11.1878	Elise Meitner wurde als drittes von acht Kindern in eine jüdische Familie in Wien, Österreich-Ungarn geboren
1899 - 1901	Nach dem Besuch der Bürgerschule (als Mädchen waren am Gymnasium nicht zugelassen) Vorbereitung im Selbststudium auf die Matura am akademischen Gymnasium Wien
1906	Promotion in Physik, veröffentlicht als „Wärmeleitung in inhomogenen Körpern“ und Arbeit am Institut für theoretische Physik in Wien
1907	Zusammenarbeit mit Otto Hahn als „unbezahlte Gäste“ am chemischen Institut der Friedrich-Wilhelm-Universität in Berlin. Sie erforschten diverse radioaktive Nuklide
1912 - 1915	Inoffizielle Assistenten bei Max Planck
1913	Erstes weibliches Mitglied der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft
07.1915	Röntgenschwester der österreichischen Armee in einem Lazarett an der Ostfront
1916	Rückkehr nach Berlin
1918	Leiterin der radioaktiven Abteilung in Berlin, verbunden mit Gehalt
1922	Habilitation, mit dem Recht, als Dozentin zu arbeiten
1926	Erste a.o. Professorin Deutschlands für experimentelle Kernphysik
07.04.1933	Entzug der Lehrbefugnis aufgrund ihrer jüdischen Abstammung
1935 - 1938	Forschung mit Hahn und Straßmann am nichtstaatlichen Kaiser-Wilhelm-Institut.
13.07.1938	Ausreise ins Exil über Niederlande und Dänemark nach Stockholm, Schweden.
1938 - 1946	Forschung am Nobel-Institut in Stockholm
02.1939	**In „Disintegration of uranium by neutrons: A new type of nuclear reaction“ berechnen Meitner und Frisch aus der Massendifferenz die bei der Kernspaltung freiwerdende Energie auf etwa 200.000.000 eV**
1946	Vorlesungsreise in die USA
ab 1947	Leiterin der kernphysikalischen Abteilung der Königlichen Technischen Hochschule Stockholm
1960	Übersiedlung nach Cambridge, Vereinigtes Königreich
27.10.1968	Mit 90 Jahren stirbt Lise Meitner in Cambridge, Vereintes Königreich

Lise Meitner nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#8 Marie Skłodowska-Curie - Pionierin der Radioaktivitätsforschung: Grundwissen über instabile Atomkerne und deren Zerfall war essenziell. #26 James Chadwick – Entdeckung des Neutrons (1932) Ohne Neutronen gäbe es keine Kernspaltung: Chadwicks Nachweis liefert das „Projektilelement“ für den Spaltprozess.

#38 Entdeckung der Kernspaltung

Lise Meitner, geboren am 7. November 1878 in Wien, war eine österreichische Physikerin und eine der bedeutendsten Pionierinnen der Kernphysik. Ihre Arbeiten zur Radioaktivität und Kernphysik sowie insbesondere ihre physikalische Deutung der Kernspaltung waren von grundlegender Bedeutung für das Verständnis der Atomkerne.
Meitner arbeitete am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem über Jahrzehnte eng mit Otto Hahn zusammen; an den späteren Experimenten war auch Fritz Straßmann maßgeblich beteiligt. Wegen ihrer jüdischen Herkunft und der nationalsozialistischen Rassengesetze musste sie Deutschland 1938 verlassen und floh nach Schweden. Im Dezember 1938 informierte Hahn sie über den überraschenden Nachweis von Barium nach der Bestrahlung von Uran mit Neutronen. Während eines Winteraufenthalts im schwedischen Kungälv deuteten Meitner und ihr Neffe Otto Robert Frisch diesen Befund mithilfe des Tröpfchenmodells als Spaltung des Urankerns. Aus dem Massendefekt und Einsteins Beziehung $E = mc^2$ schätzten sie die dabei frei werdende Energie auf etwa 200 MeV pro Kernspaltung. Die Freisetzung weiterer Neutronen machte prinzipiell eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion möglich. Meitner erkannte die möglichen militärischen Folgen, lehnte jedoch eine Mitarbeit am Manhattan-Projekt entschieden ab. Damit steht ihre Biographie beispielhaft für die Frage nach der Verantwortung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für die technische und militärische Nutzung ihrer Erkenntnisse. Meitners wissenschaftliche Bedeutung wurde erst nach und nach umfassend anerkannt. Gemeinsam mit Otto Hahn und Fritz Straßmann erhielt sie 1966 den Enrico-Fermi-Preis; 1997 wurde das chemische Element mit der Ordnungszahl 109 zu ihren Ehren „Meitnerium“ genannt. Ihre Biographie verdeutlicht sowohl die Bedeutung von Frauen in der Wissenschaft als auch die tiefgreifenden Auswirkungen politischer Verfolgung auf wissenschaftliche Karrieren.

Meitners Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#22 Quimby: Nuklearmedizin, #40 Oppenheimer: Neutronenstern und schwarzes Loch, sowie: Atombombe

#39 Russell Ohl (1898 - 1987)



30.01.1898	Geboren nahe Allentown, Pennsylvania, USA
1914	Beginn des Studiums an der Pennsylvania State University (mit 16 Jahren)
1917	Kriegsdienst im US Army Signal Corps, anschließende Tätigkeit bei Westinghouse Electric
1920er	Weiteres Studium an der University of Colorado; später Wechsel zu AT&T
1921	Heirat mit seiner langjährigen Partnerin Ruth Livingood; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1926	Nachweis der Eignung von Siliziumdioden für Hochfrequenzanwendungen
1927	Beginn der Tätigkeit bei Bell Labs
1939	Entdeckung des p-n-Übergangs
1940	**Beobachtung der Lichtempfindlichkeit des p-n-Übergangs, Patent auf Silizium-Solarzelle („Light sensitive device“)**
1950	Anwendung seiner Erkenntnisse bei der Photo-Spitzendiode (John N. Shive, Bell Labs)
1951	Entwicklung eines halbleiterbasierten Oberwellengenerators
1955	Aufnahme als Mitglied im Institute of Radio Engineers
1958	Rückzug aus der Laborarbeit; Ruhestand in Kalifornien
20.03.1987	Gestorben in Vista, Kalifornien, USA

Russell Ohl nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Charles Fritts – Frühe Solarzelle: Baute 1883 eine Selen-Solarzelle mit dünner Goldschicht, einen technischen Vorläufer von Ohls Siliziumsolarzelle.

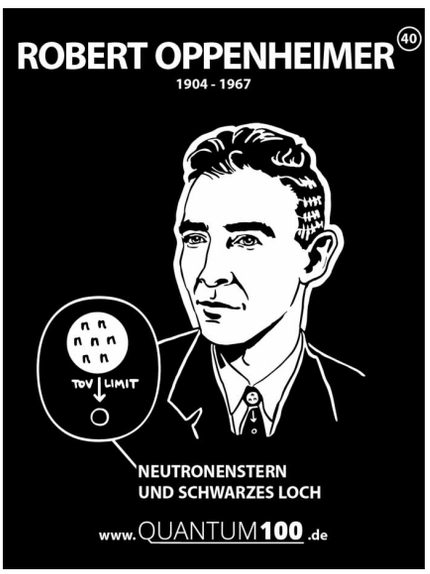
#39 Pionier der Entwicklung von Solarzellen

Russell Ohl, geboren am 31. Januar 1908 in Makanda, Illinois, USA, war ein amerikanischer Ingenieur und Physiker, der als Pionier in der Entwicklung von halbleiterbasierten Solarzellen gilt. Seine Arbeit bei den Bell Laboratories in den 1940er Jahren führte zu bedeutenden Durchbrüchen in der Nutzung von Solarenergie.
Im Jahr 1941 entwickelte und patentierte er die erste Solarzelle, die kommerziell nutzbar war. Diese Zelle basierte auf Siliziumkristallen, in denen sich zufällig pn-Übergänge gebildet hatten, und konnte eine Effizienz von etwa 1% erreichen. Aus heutiger Sicht erscheint das zwar niedrig, war aber der entscheidende erste Schritt in der Entwicklung von Solarzellen. Die Effizienz moderner Solarzellen hat sich seit Ohls Zeiten stark verbessert, da seit der Arbeit von Fuller (#53) gezieltes Dotieren in hochreinen Si-Kristallen möglich wurde. Die Energiewende und der dramatische Zuwachs an Solarenergie weltweit in den letzten Dekaden nahm hier ihren Anfang.

Ohls Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#53 Fuller: Entwicklung von Solarzellen, #61 Holonyak: Erfindung der LED

#40 Robert Oppenheimer (1904 - 1967)



22.04.1904	Julius Robert Oppenheimer wird in New York City, USA geboren
1922 - 1925	Studium der Chemie in Harvard; später Wechsel zur Physik
1926 - 1927	Promotion an der Universität Göttingen bei Max Born, wichtige Beiträge zur Quantenmechanik (u.a. Born-Oppenheimer-Näherung)
1928 - 1929	Forschungsaufenthalte in Leiden und Zürich; Zusammenarbeit mit Pauli
1929 - 1936	Professor an der University of California
1931 - 1939	Intensive Forschung in Atom-, Quanten- und Astrophysik. Frühzeitige theoretische Arbeiten zur Existenz von Positronen, Mesonen, Neutronen, sowie zum Tunneleffekt und zur Feldemission
1935	Entwicklung des Oppenheimer-Phillips-Prozesses (mit Melba Phillips)
1938 - 1939	**Entwicklung der Theorie der Neutronensterne und des Gravitationskollapses (Tolman-Oppenheimer-Volkoff-Grenze)**
1940	Heirat mit der Biologin und Botanikerin Katherine Puening; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1942	Eintritt in das Manhattan-Projekt; wissenschaftlicher Leiter der Los Alamos Laboratories
1945	Teilnahme am Trinity-Test, bekanntes Zitat: „Now I am become Death, the destroyer of worlds“, im August Abwurf der Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki
1947 - 1966	Direktor des Institute for Advanced Study, Princeton
1949 - 1954	Politisch aktives Engagement gegen die Wasserstoffbombe, Vorsitzender des General Advisory Committee der AEC, setzt sich für internationale Kontrolle von Atomwaffen ein
1954	Verlust seiner Sicherheitsfreigabe nach Anhörung vor der AEC (Atomenergiekommission der USA), Symbolfigur für die Spannung zwischen Wissenschaft und Politik im Kalten Krieg
1963	Verleihung des Enrico-Fermi-Preises durch US-Präsident Lyndon B. Johnson
1966	Rücktritt als Direktor des IAS aus gesundheitlichen Gründen
18.02.1967	Gestorben an Kehlkopfkrebs in Princeton, New Jersey, USA

Robert Oppenheimer nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#26 James Chadwick – Entdeckung des Neutrons (1932) - Erst mit der Entdeckung des Neutrons konnten Physiker überhaupt daran denken, Materie in einem extrem dichten, neutronenreichen Zustand zu modellieren.
#28 Enrico Fermi - Fermi-Energie, Kernreaktionen: Er entwickelte Theorien zur Materie im Kernbereich – Grundlage für dichte Zustände wie im Neutronenstern.
#37 Otto Hahn und #38 Lise Meitner - Kernspaltung: Zentrale Erkenntnisse zur Kernstruktur und -kräfte, wichtig für das Verständnis von Materie unter extremen Bedingungen.

#40 Neutronenstern und schwarzes Loch

Robert Oppenheimer, geboren am 22. April 1904 in New York City, USA, war ein amerikanischer Physiker, der maßgebliche Beiträge zur Theoretischen Physik, insbesondere zur Astrophysik, leistete.
In den 1930er Jahren arbeitete Oppenheimer an der Theorie von Sternen und ihrer Endstadien. Zusammen mit seinem Studenten George Volkoff berechnete er die maximale Masse, die ein Neutronenstern haben kann, bevor er kollabiert und zu einem Schwarzen Loch wird. Dieses Limit, bekannt als Tolman-Oppenheimer-Volkoff-Grenze, liegt bei etwa 2-3 Sonnenmassen. Sterne mit einer Masse über diesem Limit können nicht als Neutronensterne stabil existieren und werden stattdessen zu Schwarzen Löchern.
Oppenheimer ist allerdings vor allem als „Vater der Atombombe“ und wissenschaftlicher Leiter des Manhattan-Projektes in die Physikgeschichte eingegangen.
Oppenheimer las Sanskrit und zitierte nach dem Trinity-Test 16. Juli 1945 die Bhagavad Gita: Der ursprüngliche Sanskrit-Text aus der Bhagavad Gita 11.32 lautet: kālo 'smi loka-kṣaya-kṛt pravṛddho. Während das Sanskrit-Wort kālo in erster Linie „Zeit“ bedeutet – was eine wörtlichere Übersetzung nahe an „Ich bin die Zeit, der große Zerstörer der Welten“ hergibt – kann es im philosophischen Kontext des Hinduismus auch Tod, Schicksal oder kosmische Auflösung implizieren. Oppenheimers Wahl des Begriffs „Tod“ war daher eine interpretative Wiedergabe.

Oppenheimers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Zivile und militärische Nutzung von Kernenergie

#41 Isidor Isaac Rabi (1898 - 1988)



29.07.1898	Geboren in Rymanów, Galizien, Österreich-Ungarn, anschließende Auswanderung mit der Familie in die USA; aufgewachsen in der Lower East Side von New York
1916	Beginn des Studiums an der Cornell University (zunächst Elektrotechnik, dann Chemie)
1919	Bachelor of Science in Chemie
1922	Rückkehr nach Cornell als Chemiestudent; Beginn des Wechsels zur Physik
1924 - 1926	Promotion an der Columbia University über magnetische Suszeptibilität von Kristallen
1926	Heirat mit Helen Newmark, die ebenfalls aus einer jüdischen Einwandererfamilie stammte; das Paar bekam zwei Töchter
1927 - 1929	Forschungsaufenthalte in Europa: Arbeit bei Arnold Sommerfeld (München), Niels Bohr (Kopenhagen), Wolfgang Pauli (Hamburg), Otto Stern, Entwicklung eines vereinfachten Molekularstrahlverfahrens
1929	Rückkehr in die USA; Berufung als Dozent an die Columbia University
1931	Entwicklung der Breit-Rabi-Gleichung (mit Gregory Breit); Bestimmung des Kernspins über ein modifiziertes Stern-Gerlach-Experiment
1937	Beförderung zum Professor an der Columbia University
1937 - 1939	**Messung des magnetischen Moments von Proton und Deuteron mittels oszillierendem Magnetfeld: Entwicklung der Resonanzmethode zur Messung von Kernmomenten – Grundlage der später sogenannten Rabi-Oszillation**
1940	Wechsel an das MIT Radiation Laboratory: Forschung zu Mikrowellenradar
1942 - 1945	Beteiligung am Manhattan-Projekt als Berater, Teilnahme am Trinity-Test
1944	Verleihung des Nobelpreises für Physik für die Entwicklung der Molekularstrahl-Resonanzmethode
1945 - 1949	Vorsitz des Physikdepartments an der Columbia University
1946 - 1956	Mitglied des Beirats der Atomic Energy Commission (GAC), ab 1952 Vorsitzender (Nachfolger von Oppenheimer)
1950 - 1952	Engagement in der Gründungsphase von CERN als US-Delegierter bei der UNESCO
1967	Emeritierung
11.01.1988	Gestorben in New York City, USA an Krebs. Letzte Untersuchung mittels MRT, einer Technologie, die auf seiner Forschung beruht

Isidor Isaac Rabi nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#11 und #12 Stern-Gerlach-Experiment - Die Entdeckung, dass Quantenteilchen wie Elektronen und Atome einen Spin besitzen, der sich im Magnetfeld ausrichtet oder aufspaltet, war die Grundlage dafür, überhaupt magnetische Momente messen zu wollen.
#15 Wolfgang Pauli - Pauli-Prinzip und Spin: Rabis Arbeiten basieren direkt auf dem Konzept des Spins, das Pauli in die Quantenphysik eingeführt hat.
#16 Werner Heisenberg - Unschärferelation: Relevant für das Verständnis der Zeitentwicklung und der Wechselwirkungen von Quantenzuständen.
#17 Erwin Schrödinger - Schrödinger-Gleichung: Mathematische Basis für die Beschreibung der Zeitabhängigkeit in Zwei-Niveau-Systemen (wie bei Rabi-Oszillationen).

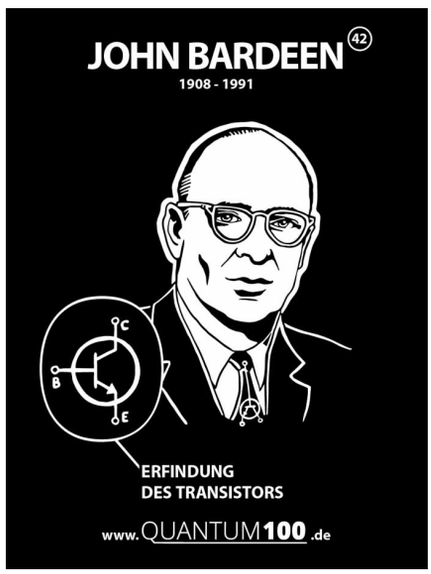
#41 Rabi-Oszillation

Isidor Isaac Rabi, geboren am 29. Juli 1898 in Rymanów, Galizien, Österreich-Ungarn (heute Polen), war ein US-amerikanischer Physiker. Er entwickelte in den 1930er Jahren mit seinem Team an der Columbia University die Molekularstrahl-Magnetresonanzmethode. Die nach ihm benannten Rabi-Oszillationen beschreiben periodische Übergänge zwischen zwei Quantenzuständen, die durch ein äußeres elektromagnetisches Feld angeregt werden.
Während des Zweiten Weltkriegs arbeitete Rabi am Radiation Laboratory des Massachusetts Institute of Technology. Als stellvertretender Direktor und Leiter der Forschungsabteilung war er maßgeblich an der Entwicklung leistungsfähiger Mikrowellenquellen und präziser Radarsysteme zur Ortung von Flugzeugen und Schiffen beteiligt. Außerdem beriet er das Manhattan-Projekt, verzichtete jedoch auf eine dauerhafte Tätigkeit in Los Alamos.
Die im Krieg entwickelte Mikrowellentechnik bildete später eine wichtige Grundlage für Mikrowellenspektroskopie, Maser und Atomuhren. Rabis Resonanzmethode bereitete zudem den Weg für Kernspinresonanz, medizinische Magnetresonanztomographie und die gezielte Steuerung von Qubits durch Rabi-Pulse. Für seine Methode zur Messung der magnetischen Eigenschaften von Atomkernen erhielt Rabi 1944 den Nobelpreis für Physik. Nach dem Krieg wandte er sich gemeinsam mit Enrico Fermi gegen die Entwicklung der Wasserstoffbombe. US-Präsident Truman setzte sich über diese Empfehlung hinweg und ordnete am 31. Januar 1950 die Entwicklung der Wasserstoffbombe an.

Rabis Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#54 Ramsey: hochpräzise Zeitmessung, #71 Lauterbur: Anwendung von MRT in der Medizin, #93 Vandersypen: Pionier des Quantencomputers, Quantengatter

#42 John Bardeen (1908 - 1991)



23.05.1908	Geboren in Madison, Wisconsin, USA
1923	Highschool-Abschluss mit 15 Jahren; Studienbeginn an der University of Wisconsin (Elektrotechnik, Physik, Mathematik)
1928	Bachelor of Science in Elektrotechnik
1929	Master of Science in Elektrotechnik
1930 - 1933	Arbeit als Geophysiker bei Gulf Research Laboratories in Pittsburgh
1933	Beginn des Graduiertenstudiums (Physik und Mathematik) an der Princeton University
1936	Promotion in der mathematischen Physik bei Eugene Wigner
1935 - 1938	Junior Fellow an der Harvard University; Forschung zu Metallen und Kernphysik
1938	Heirat mit Jane Maxwell; das Paar bekam eine Tochter und zwei Söhne
1938 - 1941	Assistant Professor an der University of Minnesota
1941 - 1944	Arbeit am U.S. Naval Ordnance Laboratory (Magnetminen und Magnettorpedos)
1945 - 1951	Physiker bei Bell Telephone Laboratories; Mitentwicklung des Transistors
1947	**Mit Walter Brattain und William Shockley gelingt die erste Verstärkung mit einem Punktkontakt-Transistor (Geburtsstunde des Transistors)**
1951	Verlassen der Bell Labs wegen Konflikten mit Shockley, Berufung an die University of Illinois als Professor für Elektrotechnik und Physik
1956	Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit Brattain und Shockley) für die Entdeckung des Transistoreffekts
1957	Entwicklung der BCS-Theorie der Supraleitung mit Cooper und Schrieffer
1972	Zweiter Nobelpreis für Physik (BCS-Theorie) mit Cooper und Schrieffer; einziger Doppelpreisträger in Physik. Neben ihm erhielt nur M. Curie zwei Nobelpreise: einen in Physik und einen in Chemie)
1975	Emeritierung, weiterhin wissenschaftlich aktiv in Urbana, Illinois
1991	Gestorben nach einer Operation an Herzversagen in Boston, Massachusetts, USA

John Bardeen nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#39: Russell Ohl – pn-Übergang: Seine Entdeckung des lichtempfindlichen pn-Übergangs 1940 lieferte wichtige experimentelle Grundlagen für die Entwicklung der Halbleiterelektronik.
Felix Bloch – Elektronen im Kristall: Seine quantenmechanische Beschreibung von Elektronen im periodischen Kristallgitter lieferte eine Grundlage für das Verständnis von Halbleitern.

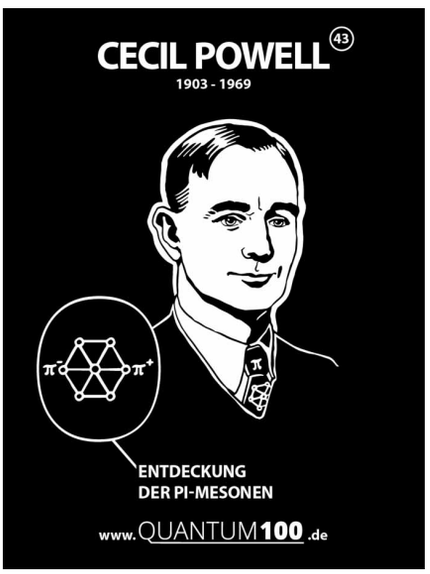
#42 Erfindung des Transistors

John Bardeen, geboren am 23. Mai 1908 in Madison, Wisconsin, USA, war ein amerikanischer Physiker und Ingenieur, der als einziger Physiker zweimal den Nobelpreis erhielt - in zwei völlig verschiedenen Gebieten: Transistoren und Supraleitung (BCS-Theorie). Er ist bekannt für seine grundlegenden Beiträge zur Festkörperphysik und insbesondere für die Entwicklung des ersten praktischen Transistors.
Bardeen arbeitete bei den Bell Laboratories, wo er gemeinsam mit Walter Brattain und William Shockley an der Entwicklung von Geräten arbeitete, die die Funktion von Vakuumröhren übernehmen konnten. Im Jahr 1947 gelang es ihnen, den ersten funktionsfähigen Transistor zu entwickeln. Dieser neuartige Transistor, der auf pnp-Halbleitermaterialien basiert, kann Signale verstärken und schaltbar machen, ohne die Nachteile von Vakuumröhren wie Größe, Verbrauch und Zuverlässigkeit zu haben.
Die Erfindung des Transistors durch Bardeen und seine Kollegen revolutionierte die Elektronikindustrie. Transistoren ermöglichten die Entwicklung von kleineren, schnelleren und zuverlässigeren elektronischen Geräten, was zu einer Vielzahl von Innovationen in der Computertechnologie, Kommunikation und Unterhaltungselektronik führte. Ohne den mit Halbleitern konstruierten Transistor wäre die heutige Welt der Mobiltelefone, Computer und die KI-Revolution undenkbar.
John Bardeen ist der einzige Mensch mit zwei Nobelpreisen in Physik.

Bardeens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#83 Berners-Lee: World Wide Web, #93 Vandersypen: Pionier des Quantencomputers

#43 Cecil Powell (1903 - 1969)



05.12.1903	Geboren in Kent, England
1910er	Stipendiat an der Judd School in Tonbridge, anschließendes Studium der Naturwissenschaften am Sidney Sussex College, Cambridge
1924 - 1925	Studienabschluss mit „First Class Honours“
1927	Promotion im Cavendish-Labor bei C. T. R. Wilson
1928	Forschungsassistent bei A. M. Tyndall an der University of Bristol; Entwicklung der Ionenmobilitätsmessung in Gasen
1931	Ernennung zum Dozenten in Bristol
1932	Heirat mit seiner wissenschaftlichen Assistentin Isobel Therese Artner (später leitete sie die Arbeitsgruppe der „Scannerinnen“) das Paar bekam zwei Töchter
1935	Seismologe bei Expedition nach Montserrat, Karibik im Auftrag des Colonial Office und der Royal Society.
1936 - 1937	Planung einer zweiten Expedition nach Dominica, durch den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs abgebrochen
1939	Fertigstellung eines Cockcroft-Generators zur Erzeugung eines 700keV-Protonenstrahls; erste Protonen- und Neutronenexperimente mit fotografischer Emulsion
1940	Abbau der Hochspannungsanlage zugunsten kriegsrelevanter Forschung
ab 1940	Systematische Entwicklung fotografischer Emulsionsmethoden zur Teilchenspurdetektion mit verbesserten Verfahren und Emulsionen
1947	**Nachweis des π-Mesons (Pions) mithilfe von Emulsionsplatten aus Höhenballon-Experimenten**
1950	Nobelpreis für Physik für die fotografische Methode und die Entdeckung der Mesonen
1952 - 1957	Leitung ballongetragener Höhenforschungsexpeditionen (Sardinien, Poebene)
1955	Mitunterzeichner des Einstein-Russell-Manifests
1957	Gemeinsam mit Bertrand Russell, Joseph Rotblat und Eric Burhop: Initiator der ersten Pugwash-Konferenz. Pugwash ist eine internationale Wissenschaftlerbewegung, die während des Kalten Krieges Forscher aus Ost und West zusammenbrachte, um Wege zur nuklearen Abrüstung, Rüstungskontrolle und friedlichen Konfliktlösung zu beraten. Ausgangspunkt war das Russell-Einstein-Manifest von 1955.
1965 - 1968	Vorsitzender des Nuclear Physics Board des britischen Science Research Council
09.08.1969	Gestorben an einem Herzinfarkt in Bellano, Italien

Cecil Powell nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#24 Paul Dirac - Antimaterie und relativistische Quantenmechanik: Diracs relativistische Quantenmechanik bereitete den Weg für das Verständnis neuer Teilchen, wie Mesonen.
#33 Hideki Yukawa – Yukawa-Potential - Yukawa hatte 1935 theoretisch vorhergesagt, dass es ein Vermittlerteilchen für die starke Kernkraft geben müsse – ein Meson, das die Bindung zwischen Protonen und Neutronen erklärt.

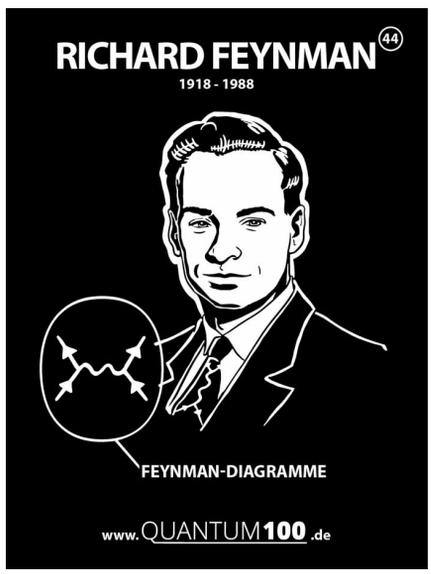
#43 Entdeckung der Pi-Mesonen

Cecil Frank Powell, geboren am 5. Dezember 1903 in Tonbridge, Kent, England, war ein britischer Physiker, der sich durch seine Arbeit auf dem Gebiet der Teilchenphysik einen Namen machte. Er ist bekannt für die Entdeckung der Pi-Mesonen, auch bekannt als Pionen, die eine wichtige Rolle in der Kernphysik und der Theorie der starken Wechselwirkung spielen.
Powell und sein Team an der University of Bristol entwickelten eine Methode, um hochenergetische Teilchen, die aus der kosmischen Strahlung stammen, zu detektieren und zu identifizieren. Sie verwendeten Fotoplatten, um die Spuren dieser Teilchen aufzuzeichnen, wenn sie durch die Atmosphäre flogen. Durch die Analyse dieser Spuren konnten sie die Eigenschaften der Teilchen bestimmen und entdeckten dabei das Pi-Meson, ein subatomares Teilchen, das aus Quarks besteht.
Die Entdeckung der Pi-Mesonen durch Powell und seine Kollegen im Jahr 1947 war ein wichtiger Meilenstein in der Entwicklung der Teilchenphysik. Es bestätigte die Vorhersagen der Theorie der starken Wechselwirkung, die von Physikern wie Hideki Yukawa entwickelt worden war. Diese Entdeckung war auch ein Meilenstein bei der weiteren theoretischen Entwicklung, insbesondere der Quantenchromodynamik und dem Quark-Modell.
Cecil Powell erhielt 1950 den Nobelpreis für Physik für seine Entdeckung der Pi-Mesonen. Powells bahnbrechende Entdeckungen basierten maßgeblich auf der Pionierarbeit von Marietta Blau (#46).
Als Kern- und Teilchenphysiker war sich Powell zugleich der militärischen Folgen moderner physikalischer Forschung bewusst. Die Entwicklung der Wasserstoffbombe und die Gefahr eines atomaren Weltkriegs motivierten ihn, 1955 das Russell-Einstein-Manifest zu unterzeichnen und an der Gründung der Pugwash-Bewegung mitzuwirken. Dort setzte er sich für die Verantwortung der Wissenschaft, den Dialog zwischen Ost und West und die nukleare Abrüstung ein.

Powells Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#64 Gell-Mann: Quark-Modell, #68 Weinberg: elektroschwacher Phasenübergang, #77 Rubbia: Entdecker der W- und Z-Bosonen

#44 Richard Feynman (1918 - 1988)



11.05.1918	Geboren in Far Rockaway, New York, USA
1935 - 1939	Studium am Massachusetts Institute of Technology (MIT) mit Schwerpunkt auf Mathematik und Physik, Abschluss mit einem Bachelor of Science in Physik
1939 - 1942	Promotionsstudium an der Princeton University über Wechselwirkungen von Elektronen und Photonen im Rahmen der Quantenmechanik
1942	Heirat mit Arline Greenbaum; sie war vorher schon unheilbar an Tuberkulose erkrankt; sie verstarb 1945
1942 - 1945	Mitarbeit am Manhattan-Projekt in Los Alamos, Berechnungen zur Kettenreaktion in Spaltmaterialien, wichtige theoretische Beiträge zur Entwicklung der ersten Atombombe
1945 - 1949	Assistenzprofessor an der Cornell University; **Entwicklung der Feymann-Diagramme, mit denen Quanteneffekte anschaulich und rechnerisch zugänglich gemacht werden**
1947	Shelter-Island-Konferenz: Beginn der Präsentation seiner Quantenelektrodynamik (QED)
1950 - 1951	Veröffentlichung grundlegender Arbeiten zur QED
1951 - 1988	Professur am California Institute of Technology (Caltech)
1952	Heirat mit Kunsthistorikerin Mary Louise Bell; die Ehe wurde 1958 geschieden
1953 - 1969	Beiträge zur Festkörperphysik (z. B. Suprafluidität), schwache Wechselwirkung (V-A-Theorie), Teilchenphysik (Parton-Modell)
1959	Rede „There's Plenty of Room at the Bottom“ (visionäre Ideen zur Nanotechnologie)
1960	Heirat mit der Britin Gweneth Howarth; das Paar bekam einen Sohn und adoptierte eine Tochter als Säugling
1961 - 1964	Feynman „Lectures on Physics“ entstehen; prägend für die Physikausbildung weltweit
1965	Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit Tomonaga und Schwinger) für Beiträge zur QED
1970 - 1980	Arbeiten zur Quantenchromodynamik, frühe Überlegungen zur Quantengravitation
1981	Pionierhafte Vorträge zur Idee des Quantencomputers („Can quantum physics be simulated by classical computers?“)
1986	Mitglied der Rogers-Kommission zur Untersuchung der Challenger-Katastrophe; kritisiert öffentlich das NASA-Management
15.02.1988	Gestorben an den Folgen von Abdominalkrebs in Los Angeles, Kalifornien, USA

Richard Feyman nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie - Materiewellen: de Broglies Konzept der Materiewellen beeinflusste die Entwicklung der Quantenmechanik, die es ermöglichte, die Feynman-Diagramme zur Darstellung von Teilchenwechselwirkungen zu verwenden.
#24 Paul Dirac - Relativistische Quantenmechanik und Antimaterie: Diracs Arbeiten zur relativistischen Quantenmechanik und Antimaterie hatten Einfluss auf die Entwicklung der QED, die durch Feynman-Diagramme anschaulich gemacht wurde.

#44 Feynman-Diagramme

Richard Feynman entwickelte seine Diagrammtechnik in den späten 1940er Jahren, um störungstheoretische Berechnungen in der Quantenelektrodynamik zu vereinfachen. Freeman Dyson zeigte anschließend, dass Feynmans Verfahren mathematisch äquivalent zu den von Julian Schwinger und Shin'ichirō Tomonaga entwickelten Formulierungen war, und trug wesentlich zu seiner Anerkennung bei.
Feynman-Diagramme sind abstrakte mathematische Symbole und keine Abbildungen realer Teilchenbahnen. Sie verdeutlichen ein Grundmotiv der Quantenphysik: Klassische Anschaulichkeit wird durch neue abstrakte Darstellungsformen ersetzt. Ähnlich erschienen Heisenbergs Matrizenmechanik und Schrödingers Wellenmechanik zunächst als gegensätzliche Ansätze, bevor u.a. Schrödinger, Dirac und von Neumann ihre mathematische Äquivalenz zeigten.
Während des Zweiten Weltkriegs arbeitete Feynman am Manhattan-Projekt in Los Alamos und beteiligte sich an Berechnungen zur Atombombe. Seine Mitarbeit begründete er mit der Gefahr einer deutschen Kernwaffe, arbeitete aber auch nach der Kapitulation Deutschlands weiter im Projekt. In einem BBC-Interview von 1981 bezeichnete Feynman es rückblickend als moralisches Versagen, dass er nach der deutschen Niederlage sein ursprüngliches Motiv für die Mitarbeit am Manhattan-Projekt nicht erneut hinterfragt hatte.

Feynmans Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Anwendungen vom Pfadintegralformalismus im Standardmodell der Elementarteilchenphysik, und vieles mehr

#45 Julian Schwinger (1918 - 1994)



12.02.1918	Geboren in New York City, USA
1934	Beginn des Physikstudiums am City College of New York (CCNY)
1935 - 1936	Wechsel an die Columbia University, unterstützt durch ein Stipendium
1936	Bachelor-Abschluss an der Columbia University; Aufnahme in die Phi Beta Kappa Society
1937 - 1938	Arbeit bei Gregory Breit und Eugene Wigner; beginnt, ausschließlich nachts zu arbeiten, um intellektuelle Unabhängigkeit zu wahren
1939	Promotion bei Isidor Isaac Rabi an der Columbia University im Alter von nur 21 Jahren
1939 - 1941	Forschungsaufenthalt bei J. Robert Oppenheimer
1941	Professur an der Purdue University, Indiana, USA
1943 - 1945	Mitarbeit am MIT Radiation Lab im Zweiten Weltkrieg: Theorie der Wellenausbreitung in Wellenleitern, Radarentwicklung
1945	Wechsel und Professur an der Harvard University (ab 1966 Eugene-Higgins-Professur), Aufbau einer Schule theoretischer Physik; Ausbildung zahlreicher späterer Nobelpreisträger
1947	Heirat mit Clarice Carrol
1948	**Herleitung der Lamb-Verschiebung und des anomalen magnetischen Moments des Elektrons in der Quantenelektrodynamik (QED); zentrale Beiträge zur Renormierung**
1951 - 1954	Veröffentlichung der einflussreichen Reihe Theory of Quantized Fields im Physical Review
1952	Darstellung der Drehimpulsalgebra durch harmonische Oszillatoren
1965	Nobelpreis (mit Feynman und Tomonaga) „für ihre grundlegende Leistung in der Quantenelektrodynamik, mit tiefgehenden Konsequenzen für die Elementarteilchenphysik“
1970 - 1989	Drei-Bände-Werk Particles, Sources and Fields: Entwicklung der „sourcetheory“ als alternativer Zugang zur Quantenfeldtheorie
1972	Wechsel an die University of California
1980er	Arbeiten zur statistischen Theorie des Atoms, zu magnetischen Monopolen, Dyons, Sonolumineszenz und zur kalten Fusion
16.07.1994	Gestorben in Los Angeles, Kalifornien, USA

Julian Schwinger nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie - Materiewellen: de Broglies Hypothese der Materiewellen trug zur Entwicklung der Quantenmechanik bei und war entscheidend für die Weiterentwicklung von Teilchen-Photon-Wechselwirkungen in der QED; #44 Richard Feynman - Feynman-Diagramme: Eine anschauliche und berechenbare Methode zur Darstellung von Teilchenwechselwirkungen – ein wichtiges Werkzeug in der QED, ergänzt durch Schwingers mathematische Formulierungen.

#45 Pionier der Quantenelektrodynamik

Julian Seymour Schwinger, geboren am 12. Februar 1918 in New York City, USA, war ein amerikanischer Physiker, der bedeutende Beiträge zur Quantenelektrodynamik (QED) leistete. Er ist bekannt für seine Arbeit zur Berechnung des anomalen magnetischen Moments des Elektrons in erster Ordnung Störungstheorie, die eine der grundlegenden Bestätigungen der QED darstellt.
Die Kernidee - lokale U(1)-Eichinvarianz - hat eine interessante Ideengeschichte hinter sich. Symmetrien und Invarianzen haben an vielen Orten in der Musikgeschichte eine wichtige Rolle gespielt: von Invarianz der Physik vom Bezugssystem bei der allgemeinen Relativitätstheorie von Einstein bis zum Noether-Theorem in der Quantenphysik. Hermann Weyl formulierte bereits 1918 die Idee der sogenannten „Eichinvarianz“, um Gravitation und Elektrizität in einem geometrischen Rahmen zu vereinen. Dies ist bis heute nicht gelungen! Erst mehr als zehn Jahre später hat Weyle dieselbe Idee erfolgreich eingesetzt - nicht bei der Gravitation, sondern für die Kopplung von Strahlung und Materie. Im Jahr 1929 erkannte Weyl, dass die Dirac-Gleichung, wenn man fordert, dass die (sowieso unsichtbare) Phase der Wellenfunktion an jedem Ort beliebig sein muss, auf natürliche Weise mit Elektromagnetismus koppelt: denn sowohl das elektrische Potential V als auch das Vektorpotential A sind nur bis auf eine willkürliche Konstante bestimmt. „Minimale Kopplung“ nach Weyl bedeutet, dass diese beliebige, unsichtbare Phase der Wellenfunktion nichts anderes ist als eine „Umeichung“ dieses elektromagnetischen Vektorpotentials.
Julian Schwinger war einer der ersten, der diese kühne Idee erfolgreich anwandte. Julian Schwinger erhielt 1965 den Nobelpreis für Physik, zusammen mit Richard Feynman und Sin-Itiro Tomonaga, für ihre Arbeiten zur Quantenelektrodynamik.

Schwingers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Standardmodell der Elementarteilchenphysik, u.a. Theorie und Experiment zu magnetischem Moment von Elektron und Myon

#46 Marietta Blau (1894 - 1970)



29.04.1894	Geboren in Wien, Österreich-Ungarn
1914 - 1918	Nach ihrer Matura am Mädchengymnasium des Vereins für erweiterte Frauenbildung studierte sie Physik und Mathematik an der Universität Wien
1919	Promotion „Über die Absorption divergenter Gammastrahlung“.
1920 - 1921	Arbeit in der Röntgenröhrenfabrik Fürstenau in Berlin
1922	Arbeit am Institut für physikalische Grundlagen der Medizin an der Universität Frankfurt
1923 - 1938	Arbeit als freie (=unbezahlte) wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Radiumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien
	Forschung mit der photographischen Methode zum Nachweis einzelner Teilchen, insbesondere Alphateilchen und Protonen sowie deren Energie anhand der Bahnspuren, die sie in Emulsionen bewirken
1932 - 1933	Forschungsaufenthalte in Göttingen und Paris
1937	**Zusammen mit Herta Wambacher gelingt es ihr mit der photographischen Methode, die Zertrümmerung eines Atomkerns durch kosmische Strahlen festzuhalten**
1938	Emigration nach Oslo, Norwegen und Arbeit am chemischen Institut
1939	Übersiedlung nach Mexiko-Stadt und über Vermittlung von Einstein, Arbeit an der Technischen Hochschule
1944 - 1948	Mit der Übersiedlung in die USA arbeitete Marietta Blau zeitweilig in der Industrie
1948 - 1960	Tätigkeiten an verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen (Columbia University, Brookhaven National Laboratory, University of Miami)
1960 - 1964	Rückkehr nach Wien; Trotz angeschlagener Gesundheit arbeitete sie wieder am Radiuminstitut, an dem sie unbezahlt ihren Forschungen nachging
27.01.1970	Marietta Blau stirbt verarmt an Krebs in Wien

Marietta Blau nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Henri Becquerel – Radioaktivität: Sein Nachweis radioaktiver Strahlung mit fotografischen Platten bildete eine Grundlage für Blaus fotografische Teilchendetektion.
Victor Franz Hess – Kosmische Strahlung: Seine Entdeckung der kosmischen Strahlung erschloss das Forschungsgebiet, in dem Blau ihre fotografische Nachweismethode einsetzte.

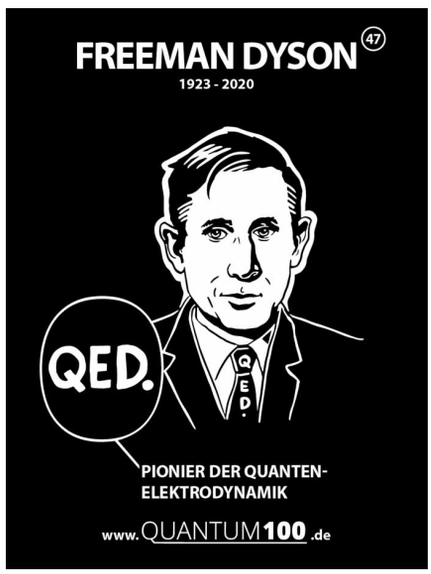
#46 Spallation kosmischer Strahlung

Marietta Blau, geboren am 18. September 1894 in Wien, Österreich, war eine österreichische Physikerin, die sich durch ihre Arbeit auf dem Gebiet der kosmischen Strahlung einen Namen machte. Sie ist bekannt für ihre Entdeckung der Spallation von Atomkernen durch kosmische Strahlung, ein Prozess, bei dem hochenergetische Teilchen der kosmischen Strahlung mit Atomkernen kollidieren und diese in kleinere Fragmente zerbrechen.
Blau arbeitete am Institut für Radiumforschung in Wien, wo sie sich mit der Erforschung der kosmischen Strahlung beschäftigte. Sie entwickelte eine Methode, um die Spuren von kosmischer Strahlung in Fotoplatten zu detektieren und zu analysieren. Durch diese Arbeit entdeckte sie, dass die kosmische Strahlung in der Lage ist, Atomkerne zu spalten, was zu einer Vielzahl von Sekundärteilchen führt. Ihre Arbeit half, die Zusammensetzung und die Eigenschaften der kosmischen Strahlung besser zu verstehen und trug zu wichtigen Fortschritten in der Astroteilchenphysik bei. Blau war eine der ersten Wissenschaftlerinnen, die sich mit der Erforschung der kosmischen Strahlung beschäftigte und ihre Arbeit hat den Weg für weitere Forschungen in diesem Bereich geebnet, insbesondere C. Powell (#43).

Blaus Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#43 Powell: Entdeckung der Pi-Mesonen

#47 Freeman Dyson (1923 - 2020)



15.12.1923	Geboren in Crowthorne, England
1941 - 1943	Mathematikstudium am Trinity College in Cambridge (Stipendium mit 15 Jahren gewonnen)
1943 - 1945	Unterbrechung des Studiums: Tätigkeit als ziviler Analytiker im Operational Research der RAF Bomber Command (Entwicklung analytischer Methoden zur Einsatzplanung)
1945	Weiterführung des Studiums, Abschluss mit dem Bachelor in Mathematik
1946 - 1949	Fellow am Trinity College
1947 - 1948	Aufenthalt an der Cornell University, Zusammenarbeit mit Hans Bethe und Richard Feynman; Beginn der Arbeiten zur Quantenelektrodynamik
1948 - 1949	Aufenthalt am Institute for Advanced Study in Princeton bei Oppenheimer
1949	**Veröffentlichung der Arbeit zur Äquivalenz der Formulierungen der Quantenelektrodynamik (Feynman-Diagramme und Operatormethoden von Schwinger/Tomonaga)**
1949 - 1951	Research Fellow an der University of Birmingham
1950	Heirat mit der Schweizer Mathematikerin Verena Huber; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn; die Ehe wurde 1958 geschieden
1951	Berufung als Professor an die Cornell University ohne formale Promotion
1952/1953	Oppenheimer bietet ihm eine lebenslange Mitgliedschaft am Institute for Advanced Study in Princeton an, Dyson tritt dem Institut als ständiges Mitglied bei; Erlangung der US-amerikanischen Staatsbürgerschaft
1957 - 1961	Mitarbeit am Projekt Orion (nuklear betriebene Raumfahrt)
1958	Mitarbeit in Edward Tellers Team für den TRIGA-Reaktor und Heirat mit Sportlerin Imme Jung; sie brachte eine Tochter mit in die Ehe; gemeinsam bekamen sie vier weitere Töchter
1966 - 1968	Beweis (mit Andrew Lenard), dass das Pauli-Prinzip wesentlich für die Stabilität der Materie ist
1970er	Arbeit zur Beziehung zwischen der Nullstellen der Riemannschen Zetafunktion und Quantenspektren von klassisch chaotischen Systemen (Random-Matrix-Theorie, zusammen mit Hugh Montgomery)
1980er	Intensive Beschäftigung mit Klima-Fragen (u.a. im JASON-Beraterkreis und Institute for Energy Analysis)
1994	Emeritierung
1999	Veröffentlichung von „The Sun, the Genome and the Internet“ zur Vision einer „grünen Technologie“
2003	Präsident des Space Studies Institute
28.02.2020	Gestorben in Princeton, New Jersey, USA

Freeman Dyson nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Werner Heisenberg - Die Quantenmechanik, insbesondere die Unschärferelation, prägte das Verständnis von Teilcheninteraktionen und Wechselwirkungen auf subatomarer Ebene.
#24 Paul Dirac - Diracs Arbeiten zur relativistischen Quantenmechanik und zur QED schufen die theoretische Grundlage, auf der Dyson aufbaute.
#44 Richard Feynman - Feynman entwickelte die Feynman-Diagramme, die Visualisierung von Teilchenwechselwirkungen in QED ermöglichen. Dyson arbeitete direkt mit Feynman zusammen, um die mathematische Grundlage für QED zu konsolidieren.

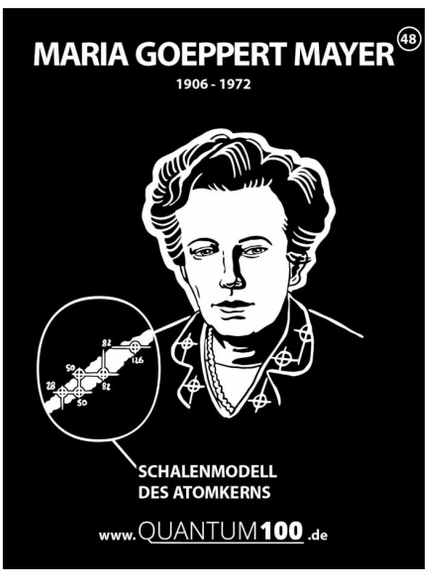
#47 Pionier der Quantenelektrodynamik

Freeman John Dyson, geboren am 15. Dezember 1923 in Crowthorne, England, war ein britisch-amerikanischer Physiker und Mathematiker.
Ende der 1940er Jahre zeigte er, dass Richard Feynmans Diagrammtechnik mathematisch äquivalent zu den operatorbasierten Formulierungen von Julian Schwinger und Shin'ichirō Tomonaga war. Damit vereinte er unterschiedliche Ansätze der Quantenelektrodynamik und trug wesentlich zur Anerkennung der Feynman-Diagramme bei.
Dyson beschäftigte sich intensiv mit den gesellschaftlichen Folgen wissenschaftlicher und technischer Entwicklungen.
In seinem 1999 erschienenen Buch „The Sun, the Genome, and the Internet“ entwickelte Dyson die Vision einer „grünen Technologie“. Dezentrale Solarenergie, Biotechnologie und weltweite Kommunikation sollten ländliche Gemeinschaften stärken und globale Ungleichheit verringern. Seine optimistischen Vorstellungen blieben jedoch umstritten.

Dysons Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Standardmodell der Elementarteilchenphysik

#48 Maria Goeppert Mayer (1906 - 1972)



28.06.1906	Geboren als Einzelkind einer über Generationen akademisch geprägter Familie in Kattowitz, Oberschlesien, Deutschland.
1910	Umzug nach Göttingen.
1924 - 1930	Nach dem Abitur studierte sie erst Mathematik, dann Physik.
1930	Promotion „Über die Elementarakte mit zwei Quantensprüngen“ bei Max Born.
1930	Heirat mit Joseph Edward Mayer, einem Mitarbeiter von James Franck und Auswanderung in die USA; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1933	Sie erhielt die amerikanische Staatsbürgerschaft.
1930 - 1939	Sie arbeitete unentgeltlich mit ihrem Mann an der Johns-Hopkins-University, Maryland, USA
1940 - 1946	Lecturer in der Abteilung Chemie der Columbia University, nachdem ihr Mann 1939 dorthin wechselte.
1942 - 1945	Zusätzlich Lecturer am Sarah Lawrence College in New York.
1946 - 1960	Arbeit als freiwillige Professorin im Enrico Fermi Institut (weiterhin unentgeltlich) an der University of Chicago
1949	**Maria Goeppert Mayer entwickelte zeitgleich aber unabhängig mit Hans Jensen das Schalenmodell.**
1960	Berufung zur Professorin. Im gleichen Jahr erlitt Maria Goeppert-Mayer einen Schlaganfall, der sie halbseitig lähmte.
1963	Maria Goeppert Mayer erhält zusammen mit Hans Jensen den Nobelpreis für die Entwicklung der nuklearen Schalenstruktur.
20.02.1972	Maria Goeppert Mayer stirbt an den Folgen eines zweiten Schlaganfalls.

Maria Goeppert-Mayer nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#15 Wolfgang Pauli – Ausschlussprinzip: Protonen und Neutronen besetzen jeweils unterschiedliche Quantenzustände;
#21 Eugene Wigner – Symmetrien der Atomkerne: Seine Arbeiten zu Symmetrien und Quantenzahlen lieferten wichtige Grundlagen für die Beschreibung quantenmechanischer Kernzustände.

#48 Schalenmodell des Atomkerns

Maria Goeppert Mayer, geboren am 28. Juni 1906 in Kattowitz im damaligen Deutschen Kaiserreich, heute Katowice in Polen, war eine deutsch-amerikanische Physikerin. Bekannt wurde sie durch die Entwicklung des Schalenmodells des Atomkerns.
Das Schalenmodell beschreibt Protonen und Neutronen als Nukleonen, die im mittleren Kraftfeld des Atomkerns diskrete Energiezustände besetzen. Eine vereinfachte Abschätzung ergibt sich aus der Quantisierungsbedingung $2pd = nh$. Mit der de-Broglie-Beziehung entspricht sie der Bedingung für stehende Wellen. Für ein Elektron und eine atomare Ausdehnung von etwa 0,5 nm ergibt sich eine Energieskala von einigen Elektronenvolt. Für ein Nukleon und einen Kernradius von ungefähr 5 fm erhält man dagegen Energien von mehreren Megaelektronenvolt. Die unterschiedlichen Längen- und Massenskalen erklären somit anschaulich den großen Unterschied zwischen atomaren und nuklearen Anregungsenergien.
Diese Abschätzung allein erklärt jedoch noch nicht die tatsächliche Schalenstruktur der Kerne. Goeppert Mayers entscheidende Erkenntnis war die Berücksichtigung einer starken Spin-Bahn-Kopplung. Dadurch konnte sie die besonders stabilen Kerne mit den „magischen Zahlen“ $2, 8, 20, 28, 50, 82$ und 126 erklären. Hans Jensen, Otto Haxel und Hans Suess gelangten unabhängig zu einem entsprechenden Modell.
Maria Goeppert Mayer und Hans Jensen erhielten 1963 gemeinsam eine Hälfte des Nobelpreises für Physik für ihre Entdeckungen zur Schalenstruktur der Atomkerne. Die andere Hälfte ging an Eugene Wigner für seine Beiträge zur Theorie des Atomkerns und der Elementarteilchen, insbesondere durch die Anwendung grundlegender Symmetrieprinzipien.

Goeppert-Mayers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Grundlage für moderne Kernphysik und Kernreaktionsmodelle, Kernstruktur und Stabilität von Kernen, Anwendungen in der Nuklearmedizin und Radiotherapie

#49 Sin-Itiro Tomonaga (1906 - 1979)



31.03.1906	Geboren in Tokyo, Japan
1926	Physikstudium an der Kaiserlichen Universität Kyōto
1929	Bachelorabschluss in Physik
1929 - 1931	Graduiertenstudium an der Universität Kyōto; danach wissenschaftlicher Assistent
1931	**Eintritt in das Nishina-Laboratorium (RIKEN) bei Yoshio Nishina in Tokio; Beginn der Arbeit über Quantenelektrodynamik (QED), Veröffentlichung einer Arbeit zur Photoelektronen-Paarbildung**
1937 - 1939	Forschungsaufenthalt in Leipzig bei Werner Heisenberg; Arbeit zur Kernphysik und Quantenfeldtheorie
1939	Promotion an der Universität Tokyo mit der Leipziger Arbeit „Innere Reibung und Wärmeleitfähigkeit der Kernmaterie“
1940	Entwicklung der „Intermediate Coupling Theory“ zur Mesonentheorie und Heirat mit Ryōko; das Paar bekam eine Tochter und zwei Söhne
1941	Berufung zum Professor an die Tokyo Bunrika University
1942	Erste Vorstellung der kovarianten Formulierung der Quantenfeldtheorie
1940er	Arbeiten über Mikrowellentheorie, Magnetron, Wellenleitern und Hohlraumresonatoren
1946 - 1948	Nach dem Krieg: Weiterentwicklung der Intermediate Coupling Theory und Anwendung der kovarianten QED auf physikalische Systeme. Modellrechnungen zur Divergenzproblematik in der QED.
1949	Einladung durch Robert Oppenheimer ans Institute for Advanced Study, Princeton; Forschung zu Vielteilchensystemen (kollektive Oszillationen)
1955	Veröffentlichung einer elementaren Theorie kollektiver quantenmechanischer Bewegungen; Gründung des Instituts für Kernforschung der Universität Tokio
1956 - 1962	Präsident der Tokyo University of Education
1963	Präsident des Wissenschaftsrates Japans
1965	Verleihung des Nobelpreises für Physik (zusammen mit Feynman und Schwinger) für Arbeiten zur Renormierung in der QED
08.07.1979	Gestorben in Tokyo, Japan

Shin-Ichirō Tomonaga nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie - Wellencharakter der Teilchen, der die Grundlage für Quantenfeldtheorien legte. Tomonaga musste die Wechselwirkungen von Teilchen auf Quantenebene präzise formulieren.
#16 Werner Heisenberg - Unschärferelation und Quantisierung, die für die Entwicklung von QED und deren Renormierung von entscheidender Bedeutung waren.
#24 Paul Dirac - Diracs Arbeiten zur Quantenelektrodynamik (QED) legten das theoretische Fundament, auf dem Tomonaga die renormierten Berechnungen entwickelte.

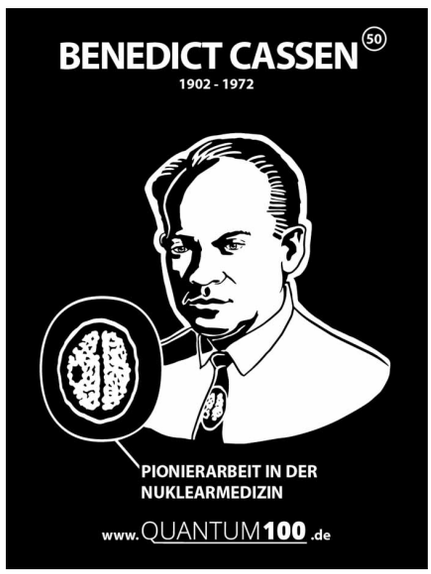
#49 Renomierung der Quantenelektrodynamik

Sin Itiro Tomonaga, geboren am 31. März 1906 in Tokio, Japan, war ein japanischer Physiker, der bedeutende Beiträge zur Quantenelektrodynamik (QED) leistete. Er ist bekannt für die Entwicklung der Renormierung, einer Methode, die es ermöglicht, die unendlichen Terme in der QED zu eliminieren und die Theorie auf eine konsistente Weise zu beschreiben.
In den 1940er und 1950er Jahren arbeitete Tomonaga an der Entwicklung der QED, einer Theorie, die Wechselwirkungen zwischen elektrischen Ladungen und dem elektromagnetischen Feld beschreibt. Er erkannte, dass die QED aufgrund der unendlichen Terme, die in der Theorie auftreten, nicht konsistent war. Physikalisch bedeutet dies, dass bei extrem kleinen Längenskalen QED nicht mehr gelten kann, sondern lediglich eine Näherung für „kleine“ Energien ist. In der Tat ist ab einer Skala von ca. 1/1000 des Protondurchmessers bzw. 100 GeV die QED nicht mehr gültig, sondern wird durch die elektroschwache Vereinigung, also eine gemeinsame Theorie von schwacher und elektromagnetischer Wechselwirkung ersetzt (mit Symmetriegruppe SU(2)xU(1)).
Während Tomonaga zunächst die Renormierung von QED entscheidend vorantrieb, hat ’t Hooft später die Renormierbarkeit des gesamten Standardmodells bewiesen, also der elektroschwachen und starken Wechselwirkung. Dennoch ist auch hier korrekt, dass die Notwendigkeit der Renormierung darauf hinweist, dass noch ein (mindestens) Baustein in der Sammlung fehlt: die Gravitation.
Shin’ichirō Tomonaga erhielt 1965 den Nobelpreis für Physik, zusammen mit Richard Feynman und Julian Schwinger, für seine Arbeiten zur Quantenelektrodynamik und der Renormierung.

Tomonagas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Präzise Berechnungen von Elektronen-Photonen-Wechselwirkungen, Standardmodell der Teilchenphysik

#50 Benedict Cassen (1902 - 1972)



13.11.1902	Geboren in New York City, USA
1920er	Studium der Mathematik und Physik Royal College of Science in London
1927	Studienabschluss in Mathematik und Physik
1930	Promotion am California Institute of Technology (Caltech) über Hochleistungs-Röntgenröhren
1930er	Tätigkeit als Physiker bei Westinghouse Research Laboratories und am Harper Hospital in Detroit
ca. 1934 – 1936	Heirat mit Mary Wylie; das Paar bekam einen Sohn
Frühe 1940er	Wechsel zur US Naval Ordnance Station in Pasadena
1947	Beginn der Tätigkeit als Forschungsphysiker imNuklearmedizin-Projekt der University of California, Los Angeles (UCLA), später Laboratory for Nuclear Medicine and Radiation Biology
1949	**Entwicklung des ersten empfindlichen gerichteten Szintillationsdetektors (Calciumtungstat-Kristalle mit Photomultiplier), der erstmals niedrige Dosen radioaktiver Substanzen im Körper nachweisen konnte**
1951	Veröffentlichung mehrerer Arbeiten über Szintillationszähler und klinische Anwendungen bei der Schilddrüsendiagnostik
1952 - 1956	Weiterentwicklung der Geräte, Einführung neuer Detektortechnologien (u.a. Thallium-aktivierte NaI-Kristalle) und Ausweitung auf die Untersuchung weiterer Organe
1950 - 1970	Aufbau und Leitung einer führenden Forschungsgruppe an der UCLA; Beratung vom Oak Ridge Institute of Nuclear Studies und Los Angeles Veterans Administration Hospital
1971	Eröffnung einer großen Zyklotron-Anlage an der UCLA unter seiner maßgeblichen Mitwirkung
01.03.1972	Gestorben in Santa Monica, Kalifornien, USA

Benedict Cassen nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Glenn Seaborg und John Livingood – Sie erzeugten und untersuchten das Radioisotop Iod-131, dessen Verteilung in der Schilddrüse Cassen mit seinem Scanner sichtbar machte.
Joseph Hamilton und Mayo Soley – Radioioddiagnostik: Ihre Untersuchungen zur Aufnahme radioaktiven Iods in die Schilddrüse lieferten die medizinische Grundlage für Cassens bildgebendes Verfahren.

#50 Pionierarbeit in der Nuklearmedizin

Benedict Cassen war ein amerikanischer Wissenschaftler, der eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der modernen Nuklearmedizin spielte. In den frühen 1950er-Jahren entwickelte er das erste bildgebende Gerät zur Darstellung radioaktiver Substanzen im menschlichen Körper – den sogenannten Rectilinear Scanner.
Mit diesem Gerät konnte man erstmals die Verteilung radioaktiver Marker, die zuvor in den Körper eingebracht wurden, sichtbar machen. Dies war ein entscheidender Schritt für die Diagnostik, da es neue Möglichkeiten eröffnete, Organfunktionen zu untersuchen und Krankheiten frühzeitig zu erkennen.
Cassens Erfindung war die Grundlage für spätere nuklearmedizinische Bildgebungsverfahren, die heute aus der medizinischen Diagnostik nicht mehr wegzudenken sind. Seine Arbeit markierte damit den Beginn einer neuen Ära in der medizinischen Bildgebung.

Cassens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Entwicklung des ersten Gamma-Scanners, Beginn der nuklearmedizinischen Bildgebung, Grundlage für PET/SPECT, Fortschritte in medizinischer Diagnostik und Therapie

#51 Deborah Jin (1968 - 2016)



15.11.1968	Geburt in Santa Clara, Kalifornien, USA. Sie wuchs als eines von drei Kindern in Indian Harbour Beach, Florida auf.
1990	Bachelor of Arts in Physik mit der Abschlussarbeit „A Condensation-Pumped Dilusion Refrigerator for Use in Cooling Millimeter Wave Bolometer Detectors“ an der Princeton University.
1994	Heirat mit John Bohn
1995	Dissertation über „Experimental Study of the Phase Diagrams of Heavy Fermion Superconductors with Multiple Transitions“
1997	Assistenzprofessorin am Departement of Physiks an der University of Colorado.
2003	**Deborah Jin und ihre Gruppe erzeugen das erste fermionische Kondensat.**
2005 - 2010	Ph.D. in Physik an der University of Chicago.
15.09.2016	Deborah Jin stirbt an Krebs in Boulder, Colorado, USA. Sie hinterlässt ihren Mann John Bohn und eine Tochter.

Deborah Jin nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#14 Satyendranath Bose - Bose-Einstein-Kondensate: Pionierarbeit über kondensierte Zustände bei Bosonen – analoger Ansatz für Fermionen.

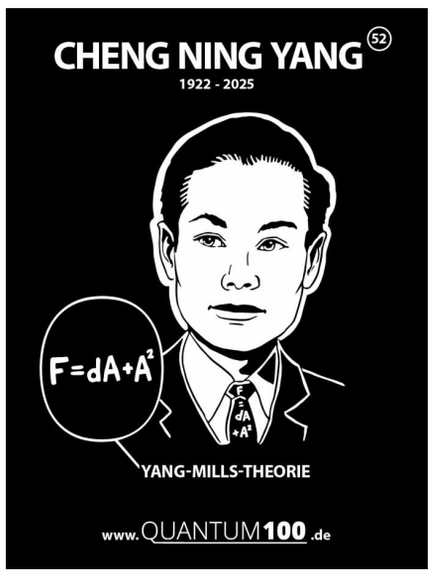
#51 Ultrakalte fermionische Kondensate

Deborah Jin war eine US-amerikanische Physikerin, die entscheidende Beiträge zur Erforschung ultrakalter Quantengase leistete. Im Jahr 2003 gelang ihr und ihrem Team erstmals die Erzeugung eines sogenannten fermionischen Kondensats – eines neuartigen Aggregatzustands, der nur unter extrem niedrigen Temperaturen entsteht.
Im Gegensatz zu Bosonen, die bei tiefen Temperaturen einen Bose-Einstein-Kondensat bilden können, gehorchen Fermionen anderen quantenmechanischen Regeln und lassen sich nicht einfach im gleichen Zustand bündeln. Jin fand jedoch einen Weg, Fermionen bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt so zu koppeln, dass sie sich wie zusammengesetzte Bosonen verhalten und ein kondensiertes Quantensystem bilden.
Diese Entdeckung war ein Meilenstein in der Quantenphysik. Sie eröffnete neue Möglichkeiten, um fundamentale Fragen zur Materie, zur Supraleitung und zu Vielteilchensystemen besser zu verstehen. Deborah Jins Arbeit trug wesentlich dazu bei, ein neues Forschungsfeld zwischen Atomphysik, Festkörperphysik und Quantenstatistik zu etablieren.

Jins Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#57 Cooper: Theorie der Supraleitung (BCS-Theorie) #97 Caroline Hahn: Wechselwirkung ultrakalter Atome mit Licht

#52 Chen Ning Yang (1922 - 2025)



01.10.1922	Geboren in Hefei, China
1937 - 1938	Umzug aus Peking nach Hefei nach der japanischen Invasion, anschließend nach Kunming; Eintritt in die National Southwestern Associated University in Kunming für das Studium der Physik
1944	Masterabschluss an der Tsinghua-Universität (in Kriegszeiten ebenfalls in Kunming angesiedelt)
1945	Tätigkeit als Lehrer an einer Mittelschule und Studium der Feldtheorie, während er auf das US-Visum wartete
1946	Beginn des Promotionsstudiums an der University of Chicago bei Edward Teller
1948	Promotion über Winkelverteilungen in Kernreaktionen und Koinzidenzmessungen
1948 - 1949	Assistent von Enrico Fermi in Chicago
1949	Wechsel ans Institute for Advanced Study in Princeton, Beginn der intensiven Zusammenarbeit mit Tsung-Dao Lee
1950	Heirat mit der Lehrerin Chih-Li Tu; das Paar bekam zwei Söhne und eine Tochter
1953 - 1954	**Entwicklung der Yang-Mills-Theorie gemeinsam mit Robert Mills**
1955	Ernennung zum Professor am Institute for Advanced Study
1956	Vorhersage der Paritätsverletzung bei der schwachen Wechselwirkung (mit Tsung-Dao Lee)
1957	Verleihung des Nobelpreises für Physik (gemeinsam mit Tsung-Dao Lee) für die Arbeiten zur Paritätsverletzung
1965	Wechsel an die Stony Brook University (New York); Ernennung zum „Albert Einstein Professor“ und Gründungsdirektor des Instituts für theoretische Physik (heute C.N. Yang Institute)
1967	Formulierung der Yang-Baxter-Gleichung
1970er	Forschung zur Topologie in der Eichtheorie
1971	Erstmalige Rückkehr nach China nach dem Zweiten Weltkrieg und Beginn der Unterstützung für die chinesische Physik-Community
1989	Wahl zum ersten Präsidenten der Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS)
1999	Emeritierung an der Stony Brook University
18.10.2025	Chen Ning Yang stirbt mit 103 Jahren in Peking, China

Chen Ning Yang nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#10 Emmy Noether - Symmetrie = Erhaltungssätze: Fundamentale Erkenntnis, dass physikalische Gesetze aus Symmetrien folgen – Basis für Yang-Mills-Theorien.
#16 Werner Heisenberg - Unschärferelation: Voraussetzung für moderne Quantentheorien und Felder.
#17 Erwin Schrödinger - Wellenmechanik: Grundlage für Feldtheorien, in denen Teilchen als Felder beschrieben werden.
#45 Julian Schwinger, #47 Freeman Dyson, #49 Shin'ichirō Tomonaga - Quantenelektrodynamik (QED): Frühere erfolgreiche Quantenfeldtheorie eines Eichfeldes (Photon) als Vorlage für Yang-Mills.

#52 Yang-Mills Theorem

Cheng-Ning Yang ist ein chinesisch-amerikanischer Physiker, der gemeinsam mit Robert Mills im Jahr 1954 einen bedeutenden theoretischen Durchbruch in der Physik erzielte. Sie entwickelten eine neue Klasse von Feldtheorien, die heute als Yang-Mills-Theorien bekannt sind. Diese beruhen auf dem Konzept lokaler Symmetrien – also der Idee, dass die Phase einer Wellenfunktion an jedem Raumpunkt anders sein kann. Diese Idee wurde erstmals von Hermann Weyl 1918 für einen bis heute hoffnungslosen Fall versucht, die Vereinigung von Elektromagnetismus und Gravitation. Ab 1929 wurde die Eichtheorie dann im passenden Kontext genutzt, zunächst für QED. Yang und Mills übertrugen dieses Prinzip auf komplexere Symmetriegruppen und legten damit das theoretische Fundament für die späteren Theorien der starken und schwachen Wechselwirkung.
Die Yang-Mills-Theorie wurde zu einem zentralen Bestandteil des Standardmodells der Teilchenphysik. Sie ermöglichte ein tieferes Verständnis der fundamentalen Kräfte in der Natur und beeinflusste die moderne theoretische Physik nachhaltig. Yangs Beitrag zeigt, wie grundlegende Symmetriekonzepte zur Beschreibung der Naturgesetze genutzt werden können.

Yangs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#65 Higgs: Vorhersage des Higgs-Teilchens, #68 Weinberg: elektroschwacher Phasenübergang, #69 t'Hooft: Renormierung vom Standardmodell, #77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen, sowie: Standardmodell der Elementarteilchenphysik

#53 Calvin Souther Fuller (1902 - 1994)



25.05.1902	Geboren in Chicago, Illinois, USA
1920 - 1922	Tätigkeit bei der General Chemical Company
1924 - 1930	Arbeit als Photograveur bei der Chicago Tribune
1920er	Chemiestudium an der University of Chicago (Bachelorabschluss 1926)
1929	Promotion in Physikalischer Chemie bei William Draper Harkins
1930	Beginn der Tätigkeit als Physikalischer Chemiker bei den Bell Laboratories in Murray Hill, New Jersey.
1932	Heirat mit Willmine Works; das Paar bekam drei Söhne
1942	Eintritt in das US-Kriegsprogramm zur Entwicklung synthetischen Kautschuks nach Unterbrechung der Naturkautschuk-Versorgung durch Japan
1945 - 1950	Forschungsberater des US-Verteidigungsministeriums
1950er	Pionierarbeit zur Herstellung von pn-Übergängen in Silizium durch Diffusion
1954	**Entwicklung der ersten funktionstüchtigen Silizium-Solarzelle („Solarbatterie“) (mit Daryl Chapin und Gerald Pearson); öffentliche Präsentation durch Bell Labs**
1955	Erster Praxistest der Solarzelle in einem Telefonträgersystem in Americus, Georgia
1958	Einsatz der Solarzellen in US-Satelliten (z.B. Vanguard I) als autonomer Energieversorger
1964	Aufnahme als Fellow in die American Association for the Advancement of Science
1967	Ruhestand nach 37 Jahren Tätigkeit bei Bell Labs; Umzug nach Vero Beach, Florida
1981	Auszeichnung mit dem Krupp-Preis
28.10.1994	Gestorben in Vero Beach, Florida, USA

Calvin Souther Fuller nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#39 Russell Ohl - Pionier der Entwicklung von Solarzellen: Entdeckte 1940 den p-n-Übergang in Silizium und seinen photovoltaischen Effekt – direkte Vorarbeit für Fuller.

#53 Pionier der Entwicklung von Solarzellen

Calvin Souther Fuller, ein amerikanischer Chemiker und Ingenieur, gilt als einer der Pioniere in der Entwicklung von Solarzellen. In den 1940er Jahren begann Fuller, sich mit der Erforschung von Halbleitermaterialien zu befassen, die für die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie verwendet werden konnten.
Fullers Forschung führte 1941 zur Entwicklung der ersten Solarzelle, die auf Basis von Silizium hergestellt wurde. Russell Ohl hatte zwar 1940 die ersten Solarzellen mit pn-Übergängen beschrieben, aber noch keine kontrollierte Herstellung hochreiner Kristalle oder gezielter Dotierungsmethoden. Russell Ohls frühe Solarzellen waren noch ineffizient (1% Wirkungsgrad), markierten aber den Beginn einer neuen Ära in der Nutzung von Solarenergie.
Die Innovation, die Fuller und sein Team eingeführten, bestand darin, dass sie Silizium, ein reichlich vorkommendes Element, mit kleinen Mengen von anderen Elementen „dotierten“, um dessen elektrische Eigenschaften zu verändern. Durch diese Dotierung konnte das Silizium in die Lage versetzt werden, Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln, was die Grundlage für die moderne Solarzelle bildet.
Fullers Pionierarbeit in diesem Bereich öffnete den Weg für weiterführende Forschung und Entwicklung, die letztendlich zu den höchst effizienten Solarzellen führte, die wir heute kennen. Seine Beiträge zur Entwicklung von Solarzellen haben nicht nur die Art und Weise, wie wir Energie gewinnen, revolutioniert, sondern auch einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung unserer Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und zur Verringerung von Umweltschadstoffen geleistet. Mit derselben Technolgie wurden auch immer effizientere halbleitervasierte pnp-Transistoren produziert. Calvin Souther Fuller bleibt somit ein wichtiger Name in der Geschichte der Solartechnologie und ein Beispiel für die Auswirkungen von innovativer Forschung auf unsere Gesellschaft.

Fullers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#81 Tang, Erfindung der organischen LED; #86 Nakamura, Erfindung der blauen LED, sowie: Stromwende, weltweit steigende Nutzung regenerativer Energiequellen

#54 Norman Ramsey (1915 - 2011)



27.08.1915	Geboren in Washington D.C.,USA
1931	Studium an der Columbia University (zunächst Ingenieurwesen, dann Mathematik)
1935 - 1936	Studium der Physik an der Universität Cambridge (Cavendish Laboratory) in England, Erwerb eines zweiten Bachelorabschlusses
1936 - 1940	Promotion bei Isidor Rabi an der Columbia University, Mitarbeit an der Entwicklung der Molekularstrahl-Magnetresonanzmethode, Mitentdeckung des Deuteron-Quadrupolmoments
1940	Heirat mit Elinor Jameson; das Paar bekam vier Töchter
1940 - 1943	Tätigkeit am MIT Radiation Laboratory; Entwicklung von Radarsystemen (Mikrowellentechnik, Magnetron-Weiterentwicklung)
1943 - 1945	Mitarbeit im Manhattan Projekt in Los Alamos: Leitung einer Gruppe mit der Aufgabe, die Konstruktion der Nuklearwaffen und deren Abwurfverfahren zu koordinieren
1945 - 1946	Rückkehr an die Columbia University als Professor, Fortsetzung der Molekularstrahlexperimente mit Rabi
1946	Mitbegründer des Brookhaven National Laboratory auf Long Island; erster Leiter des Physik-Departments
1947	Berufung als Professor an die Harvard University
1949	**Entwicklung der „Separated Oscillatory Field Method“, Grundlage für hochpräzise Frequenzmessungen und spätere Atomuhren**
1950er	Erste wissenschaftliche Beratung für NATO, Initiator zahlreicher Programme zur Förderung der europäischen Wissenschaft
1950er-1980er	Forschung zur Hyperfeinstruktur von Wasserstoff und anderen Atomen; Entwicklung des Wasserstoff-Masers und der Atomuhr; Forschung zu Neutroneneigenschaften am Institut Laue–Langevin in Grenoble (Frankreich), Beteiligung am Bau eines Elektronenbeschleunigers in Cambridge
1983	Seine Frau stirbt.
1985	Heirat mit Ellie Welch; sie brachte eine Tochter und einen Sohn mit in die Ehe
1986	Emeritierung in Harvard
1989	Verleihung des Nobelpreises für Physik für die Entwicklung der „Separated Oscillatory Fields Method“ und ihre Anwendungen
04.11.2011	Gestorben in Wayland, Massachusetts, USA

Norman Ramsey nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#41 Isidor Isaac Rabi - Rabi-Oszillationen: Ramsey verfeinerte die „Rabi-Oszillationen“.

#54 Hochpräzise Zeitmessung

Norman Ramsey hat bedeutende Beiträge zur Entwicklung von Atomuhren geleistet. Zeitmessung wird letztlich auf das Zählen periodischer Vorgänge zurückgeführt: Wenn E die Energiedifferenz zwischen zwei Zuständen eines Atoms ist, dann ist $\frac{E}{h}$ die entsprechende Frequenz. Beim Cäsium-133-Atom koppelt der Kernspin $I = \frac{7}{2}$ mit dem Elektronenspin $J = \frac{1}{2}$. Dadurch entstehen im Grundzustand die beiden Hyperfeinniveaus $F = 4$ und $F = 3$, deren Übergang mit Mikrowellen angeregt werden kann.
Ramseys Arbeit stand in der Tradition der von Otto Stern entwickelten Molekularstrahltechnik. Er übernahm sie jedoch nicht unmittelbar von Stern, sondern lernte sie ab 1936 in der Arbeitsgruppe von Isidor Rabi kennen. Rabi hatte Sterns Technik zur Molekularstrahl-Magnetresonanz weiterentwickelt. Ramsey verbesserte dieses Verfahren 1949/1950 durch seine Methode der „Separated Oscillatory Fields“: Die Atome durchlaufen zwei räumlich getrennte Mikrowellenfelder. Die dabei entstehenden Interferenzstreifen, die sogenannten Ramsey-Fringes, erlauben eine besonders genaue Bestimmung der Resonanzfrequenz.
Ramseys Methode wurde zu einer entscheidenden Grundlage der Cäsium-Atomuhr. Die erste genaue Cäsiumuhr bauten 1955 Louis Essen und Jack Parry. Seit 1967 ist die Sekunde als die Dauer von genau 9 192 631 770 Perioden der Strahlung definiert, die dem Hyperfeinübergang zwischen $F = 3$ und $F = 4$ im Grundzustand des Cäsium-133-Atoms entspricht.
Für die Erfindung der Methode der getrennten oszillierenden Felder und ihre Anwendung bei Atomuhren erhielt Ramsey 1989 eine Hälfte des Nobelpreises für Physik. Die andere Hälfte ging an Hans G. Dehmelt und Wolfgang Paul für die Entwicklung der Ionenfallentechnik.
Von 1943 bis 1945 arbeitete Ramsey am Manhattan-Projekt. Er organisierte Abwurfversuche, untersuchte die Flugstabilität der Bomben und arbeitete an der Anpassung der B-29-Bomber. Im Jahr 1945 war er auf Tinian zudem an der Endmontage der Plutoniumbombe „Fat Man“ beteiligt. Über seine persönliche moralische Bewertung ist nur wenig bekannt.

Ramseys Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

GPS (Global Positioning System)



#55 Elisabeth M. Boggs (1913 - 1996)



05.04.1913	Elizabeth Monroe wurde in Cleveland, Ohio, USA geboren
1935	Studium am Bryn Mawr College (unter anderem Mathematik); Sie war die einzige Studentin der Mathematikerin Emmy Noether
1939	Promotion in theoretischer Chemie und Mathematik an der University of Cambridge
	Mit dem Beginn des zweiten Weltkriegs musste sie in die USA zurückkehren, da ihre Kenntnisse als kriegsrelevant eingestuft wurden; Tätigkeit am Labor für physikalische Chemie an der Cornell University
1941	**Zusammen mit John G. Kirkwood entwickelte sie eine Theorie, nach der**
	ein System harter Kugeln ohne anziehende Wechselwirkung bei hinreichend hoher Dichte einen Phasenübergang von einer ungeordneten flüssigen zu einer kristallinen Phase vollzieht
1941	Elizabeth Monroe heiratet den Chemiker Fitzhugh Willets Boggs, den sie an der Cornell University kennengelernt hatte
1945	Geburt ihres einzigen Sohnes David, der nach einer Infektion eine geistige Behinderung zurückbehielt; Sie engagierte sich den Rest ihres Lebens für Menschen mit Entwicklungsstörungen und setzte sich für die Rechte geistig Behinderter ein
27.01.1996	Elisabeth Monroe Boggs stirbt an den Folgen eines Autounfalls in der Nähe von Hampton, New Jersey, USA

Elisabeth Boggs nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger – Wellenmechanik: Seine Gleichung bildete die Grundlage für Boggs' Berechnung quantenmechanischer Zustände eines zweiatomigen Molekülions.

#55 Statistische Mechanik von Phasenübergängen

Elizabeth Monroe Boggs war eine US-amerikanische Chemikerin und Aktivistin für geistig behinderte Kinder. Die Aufgabe, mit der sie 1939 von Lennard-Jones an der University of Cambridge betraut wurde (Berechnung der Schrödinger-Gleichung eines Ions bei asymmetrischer Ladungsverteilung der Atomkerne, wie zB. He/H) enthielt einen erheblichen Anteil aufwendiger numerischer Berechnungen. Frauen wurden damals häufig für solche Rechenarbeiten eingesetzt, während ihre eigenständigen wissenschaftlichen Beiträge weniger sichtbar blieben und ihre akademischen Karrieren seltener gefördert wurden. Diese Tendenz setzte sich noch lange fort. Bekannt sind beispielsweise die drei schwarze Frauen Katherine Johnson, Dorothy Vaughan und Mary Jackson, die in den 1950er bis 1960er Jahren bei der NASA als „Rechenmaschinen" im Hintergrund arbeiteten und die Flugbahnen und Trajektorien für Mercury- und Apollo-Missionen berechneten, darunter die Mondlandung 1969.
Während des Zweiten Weltkriegs arbeitete Monroe Boggs im Manhattan-Projekts in Los Alamos. Sie untersuchte Explosivstoffe und Stoßwellen und entwickelte unabhängig ein frühes Konzept für eine Sprenglinse. Ihre Arbeiten trugen damit zur Entwicklung des Bombentyps bei, der beim Trinity-Test erprobt und über Nagasaki eingesetzt wurde.
1941 heiratete sie Fitzhugh Boggs. Die Geburt ihres Sohnes David 1945, der geistig behindert war, brachte eine entscheidende Wende in ihr Leben: seit dieser Zeit engagierte sie sich für Menschen mit Entwicklungsstörungen. Sie gründete und leitete 1958 die National Association for Retarded Children (heute The A.R.C.) und wirkte in Regierungskomitees unter Präsident Kennedy sowie bei der UN an der Erklärung zu den Rechten Geistig Behinderter mit. Boggs erhielt zahlreiche Ehrungen, darunter den Kennedy International Award for Leadership und den Distinguished Public Service Award des US-Gesundheitsministeriums. Sie war Ehrenmitglied mehrerer Fachgesellschaften und Ehrendoktorin diverser Universitäten. Zu ihren Ehren wurde 1997 das Elizabeth M. Boggs Center on Developmental Disabilities benannt.

Boggs' Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Vertieftes Verständnis der statistischen Physik im Bereich von Phasenübergängen

#56 Chien-Shiung Wu (1912 - 1997)



31.05.1912	Geboren in Liuhe, Taicang, Republik China. Sie besuchte eine der ersten Schulen für Mädchen, die von ihrem Vater gegründete wurde.
1934	Abschluss in Physik an der Nationalen Universität in Nanjing.
1936	Sie zieht in die USA, um an der Universität von Kalifornien in Berkeley zu studieren.
1940	Promotion an der Universität von Kalifornien.
1942	Sie heiratet ihren chinesischen Kollegen Luke Chia-Liu Yuan, mit dem sie 1947 ihren Sohn Vincent Yuan bekommt.
1944	Lehre und Forschung an der Columbia-University in New York.
1944	Mitwirkung am Manhatten-Projekt zum Bau einer Atombombe mit Untersuchungen über Isotopentrennung durch Gasdiffusion.
1946 - 1952	Forschung zum Beta-Zerfall.
1952	Associate Professor an der Columbia-University von New York.
1956-57	**Ihr gelingt in dem nach ihr benannten Wu-Experiment der Nachweis der Paritätsverletzung bei schwachen Wechselwirkungen.** Ihre Kollegen Chen Ning Yang und Tsung-Dao Lee bekamen dafür den Nobelpreis verliehen.
1958	Ordentliche Professorin an der Columbia-University in New York.
1975	Sie wurde die erste Frau Präsidentin der American Physikal Society.
ab 1980	Nach ihrer Emeritierung lebt sie in New York.
16.02.1997	Chine-Shiung Wu stirbt an den Folgen eines Schlaganfalls. Sie wird auf eigenen Wunsch in der Schule ihres Vaters in Taicang beigesetzt.

Chien-Shiung Wu nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#10 Emmy Noether - Symmetrien und Erhaltungssätze: Vor Wu nahm man an, dass die Naturgesetze bei Spiegelungen (Parität) symmetrisch bleiben müssen – eine direkte Anwendung von Symmetrieprinzipien.
#20 John von Neumann - Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik: Wichtig, um Quantenzustände exakt zu definieren und ihre Transformationen unter Symmetrieoperationen zu verstehen.

#56 Paritätsverletzung

Chien-Shiung Wu war eine chinesisch-amerikanische Physikerin mit einem außergewöhnlichen Lebensweg. Ihr Vater Zhong-Yi Wu war Ingenieur und setzte sich nachdrücklich für die Bildung von Mädchen ein – eine damals in China noch seltene Haltung. Im Jahr 1913 gründete er in Taicang die Mingde-Schule, eine der ersten Schulen der Region, die auch Mädchen eine moderne Ausbildung ermöglichte. Die Unterstützung durch ihren Vater und ihre außergewöhnliche Begabung führten Wu über mehrere Ausbildungsstationen in China schließlich 1936 im Alter von 24 Jahren in die USA. Damals konnte sie nicht ahnen, dass der Zweite Weltkrieg den Kontakt zu ihrer Familie für viele Jahre unterbrechen würde.
Wu leistete entscheidende Beiträge zur Kernphysik und insbesondere zur Erforschung des Beta-Zerfalls. In dem Ende 1956 durchgeführten und 1957 veröffentlichten Wu-Experiment wies sie nach, dass die Parität bei der schwachen Wechselwirkung nicht erhalten bleibt.
Während des Manhattan-Projekts arbeitete Wu in den Substitute Alloy Materials Laboratories an der Columbia University. Dort entwickelte sie Strahlungsdetektoren und Messverfahren für das Gasdiffusionsprojekt zur Anreicherung von Uran-235. Ihre früheren Untersuchungen an radioaktivem Xenon halfen außerdem bei der Erklärung der unerwarteten Leistungsschwankungen des Kernreaktors in Hanford.
Der Nobelpreis für Physik wurde 1957 Chen Ning Yang und Tsung-Dao Lee für ihre theoretische Untersuchung der Paritätsgesetze verliehen. Wu, deren anspruchsvolles Experiment den entscheidenden Nachweis der Paritätsverletzung erbracht hatte, wurde nicht in den Preis einbezogen. Diese Entscheidung wurde später von zahlreichen Physikern kritisiert. Oppenheimer soll sich dafür ausgesprochen haben, dass Wu den Preis hätte teilen sollen; Lee und Yang würdigten ihren Beitrag und nominierten sie später für einen Nobelpreis.

Wus Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Standardmodell der Elementarteilchenphysik, insbesondere elektroschwache Theorie



#57 Leon Cooper (1930 - 2024)



28.02.1930	Geboren als Leon N. Kupchik in der Bronx, New York City, USA; Familienname wird später von Kupchik zu Cooper geändert
1940er - 1950er	Besuch der Bronx High School of Science, anschließendes Studium an der Columbia University (Bachelor 1951, Master 1953)
1953	Heirat mit Martha Kennedy; das Paar bekam zwei Töchter; die Ehe wurde nach einigen Jahren einvernehmlich geschieden
1954	Promotion in Physik
1954 - 1955	NSF Postdoctoral Fellow am Institute for Advanced Study, Princeton
1955 - 1957	Research Associate an der University of Illinois
1956	Veröffentlichung des Konzepts der Cooper-Paare (Grundlage der Supraleitungstheorie)
1957	Assitenzprofessor an der Ohio State University
1957	**Veröffentlichung der BCS-Theorie mit Bardeen und Schrieffer**
1958	Berufung an die Brown University, Providence
1969	Heirat mit Kay Allard
1966 - 1974	„Henry Ledyard Goddard University“ - Professor an der Brown University
1972	Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit John Bardeen und John Robert Schrieffer) für die Entwicklung der BCS-Theorie
1974	Ehrendoktor der University of Illinois und der Brown University
1975	Mitgründer der Firma Nestor Inc. zur Entwicklung neuronaler Netzwerke
1982	Veröffentlichung der BCM-Theorie zur synaptischen Plastizität
23.10.2024	Gestorben in Providence, Rhode Island, USA

Leon Cooper nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#9 Max Planck - Quantisierung: Grundlegendes Verständnis der Energiezustände.
#15 Wolfgang Pauli - Pauli-Prinzip: Fermionen (z.B. Elektronen) können nicht denselben Quantenzustand besetzen – wichtig für das Verhalten normaler Elektronen und ihre Korrelationen in der Supraleitung.
#17 Erwin Schrödinger - Wellenfunktion: Elektronenpaarungen (Cooper-Paare) müssen über eine gemeinsame Wellenfunktion beschrieben werden.

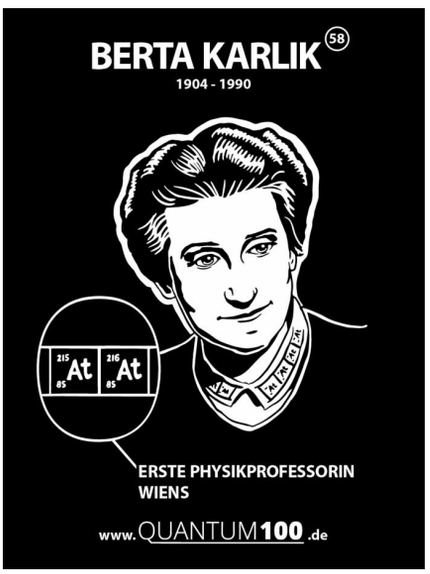
#57 Theorie der Supraleitung

Leon Cooper, ein amerikanischer Physiker, spielte eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der BCS-Theorie, einer Theorie, die das Phänomen der Supraleitung erklärt. Supraleitung bezeichnet den Zustand, in dem bestimmte Materialien bei sehr niedrigen Temperaturen ihren elektrischen Widerstand vollständig verlieren und somit Strom ohne jede Verlustleistung leiten können.
Die BCS-Theorie, benannt nach ihren Entwicklern Bardeen, Cooper und Schrieffer, erklärt die Supraleitung durch die Bildung von sogenannten Cooper-Paaren. Diese Paare bestehen aus zwei Elektronen, die trotz ihrer gegenseitigen Abstoßung, aufgrund der gemeinsamen, resonanten Wechselwirkung mit den Schwingungen des Kristallgitters, eine Art „Verbund“ eingehen. Da der Gesamtspin dann null ist, können alle Cooper-Paare ähnliche wie die Bose-Einstein-Kondensate einen gemeinsamen Grundzustand einnehmen. Es gibt dann nur eine gemeinsame Wellenfunktion; Streuprozesse und Stöße mit dem Kristallgitter, die sonst zu ohmschem Widerstand und Wärmeverlusten führen, treten dann nicht mehr auf.
Leons Arbeit auf diesem Gebiet, insbesondere seine Erkenntnis über die Bildung von Cooper-Paaren, war ein entscheidender Schritt zum Verständnis der Supraleitung. Allerdings sind noch viele Fragen offen geblieben, insbesondere bei der theoretischen Beschreibung von Hochtemperatur-Supraleitern.

Coopers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#62 Josephson: supraleitender Tunnelkontakt, #80 Bednorz: Hochtemperatursupraleiter, #87 Zimmerman: Erfinder des SQUID

#58 Berta Karlik (1904 - 1990)



24.01.1904	Geboren in Wien, Österreich-Ungarn.
1923	Reifeprüfung am Mädchengymnasium in Wien.
1927	Dissertation an der Universität Wien „Über die Abhängigkeit der Szintillationen von der Beschaffenheit des Zinksulfids des Wesens des Szintiollationsvorgangs“.
1929	Studienaufenthalte mithilfe eines Stipendiums London und Paris
1933	Wissenschaftliche Hilfskraft an der Universität Wien.
1936	Habilitation über „die Grenzen der Nachweisbarkeit der schweren Edelgase in Helium“
ab 1937	Lehrerlaubnis und sie hielt regelmäßige Vorlesungen an der Universität Wien.
1940	Assistentin an der Universität Wien.
1942	Diätendozentin an der Universität Wien. In den folgenden Jahren gelang ihr gemeinsam mit ihrer Kollegin Traude Bernert der Nachweis der Isotope 215, 216 und 218 des Elements 85 (Astat) in den natürlichen Zerfallsreihen.
ab 1945	Provisorische, später definitive Leiterin des Radiuminstituts und damit verantwortlich für den Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg.
1950	Ernennung zur außerordentlichen Professorin an der Universität Wien.
1956	**Ernennung zur ersten ordentlichen Professorin an der Universität Wien.**
1973	Berta Karlik wird als erste Frau zum vollwertigen Mitglied der Akademie der Wissenschaften gewählt.
ab 1974	Nach ihrer Emeritierung widmete sie sich administrativen Aufgaben, der Betreuung von Diplomanten und Dissertanten sowie der Leitung „ihres“ Instituts.
04.02.1990	Berta Karlik stirbt in Wien, Österreich.

Berta Karlik nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#8 Marie Skłodowska-Curie - Pionierin der Radioaktivitätsforschung: Grundverständnis von Zerfallsprozessen und Strahlung.

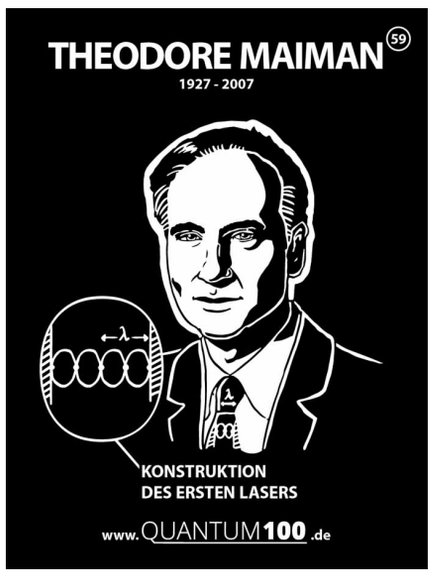
#58 Erste Physikprofessorin Wiens

Berta Karlik, eine österreichische Physikerin, war eine Pionierin in ihrem Fach und eine Vorreiterin für Frauen in der Wissenschaft. Im Jahr 1937 habilitierte sie an der Universität Wien und wurde damit die erste Professorin für Physik an dieser renommierten Institution.
Karliks Forschungsschwerpunkt lag auf dem Gebiet der Kernphysik, insbesondere der Radioaktivität und der Erforschung von Isotopen. Ihre Arbeiten trugen wesentlich zum Verständnis der Struktur von Atomkernen und der Prozesse, die bei radioaktiven Zerfällen ablaufen, bei.
Gemeinsam mit ihrer Kollegin Traude Bernert gelang Karlik noch während des Zweiten Weltkriegs der Nachweis der Isotope 215, 216 und 218 des Elements 85 (Astat) in den natürlichen Zerfallsreihen von Uran-235 (Actinium-Reihe), Thorium-232 (Thorium-Reihe) und Uran-238 (Uran-Radium-Reihe) – ein Höhepunkt in Karliks Forschungstätigkeit.
Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde Berta Karlik zur provisorischen Leiterin des Radiuminstituts ernannt und trug die Verantwortung für dessen Wiederaufbau. Gemeinsam mit Ilse Knapitsch und Lore Antoine setzte sie sich zudem für die Neugründung des Verbandes der Akademikerinnen Österreichs ein. 1947 übernahm sie endgültig die Leitung des Instituts, 1950 wurde sie außerordentliche Professorin, und 1956 erhielt sie als erste Frau überhaupt ein Ordinariat an der Universität Wien.

Karliks Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#22 Quimby: Nuklearmedizin, #50 Cassen: Nuklearmedizin, sowie: Präzisionsmessungen an Astat-Isotopen sowie die Entwicklung gezielter Krebstherapien

#59 Theodore Maiman (1927 - 2007)



11.07.1927	Geboren in Los Angeles, Kalifornien, USA
1944 - 1945	Tätigkeit als Junioringenieur bei der National Union Radio Company mit 17 Jahren; anschließend einjähriger Dienst in der US Navy am Ende des Zweiten Weltkriegs
1940er-1950er	Studium der Ingenieurwissenschaften an der University of Colorado und an der Stanford University
1950	Bachelorabschluss in „Engineering Physics“ an der University of Colorado
1951	Masterabschluss in Elektrotechnik an der Stanford University
1955	Promotion in Physik an der Stanford University unter Willis Lamb mit Arbeiten zur Feinstruktur angeregter Heliumatome
1956	Beginn der Tätigkeit bei Hughes Aircraft Company (später Hughes Research Laboratories) in Kalifornien; Entwicklung eines verkleinerten Rubin-Lasers für das US Army Signal Corps und Heirat mit Shirley Rich; das Paar bekam eine Tochter; die Ehe wurde geschieden
1959	Beginn der eigenständigen Laserforschung bei Hughes mit einem Etat von 50.000 US-Dollar
16.05.1960	**Konstruktion des ersten funktionierenden Lasers (Rubinlaser) in Malibu, Kalifornien, gemeinsam mit Charles Asawa**
1961	Verlassen von Hughes; Eintritt bei Quantatron als Vizepräsident des Applied Physics Laboratory
1962	Gründung der Korad Corporation zur Entwicklung und Produktion hochleistungsfähiger Rubinlaser
1967	Erhalt des US-Patents Nr. 3,353,115 für das „Ruby Laser System“
1968	Verlassen von Korad nach Übernahme durch Union Carbide; Gründung von Maiman Associates
1971	Gründung der Laser Video Corporation
1976 - 1983	Vizepräsident für Advanced Technology bei TRW Electronics
1980	Aufnahme in die National Academy of Sciences
1984	Aufnahme in die National Inventors Hall of Fame und Heirat mit Kathleen McCormick
2000	Unterzieht sich in München erfolgreich einer Operation mit Lasertechnik - Anwendung seiner eigenen Erfindung
05.05.2007	Gestorben in Vancouver, Kanada

Theodore Maiman nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger - Quantentheorie der Materie: Erlaubt die Beschreibung angeregter Zustände in Lasermaterialien.
#41 Isidor Rabi - Rabi-Oszillation: Kontrolle von Quantenzuständen – wichtig für das gezielte Anregen und Entladen von Atomen.

#59 Konstruktion des ersten Lasers

Theodore Maiman, einem amerikanischen Physiker und Ingenieur, gelang am 16. Mai 1960 bei den Hughes Research Laboratories in Kalifornien ein bahnbrechender Durchbruch: Er nahm den ersten funktionsfähigen Laser in Betrieb.
Maimans Laser verwendete einen kleinen Stab aus synthetischem Rubin, der von einer spiralförmigen Xenon-Blitzlampe umgeben war. Das intensive Licht der Lampe regte die Chrom-Ionen im Rubin an und erzeugte eine Besetzungsinversion. Durch den von Albert Einstein beschriebenen Prozess der stimulierten Emission entstanden Photonen gleicher Frequenz, Phase und Ausbreitungsrichtung. Zwischen den verspiegelten Endflächen des Rubinstabs wurde das Licht verstärkt. Durch einen teilweise durchlässigen Spiegel trat schließlich ein kurzer, kohärenter roter Lichtpuls mit einer Wellenlänge von ungefähr 694 nm aus. Maimans Erfolg war besonders bemerkenswert, weil viele Fachleute Rubin für ein ungeeignetes Lasermedium hielten. Er zeigte jedoch, dass sich mit einer ausreichend intensiven Blitzlampe die notwendige Besetzungsinversion erzeugen ließ, und kam damit mehreren konkurrierenden Forschungsgruppen zuvor.
Laser werden heute unter anderem in der Medizin, der industriellen Materialbearbeitung, der Glasfaserkommunikation, der Spektroskopie, der Kernfusionsforschung, bei LiDAR-Messungen, zur Zielmarkierung, in der Holographie sowie in CD-, DVD- und Blu-ray-Geräten eingesetzt.
Maiman bezeichnete den zunächst noch anwendungsarmen Laser später als „a solution looking for a problem“. Heute ist die Lasertechnik nahezu allgegenwärtig. Im Jahr 2017 erklärte die UNESCO den 16. Mai zum International Day of Light, der 2018 erstmals begangen wurde. Das Datum erinnert an die Inbetriebnahme des ersten Lasers durch Maiman.

Maimans Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#63 Patel: Industrielaser, #79 Strickland: Ultrakurzzeitlaser, #98 L’Huillier: Attosekunden-Laserpulse

#60 Yōichirō Nambu (1921 - 2015)



18.01.1921	Geboren in Tokyo, Japan
1930er	Besuch der First Higher School Ichikō, Vorbereitung auf das Studium an einer Eliteuniversität
1942	Abschluss des Bachelor of Science in Physik an der Universität Tokio; anschließend Einberufung in die Armee
1942 - 1945	Militärdienst als technischer Leutnant; Arbeit an Kurzwellentechnologie und Radarforschung
1945	Heirat mit Chieko Hida; das Paar bekam einen Sohn
1945 - 1949	Tätigkeit an der Universität Tokio, beeinflusst von Tomonaga und Kubo; Forschung in der Quantenfeld- und Festkörperphysik
1949	Associate Professor an der Osaka City University
1950	Beförderung zum ordentlichen Professor im Alter von 29 Jahren
1952	Einladung an das Institute for Advanced Study in Princeton
1954	Wechsel an die University of Chicago
1958	Beförderung zum ordentlichen Professor an die University of Chicago
1960	**Formulierung der Theorie der spontanen Symmetriebrechung**
1961	Entwicklung des Nambu-Jona-Lasinio-Modells zur dynamischen Massenerzeugung
1964	Mathematischer Beweis des Goldstone-Theorems; Einführung der Nambu-Goldstone-Bosonen
1965	Veröffentlichung eines Modells zur Farbladung in der Quarktheorie (mit Moo-Young Han)
1970er	Interpretation des Dualen Resonanzmodells als quantisierte Strings; Grundsteinlegung der Stringtheorie; Einführung der Nambu-Goto-Wirkung
1973	Entwicklung der Nambu-Mechanik als Verallgemeinerung der Hamiltonschen Mechanik
1994	Gastprofessor an der Ritsumeikan-Universität und akademischer Berater der Ritsumeikan Asia Pacific University
1996	Erster Ehrendoktor der Universität Osaka
2008	Auszeichnung mit dem Nobelpreis für Physik für die Entdeckung des Mechanismus der spontanen Symmetriebrechung
2011	Rückkehr nach Japan
05.07.2011	Gestorben in Osako, Japan

Yōichirō Nambu nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#52 Cheng-Ning Yang - Yang-Mills-Theorie: Beschreibung von Eichsymmetrien, die später spontan gebrochen werden können.

#60 Spontane Symmetriebrechung

Nambus Forschung steht in der Entwicklungslinie der sogenannten Eichinvarianz. Hermann Weyl erkannte 1929, dass die Phase einer quantenmechanischen Wellenfunktion an jedem Ort frei gewählt werden kann, ohne die beobachtbare Physik zu verändern. Diese lokale Phaseninvarianz erfordert ein elektromagnetisches Eichfeld und führt zur minimalen Kopplung zwischen Licht und Materie. Sie wurde zur Grundlage der Quantenelektrodynamik.
Yang und Mills verallgemeinerten das Eichprinzip 1954 auf mehrdimensionale Symmetriegruppen und schufen damit die Grundlage zur Beschreibung der schwachen und starken Wechselwirkung. Allerdings erlaubt eine unveränderte Eichsymmetrie zunächst keine Massenterme für Eichbosonen, obwohl die W- und Z-Bosonen der schwachen Wechselwirkung eine große Masse besitzen.
Nambu zeigte 1960, dass die Gleichungen eines Systems symmetrisch sein können, obwohl sein Grundzustand diese Symmetrie nicht besitzt. Man spricht von spontaner Symmetriebrechung. Als Analogie dient ein Ferromagnet: Unterhalb der Curie-Temperatur richten sich die magnetischen Momente in einer bestimmten Richtung aus. Die Naturgesetze bleiben rotationssymmetrisch, der gewählte Grundzustand ist es nicht.
Nambu übertrug dieses aus der Supraleitung bekannte Prinzip auf die Teilchenphysik und insbesondere auf die chirale Symmetrie der starken Wechselwirkung. Seine Arbeiten führten zum Konzept der Nambu-Goldstone-Bosonen und wurden zu einer wichtigen Grundlage des Higgs-Mechanismus. Bei diesem erhalten die W- und Z-Bosonen durch ihre Kopplung an das Higgs-Feld Masse, während das Photon masselos bleibt. Nambu erhielt dafür 2008 die Hälfte des Nobelpreises für Physik.

Nambus Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#65 Higgs: Vorhersage des Higgs-Teilchens, #68 Weinberg: elektroschwacher Phasenübergang, #77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen



#61 Nick Holonyak (1928 - 2022)



03.11.1928	Geboren in Zeigler, Illinois, USA
1940er	Arbeit bei der Illinois Central Railroad, Entscheidung für ein Studium
1950	Bachelorabschluss in Elektrotechnik an der University of Illinois
1951	Masterabschluss in Elektrotechnik an der University of Illinois
1954	Promotion bei John Bardeen an der University of Illinois; Arbeit bei Bell Laboratories
1955	Heirat mit Kathrine Rode Jerger
1955 - 1957	Dienst beim U.S. Army Signal Corps.
1957 - 1963	Wissenschaftler im Advanced Semiconductor Laboratory von General Electric (GE)
1962	**Entwicklung der ersten sichtbaren Leuchtdiode (rote LED); zudem erste Laserdioden im sichtbaren Bereich**
1963	Berufung als Professor an die University of Illinois
1970er	Demonstration von Lasereffekten in Halbleiterlegierungen
1977	Entwicklung des ersten „Quantum-Well-Lasers“ mit seinen Studenten
1993	Ernennung zum John Bardeen Endowed Chair Professor für Elektrotechnik, Informatik und Physik
2004	Entwicklung des Transistorlasers gemeinsam mit Milton Feng
2013	Emeritierung von der University of Illinois
18.09.2022	Gestorben in Urbana, Illinois, USA

Nick Holonyak nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#39 Russell Ohl, Pionier der Entwicklung von Solarzellen

#42 John Bardeen - Erfindung des Transistors: Erster praktischer Einsatz von Halbleitern – Halbleitertechnik war nötig für die Entwicklung von LEDs.

#61 Erfinder der LED

Nick Holonyak Jr., ein amerikanischer Ingenieur und Physiker, hat mit seiner Erfindung der lichtemittierenden Diode (LED) im Jahr 1962 eine Revolution in der Beleuchtungstechnologie ausgelöst. Holonyaks Durchbruch kam, als er an der General Electric Company (GE) arbeitete und nach Möglichkeiten suchte, die Effizienz von Dioden zu verbessern.

Die von Holonyak entwickelte LED war das erste Gerät, das sichtbares Licht emittierte, wenn elektrischer Strom hindurch geleitet wurde. Im Gegensatz zu herkömmlichen Glühbirnen, die Licht durch Erhitzen eines Filaments erzeugen, wandelt die LED elektrische Energie direkt in Licht um, was sie wesentlich effizienter und langlebiger macht.

Holonyaks Erfindung basierte auf der Verwendung von Galliumphosphid (GaP), einem Halbleitermaterial, das er mit anderen Elementen kombinierte, um die gewünschten optischen Eigenschaften zu erreichen. Durch diese Kombination konnte er eine Diode schaffen, die bei der Anwendung eines elektrischen Stroms sichtbares rotes Licht emittierte.

Die Bedeutung von Holonyaks Erfindung kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. LEDs haben heute eine Vielzahl von Anwendungen, von einfachen Anzeigen und Displays bis hin zu hochleistungsfähigen Beleuchtungssystemen in der Industrie, im Transportwesen und in privaten Haushalten. Ihre Effizienz und Langlebigkeit machen sie zu einer umweltfreundlichen Alternative zu traditionellen Beleuchtungsmethoden.

Holonyak sagte früh voraus, dass LEDs Glühlampen ersetzen würden.

Holonyaks Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#81 Tang: Erfindung der organischen LED, #86 Nakamura: Erfindung der blauen LED

#62 Brian Josephson (1940 -)



04.01.1940	Geboren in Cardiff, Wales, Großbritannien
1957	Beginn des Studiums an der University of Cambridge (Trinity College); zunächst Mathematik, später Wechsel zur Physik
1960	Bachelorabschluss in Cambridge
1962	**Theoretische Vorhersage des Joseph-son-Effekts im Rahmen der Doktorarbeit (Supraleitender Tunnelkontakt)**
1964	Masterabschluss und Promotion in Cambridge
1965 - 1966	Forschungsaufenthalt an der University of Illinois
1967	Assistant Director of Research am Cavendish Laboratory, University of Cambridge
1970	Wahl zum Fellow der Royal Society; NSF-Fellowship an der Cornell University
1971	Beginn mit Transzendentaler Meditation
1972	Ernennung zum Reader in Physics an der University of Cambridge
1973	Nobelpreis für Physik für die theoretische Beschreibung des Josephson-Effekts
1974	Berufung zum Professor für Physik in Cambridge
1975	Gastprofessur an der Maharishi European Research University (Niederlande)
1976	Heirat mit Carol Anne Olivier; das Paar hat eine Tochter
1978	Mitorganisator eines Symposiums zu Bewusstsein und Physik in Cambridge
ab 1980	Engagement für parapsychologische Forschung, Bewusstsein, Quantenmystik
1996	Gründung des „Mind–Matter Unification Project“ am Cavendish Laboratory
2002	Aussage in Physics World: Paranormale Phänomene als mögliche Erscheinungen organisierter Quantensysteme
2007	Emeritierung als Professor in Cambridge

Brian Josephson nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#57 Leon Cooper - Theorie der Supraleitung (Cooper-Paare): Grundlage dafür, dass Elektronenpaare sich kollektiv und verlustfrei bewegen können.

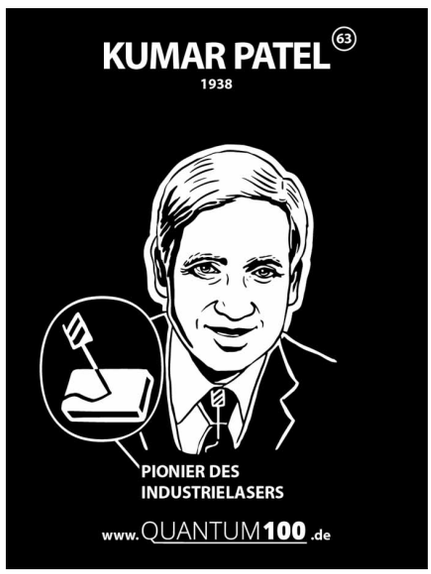
#62 Supraleitender Tunnelkontakt

Brian David Josephson, ein britischer Physiker, hat mit seiner Entdeckung der Josephson-Junction im Jahr 1962 einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung der Supraleitung und der Quantenphysik geleistet. Die Josephson-Junction ist ein Bauelement, das aus zwei supraleitenden Materialien besteht, die durch eine dünne Isolatorschicht getrennt sind.
Josephsons Entdeckung basierte auf der Beobachtung, dass bei bestimmten Bedingungen ein supraleitender Strom durch die Isolatorschicht tunneln kann. Sogar ohne äußere Spannung fließt ein konstanter Strom, der nur von der Phasendifferenz der Wellenfunktionen der beiden Supraleiter abhängt. Legt man eine äußere Spannung an, ergibt sich ein periodisch oszillierender Strom, wobei die Oszillationsfrequenz von der Spannung abhängt.
Natürlich ist hier wieder das Planck'sche Wirkungsquantum am Werk: eV ist eine Energie, also ist eV/h eine Frequenz. Bei Supraleitern sind Cooper-Paare mit Ladung $2e$ die elementaren Anregungen, bei $1V$ entspricht dies der Frequenz $f = 2eV/h$, also $4,835 \times 10^{14}$ Hz. Da die Naturkonstanten e und h im Internationalen Einheitensystem seit 2019 festgelegte exakte Werte besitzen, ermöglichen Josephson-Spannungsnormale eine äußerst genaue praktische Realisierung des Volt. Brian Josephson erhielt 1973 den Nobelpreis für Physik für seine Vorhersage des Josephson-Effekts. Seit Ende der 1970iger Jahre widmete er sich allerdings Themen wie dem Zusammenhang von Bewusstsein und Quantenphysik sowie Parapsychologie.

Josephsons Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#87 Zimmerman: Erfindung des SQUID, sowie: Quantencomputer auf SQUID-Basis - IBM verwendet z.B. supraleitende Transmon-Qubits und SQUID-basierte abstimmbare Koppler

#63 Kumar Patel (1938 -)



02.07.1938	Geboren in Baramati, Indien
1950er	Studium der Elektrotechnik (Telekommunikation) am College of Engineering, University of Pune
1958	Bachelorabschluss in Elektrotechnik (Telekommunikation) am College of Engineering
1959	Master-Abschluss in Elektrotechnik an der Stanford University
1961	Promotion in Elektrotechnik an der Stanford University; Eintritt bei Bell Laboratories
1960er	Heirat mit Shela (Nachname unbekannt); das Paar hat zwei Töchter
1963	Entdeckung der Laserwirkung bei Rotations-Schwingungs-Übergängen von CO_2
1964	**Entwicklung des ersten leistungsstarken kontinuierlichen Kohlendioxidlasers (CO_2-Laser)**
1967	Leiter der Abteilung „Infrared Physics and Electronic Research“ bei Bell Labs
1969	Entwicklung des ersten abstimmbaren Infrarotlasers (Spin-Flip Raman Laser) mit Earl D. Shaw
1970	Leitung des „Electronic Research Department“ bei Bell Labs
1976 - 1980	Leitung des „Physical Sciences Laboratory“ bei Bell Labs
1985 - 1993	Mitglied im Board of Trustees von AT&T
1993	Wechsel an die University of California, Los Angeles (UCLA) als Vizekanzler für Forschung
ab 2000	Professor für Physik und Adjunct Professor für Elektrotechnik an der UCLA
1996	Verleihung der National Medal of Science durch US-Präsident Bill Clinton
2018	Ehrenmitglied der American Laser Study Club; Namensgebung eines Preises zu seinen Ehren (2019)

Kumar Patel nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#59 Theodore Maiman - Erster funktionierender Laser (Rubinlaser): Zeigte die Machbarkeit von stimulierter Emission und Laserbetrieb.

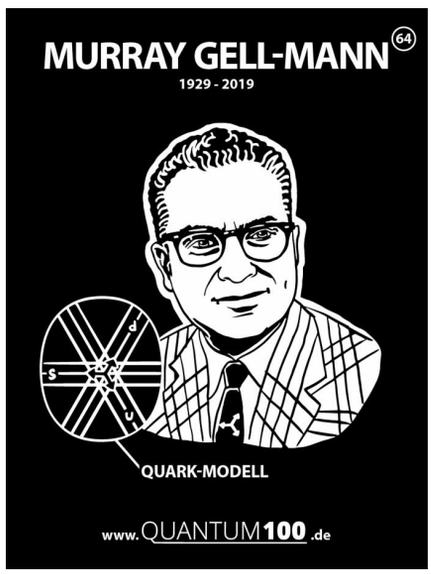
#63 Pionier des Industrielasers

Kumar Patel, ein indisch-amerikanischer Physiker und Ingenieur, gilt als einer der Pioniere in der Entwicklung von Industrielasern. In den 1960er Jahren begann Patel, sich mit der Erforschung von Lasern zu befassen, die für industrielle Anwendungen geeignet waren.
Patels Forschung führte 1966 zur Entwicklung des ersten CO_2-Lasers, der für industrielle Zwecke geeignet war. Dieser Laser war nicht nur leistungsfähiger als seine Vorgänger, sondern auch deutlich kompakter und kostengünstiger. Durch die Verwendung von Kohlendioxid (CO_2) als aktives Medium konnte Patel einen Laser entwickeln, der bei einer Wellenlänge von 10,6 Mikrometern arbeitete, ideal für die Materialbearbeitung.
Die Entwicklung des CO_2-Lasers durch Patel revolutionierte die industrielle Fertigung. Plötzlich war es möglich, Materialien wie Metalle, Kunststoffe und Keramik mit hoher Präzision und Geschwindigkeit zu bearbeiten. Die Anwendungen reichten von der Schneidung und Bearbeitung von Werkstücken bis hin zur Herstellung von feinen Strukturen in der Elektronikindustrie.
Heute sind CO_2-Laser in vielen Bereichen der Industrie unverzichtbar, von der Automobilindustrie bis zur Medizin. Kumar Patels Pionierarbeit auf diesem Gebiet hat nicht nur die industrielle Fertigung revolutioniert, sondern auch zu neuen Möglichkeiten in der Materialbearbeitung und -verarbeitung geführt.

Patels Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Entwicklung leistungsstarker CO_2-Industrielaser zum präzisen Schneiden, Schweißen und Gravieren von Materialien

#64 Murray Gell-Mann (1929 - 2019)



15.09.1929	Geboren in New York City, USA
1944 - 1948	Studium der Physik an der Yale University mit Bachelorabschluss
1951	Promotion am Massachusetts Institute of Technology (MIT) bei Victor Weisskopf („Coupling strength and nuclear reactions“)
1951	Postdoc am Institute for Advanced Study, Princeton
1952 - 1953	Gastprofessor an der University of Illinois
1954 - 1955	Gastprofessor an der Columbia University und außerordentlicher Professor an der University of Chicago
1955	Berufung ans California Institute of Technology (Caltech), dort bis zur Emeritierung 1993 tätig und Heirat mit der Britin J. Margaret Dow; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1958 - 1959	Forschungsaufenthalt am Collège de France
1958	Mit Richard Feynman: Entwicklung der V-A-Theorie (schwache Wechselwirkung)
1961	Entwicklung des „Eightfold Way“ zur Klassifikation von Hadronen (parallel zu Yuval Ne'eman)
1962	Einführung der „current algebra“ zur Beschreibung von Symmetrien in der Teilchenphysik
1964	**Entwicklung des Quark-Modells (mit den Quark-Typen up, down, strange); Namensgebung inspiriert von James Joyce**
1969	Verleihung des Nobelpreises für Physik für Beiträge zur Klassifikation der Elementarteilchen
1972	Einführung des Farbladungsbegriffs (color) der Quarks mit Harald Fritzsch; Besuch am CERN
1970er	Mitbegründer der Quantenchromodynamik (QCD); Mitwirkung an Grand Unified Theories (GUT) und Seesaw-Mechanismus.
ab 1980	Unterstützung und Mitentwicklung der Supergravitation, Kaluza-Klein- und Stringtheorie
1981	Seine Frau verstirbt an Krebs
1984	Mitbegründung des Santa Fe Institute zur Erforschung komplexer Systeme
1990er	Entwicklung der „decoherent histories“ -Interpretation der Quantenmechanik (mit James Hartle)
1992	Heirat mit Lyrikerin und Hochschullehrerin Marcia Southwick; sie bringt einen Sohn mit in die Ehe; diese Ehe wurde nach einigen Jahren geschieden
1994	Veröffentlichung des populärwissenschaftlichen Buchs „The Quark and the Jaguar“
24.05.2019	Gestorben in Santa Fe, New Mexico, USA

Murray Gell-Mann nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#16 Werner Heisenberg – Isospin: Seine Beschreibung von Proton und Neutron als zwei Zuständen eines Nukleons bildete einen Ausgangspunkt für die Erweiterung der Isospinsymmetrie zur SU(3)-Flavoursymmetrie.
#21 Eugene Wigner – Symmetrien und Gruppentheorie: Seine Anwendung der Gruppentheorie auf Quantensysteme bereitete die systematische Klassifikation von Teilchen anhand ihrer Symmetrieeigenschaften vor.

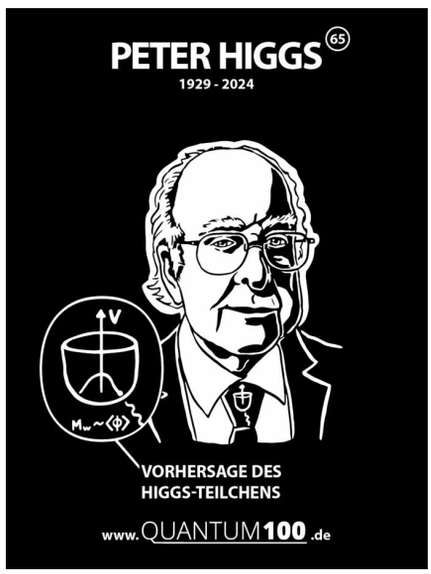
#64 Quark-Modell

Murray Gell-Mann leistete mit der systematischen Klassifikation der Hadronen und der Entwicklung des Quarkmodells grundlegende Beiträge zur modernen Teilchenphysik. In den 1950er und frühen 1960er Jahren war eine große Anzahl neuer Teilchen entdeckt worden. Gell-Mann und, unabhängig von ihm, Yuval Ne'eman ordneten diese Teilchen mithilfe der Symmetriegruppe $SU(3)$ zu sogenannten Multipletts. 1964 schlug Gell-Mann eine mögliche Erklärung für diese Ordnung vor. Fast gleichzeitig entwickelte George Zweig ein vergleichbares Modell. Danach lassen sich die damals bekannten Hadronen aus drei grundlegenden Bausteinen zusammensetzen. Gell-Mann nannte sie Quarks und unterschied zunächst drei Arten: Up-, Down- und Strange-Quarks. Sie besitzen ungewöhnliche elektrische Ladungen von $+2/3$ (u) beziehungsweise $-1/3$ (d) der Elementarladung. So ergibt sich ein Proton aus der Kombination uud, das Neutron als udd. Baryonen bestehen in diesem einfachen Modell aus drei Quarks, Mesonen aus einem Quark und einem Antiquark. Beide Teilchenklassen werden unter dem Oberbegriff „Hadronen“ zusammengefasst.
Gell-Mann äußerte sich zunächst zurückhaltend zur Frage, ob Quarks tatsächlich als frei existierende physikalische Teilchen aufzufassen seien. Bei Streuexperimenten am Stanford Linear Accelerator Center wurden seit 1968 punktartige Bestandteile im Inneren von Protonen und Neutronen nachgewiesen. Diese Bestandteile wurden zunächst als „Partonen“ bezeichnet und erst im Zusammenspiel mit weiteren experimentellen und theoretischen Ergebnissen mit Quarks identifiziert. In den frühen 1970er Jahren entstand schließlich die Quantenchromodynamik als Theorie der starken Wechselwirkung und beschreibt, weshalb Quarks nicht einzeln beobachtet werden („Confinement“).
Gell-Mann erhielt 1969 den Nobelpreis für Physik für seine Beiträge und Entdeckungen zur Klassifikation der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen.

Gell-Manns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#84 Maskawa: Vorhersage des Top-Quarks, sowie: Standardmodell der Elementarteilchenphysik, insbesondere QCD

#65 Peter Higgs (1929 - 2024)



29.05.1929	Geboren in Newcastle upon Tyne, England
1947–1950	Studium der Physik am King's College London (Bachelor of Science mit Auszeichnung)
1952	Masterabschluss in Physik am King's College London
1954	Promotion am King's College London bei Christopher Longuet-Higgins zum Thema Molekülschwingungen
1954–1956	Senior Research Fellow an der Universität Edinburgh
1956–1960	Forschungsaufenthalte am Imperial College London und University College London
1960	Rückkehr nach Edinburgh als Dozent am Tait Institute of Mathematical Physics
1962/1963	Heirat mit Jody Williamson; das Paar bekam zwei Söhne; die Ehe wurde nach 10 Jahren geschieden, sie blieben aber freundschaftlich verbunden
1964	Veröffentlichung der grundlegenden Arbeiten zum Higgs-Mechanismus
1970	Ernennung zum Reader in Edinburgh
1974	Aufnahme als Fellow in die Royal Society of Edinburgh
1980	Berufung auf einen Personal Chair in Theoretischer Physik an der Universität Edinburgh
1983	Aufnahme als Fellow in die Royal Society
1996	Emeritierung als Professor für Theoretische Physik
2004	Verleihung des Wolf-Preises (mit Brout und Englert)
2012	Nachweis eines Bosons am CERN mit Eigenschaften des postulierten Higgs-Bosons (ATLAS und CMS); Higgs ist persönlich bei der Präsentation anwesend; Ernennung zum Companion of Honour; Gründung des Higgs Centre for Theoretical Physics an der Universität Edinburgh
2013	Verleihung des Nobelpreises für Physik (mit François Englert)
2015	Auszeichnung mit der Copley-Medaille der Royal Society
08.04.2024	Gestorben in Edinburgh, Schottland, Großbritannien

Peter Higgs nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#24 Paul Dirac - Dirac-Gleichung: Verbindung von Quantenmechanik und Spezieller Relativitätstheorie für Teilchen.
#60 Nambu - Spontane Symmetriebrechung: allgemeine Prinzip der spontanen Symmetriebrechung. Higgs zeigte, wie man dieses Prinzip auf Teilchen und Kräfte anwendet, um die Masse von Bosonen zu erklären.

#65 Vorhersage des Higgs-Teilchens

Peter Higgs, ein britischer Physiker, ist bekannt für seine Rolle bei der Entwicklung des Higgs-Mechanismus. Aufbauend auf Arbeiten von Yoichiro Nambu und Philip Anderson zeigte er, dass Teilchen durch die Kopplung an ein skalares Feld mit einem von null verschiedenen Vakuumerwartungswert Masse erhalten können.
Im Jahr 1964 wurde dieser Mechanismus unabhängig von drei Forschungsgruppen entwickelt: Robert Brout und François Englert, Peter Higgs sowie Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen und Tom Kibble. Steven Weinberg und Abdus Salam integrierten ihn später in die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung. Das Higgs-Boson ist eine elementare Anregung des Higgs-Feldes. Es wurde 2012 durch die Experimente ATLAS und CMS am Large Hadron Collider nachgewiesen. Der Vakuumerwartungswert des Higgs-Feldes beträgt etwa 246 GeV, die Masse des Higgs-Bosons ungefähr $125\,\mathrm{GeV}/c^2$.
Peter Higgs und François Englert erhielten 2013 den Nobelpreis für Physik für die theoretische Entdeckung dieses Mechanismus. Robert Brout war bereits 2011 verstorben; Nobelpreise werden nicht posthum verliehen.
Higgs war ausgesprochen öffentlichkeitsscheu und besaß weder ein Mobiltelefon noch nutzte er E-Mail. Von der Verleihung des Nobelpreises erfuhr er unterwegs, als ihm eine frühere Nachbarin auf der Straße gratulierte.

Higgs' Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Experimenteller Nachweis des Higgs-Bosons durch ATLAS und CMS am CERN (2012)



#66 John S. Bell (1928 - 1990)



28.07.1928	Geboren in Belfast, Nordirland
1944	Beginn einer Tätigkeit als Laborassistent im Physikdepartment der Queen's University Belfast (QUB), anschließendes Studium der Physik
1948	Abschluss mit einem Bachelor of Science in Experimentalphysik an der QUB
1949	Zweiter Abschluss in mathematischer Physik an der QUB
1949	Anstellung beim Atomic Energy Research Establishment (AERE) in Harwell, später Wechsel nach Malvern zur Arbeit an Beschleunigerphysik
1951	Forschungsfreistellung zur Arbeit mit Rudolf Peierls an der University of Birmingham
1954	Heirat mit der Physikerin Mary Ross; sie arbeiteten viel gemeinsam
1955	Veröffentlichung seiner Version des CPT-Theorems
1960	Wechsel zum CERN in Genf (Forschung zu Hochenergiephysik, Teilchenbeschleunigern und Quantenmechanik)
1964	**Veröffentlichung des bahnbrechenden Aufsatzes „On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox" mit der Herleitung der Bell'schen Ungleichung**
1972	Aufnahme als Fellow der Royal Society
1982	Verleihung des Reality Foundation Prize
1987	Wahl zum Foreign Honorary Member der American Academy of Arts and Sciences
01.10.1990	Gestorben sehr plötzlich an einem Schlaganfall in Genf, Schweiz

John S. Bell nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger - Begriff „Verschränkung“, der im EPR-Paradoxon eine Rolle spielt.
#34 Albert Einstein - EPR-Paradoxon: Zweifel an der Vollständigkeit der Quantenmechanik, zentrale Motivation für Bell.

#66 Bell’sche Ungleichung

John Stewart Bell war ein nordirischer Physiker, der am CERN vor allem auf dem Gebiet der Teilchen- und Beschleunigerphysik arbeitete. Mit den 1964 formulierten Bell’schen Ungleichungen schuf er erstmals ein experimentell prüfbares Kriterium, anhand dessen sich die Vorhersagen der Quantenmechanik von denen lokaler Theorien mit verborgenen Variablen unterscheiden lassen. Nach der EPR-Arbeit von 1935 waren Fragen nach Verschränkung, Lokalität und der Vollständigkeit der Quantenmechanik zunächst in den Hintergrund getreten. Bell zeigte jedoch, dass die Debatte nicht rein philosophisch bleiben musste: Seine Ungleichungen machten den Konflikt zwischen quantenmechanischen Vorhersagen und lokaler Realität experimentell zugänglich.
Zunächst fand Bells Arbeit nur wenig Beachtung. Noch in den 1970er Jahren konnte die Beschäftigung mit solchen Grundlagenfragen als wissenschaftliches Karriererisiko gelten. Alain Aspect berichtete bei der Nobelpreisverleihung 2022, Bell habe ihn bei einem Gespräch über ein geplantes Experiment zur Verletzung der Bell’schen Ungleichungen zunächst gefragt: „Haben Sie eine feste Stelle?“ Die Anekdote veranschaulicht, wie randständig dieses Forschungsgebiet damals noch war.
Zu den wenigen Gruppen, die sich intensiv mit Verschränkung und Nichtlokalität beschäftigten, gehörte die informelle *Fundamental Fysiks Group* am Lawrence Berkeley Laboratory. Sie war eng mit der Gegenkultur der 1970er Jahre verbunden und trug nach Einschätzung des Wissenschaftshistorikers David Kaiser dazu bei, jene Grundlagenfragen neu zu beleben, aus denen später die Quanteninformationstheorie hervorging.
Deren Aufstieg war allerdings nicht allein dem wissenschaftlichen Erkenntnisinteresse zu verdanken. Als sich seit den 1980er und 1990er Jahren Anwendungen in der Kryptographie und im Quantencomputing abzeichneten, gewann das Gebiet auch für industrielle Forschungseinrichtungen sowie für staatliche und militärische Förderprogramme erheblich an Bedeutung. Aus einem lange randständigen Grundlagenproblem wurde damit ein strategisch und wirtschaftlich relevantes Forschungsfeld.

Bells Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#74 Aspect: experimenteller Nachweis von Quantenverschränkung, #88 Zeilinger: Quanten-Teleportation, #93 Vandersypen: Pionier des Quantencomputers



#67 Charles Kuen Kao (1933 - 2018)



04.11.1933	Geboren in Shanghai, China
1949	Übersiedlung der Familie nach Hongkong infolge der kommunistischen Revolution
1953 - 1955	Besuch einer britischen Schule zur Erlangung des A-Levels
1955–1960er	Studium des Elektrotechnik-Ingenieurwesens an der Woolwich Polytechnic (später University of Greenwich); anschließende Promotion in Elektrotechnik an der University of London (1965, als externer Student am University College London)
1959	Heirat mit der Ingenieurin Gwen May-Wan Kao; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1960er	Tätigkeit am Standard Telecommunication Laboratories (STL) in Harlow (England);
	Beginn der Forschung zu Glasfaseroptik
1966	**Veröffentlichung der bahnbrechenden Arbeit zur optischen Datenübertragung über Glasfasern gemeinsam mit George Hockham**
1969	Messung extrem niedriger Lichtverluste in hochreinem Siliziumdioxid - Beleg für die Machbarkeit verlustarmer Glasfasernetze. Er erkannte, dass Verunreinigungen das Problem war.
1970	Berufung an die Chinese University of Hong Kong (CUHK); Aufbau des Fachbereichs für Elektronik
1974 - 1986	Rückkehr zur ITT Corporation (USA); Tätigkeit u. a. als Chief Scientist, Director of Engineering und Executive Scientist
1987–1996	Rektor der Chinese University of Hong Kong
1996	Ruhestand
2004	Erste Symptome einer Alzheimer-Erkrankung
2009	Verleihung des Nobelpreises für Physik „für bahnbrechende Leistungen auf dem Gebiet der Lichtübertragung in Fasern für die optische Kommunikation“
2010	Erhebung in den Ritterstand durch Queen Elisabeth II.
2010	Gründung der Charles K. Kao Foundation zur Aufklärung über Alzheimer
23.09.2018	Gestorben in Sha Tin, Hongkong

Charles Kuen Kao nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Harold Hopkins und Narinder Singh Kapany – Faseroptik: Ihre Demonstration der Bildübertragung durch Glasfaserbündel 1954 lieferte wichtige experimentelle Vorarbeiten zur optischen Informationsübertragung.
#59: Theodore Maiman – Laser: Seine Realisierung des ersten Lasers 1960 erschloss eine leistungsfähige Lichtquelle für die spätere optische Nachrichtenübertragung.

#67 Erfinder der Glasfaser

Charles Kuen Kao, ein chinesisch-britischer Physiker und Ingenieur, hat mit seiner Erfindung der Glasfaser einen grundlegenden Beitrag zur Entwicklung der modernen Telekommunikation geleistet. In den 1960er Jahren forschte Kao an der Möglichkeit, Lichtsignale durch Glasfasern zu übertragen, um die Kapazitäten von Telefonleitungen zu erhöhen.
Kaos Forschung führte 1966 zur Entwicklung der ersten praktischen Glasfaser, die in der Lage war, Lichtsignale über lange Strecken ohne nennenswerte Verluste zu übertragen. Diese Entdeckung revolutionierte die Telekommunikation, da sie es ermöglichte, große Mengen an Daten und Informationen über lange Entfernungen zu übertragen, ohne dass die Signale stark geschwächt oder verfälscht wurden.
Die Glasfaser, die Kao entwickelte, bestand aus einem hauchdünnen Glasfaden, der als Lichtwellenleiter fungierte. Durch die Verwendung von Glasfasern konnten Telefonleitungen und Datenübertragungsnetze enorm erweitert werden, was zu einer drastischen Verbesserung der globalen Kommunikation führte.
Für seine Pionierarbeit auf dem Gebiet der Glasfaserkommunikation wurde Charles Kao 2009 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Kaos Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

High-Speed Internet

#68 Steven Weinberg (1933 - 2021)



03.05.1933	Geboren in New York City, USA
1950	Abschluss an der Bronx High School of Science, anschließendes Studium der Physik an der Cornell University
1954	Bachelor in Physik (Nebenfach: Philosophie) an der Cornell University; und Heirat mit der späteren Juristin Louise Goldwasser; das Paar bekam eine Tochter
1954 - 1955	Forschungsaufenthalt am Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen
1957	Promotion in Physik an der Princeton University bei Sam Treiman
1957 - 1959	Postdoc an der Columbia University
1959 - 1966	Forschung und Professur an der University of California, Berkeley
1966 - 1969	Professuren am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und an der Harvard University
1967	**Veröffentlichung seines elektroschwachen Modells zur Vereinigung von elektromagnetischer und schwacher Wechselwirkung (Grundlage des Standardmodells)**
1973	Berufung an die Harvard University als Nachfolger von Julian Schwinger; gleichzeitig Senior Scientist am Smithsonian Observatorium
1977	Science Writing Award des American Institute of Physics für Die ersten drei Minuten; Dannie-Heineman-Preis
1979	Verleihung des Nobelpreises für Physik (gemeinsam mit Abdus Salam und Sheldon Glashow) für die elektroschwache Vereinigung
1982	Wechsel an die University of Texas at Austin; Aufbau einer international anerkannten Forschungsgruppe
1991	Verleihung der National Medal of Science
2004	Auszeichnung mit der Benjamin Franklin Medal der American Philosophical Society
23.07.2021	Gestorben in Austin, Texas, USA

Steven Weinberg nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#52 Yang, gemeinsam mit Mills: Yang-Mills Theorie als Verallgemeinerung von U(1)-Elektromagnetismus zu nicht-abelschen Symmetriegruppen.
#60 Yōichirō Nambu Spontane Symmetriebrechung
#65 Peter Higgs - Higgs-Mechanismus: Grundlage für die Massenverleihung im elektroschwachen Modell.

#68 Elektroschwache Vereinheitlichung

Steven Weinberg, ein amerikanischer Physiker, leistete einen grundlegenden Beitrag zur Entwicklung des Standardmodells. Im Jahr 1967 gelang ihm die theoretische Vereinigung der elektromagnetischen und der schwachen Wechselwirkung. Unabhängig von ihm entwickelte Abdus Salam einen vergleichbaren Ansatz; Sheldon Glashow hatte bereits 1961 wichtige Grundlagen geschaffen.
Weinberg verband die von Yang und Mills entwickelte Eichtheorie mit dem Higgs-Mechanismus. Als Eichgruppe verwendete er $SU(2) \times U(1)$. Diese besitzt vier Generatoren und damit zunächst vier masselose Eichfelder. Durch die Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld wird die elektroschwache Symmetrie gebrochen: Drei Kombinationen der Eichfelder werden zu den massiven W^+-, W^-- und Z-Bosonen, während eine vierte Kombination masselos bleibt und dem Photon entspricht.
Die Teilchenmassen hängen vom Vakuumerwartungswert des Higgs-Feldes und den jeweiligen Kopplungskonstanten ab. Die W- und Z-Bosonen besitzen Massen von ungefähr 80 beziehungsweise 91 GeV/c^2. Aufgrund ihrer großen Masse hat die schwache Wechselwirkung nur eine Reichweite von etwa $10^{-18}\,\mathrm{m}$.
Eine wichtige Vorhersage der Theorie waren neutrale schwache Ströme, die durch den Austausch eines Z-Bosons vermittelt werden. Sie wurden 1973 von der Gargamelle-Kollaboration bei Neutrino-Streuexperimenten am CERN nachgewiesen. Die W- und Z-Bosonen selbst wurden 1983 am CERN direkt entdeckt. Die elektroschwache Theorie ist heute ein zentraler Bestandteil des Standardmodells.
Steven Weinberg erhielt 1979 gemeinsam mit Abdus Salam und Sheldon Glashow den Nobelpreis für Physik für ihre Beiträge zur Theorie der vereinigten schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung.

Weinbergs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#65 Higgs: Vorhersage des Higgs-Teilchens, #77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen, sowie: Standardmodell der Elementarteilchenphysik

#69 Gerhard 't Hooft (1946 -)



05.07.1946	Geboren in Den Helder, Niederlande
1964–1966	Studium der Physik und Mathematik an der Universität Utrecht
1968	Doctoraalscriptie (vergleichbar mit Masterarbeit) zum Adler–Bell–Jackiw-Anomalieproblem bei Martinus Veltman
1969	Beginn der Promotion bei Veltman zur Renormierung der Yang-Mills-Theorien
1971	**Veröffentlichung seines ersten Artikels über die Renormierung masseloser Yang-Mills-Felder**
1972	Promotion in Utrecht mit der Arbeit „The Renormalization Procedure for Yang-Mills Fields“und Heirat mit der Medizinstudentin Albertha Anje Schik; das Paar hat zwei Töchter
1972–1974	Forschungsaufenthalt am CERN
1974	Rückkehr nach Utrecht als Assistant Professor
1976	Aufenthalt an der Stanford University und Gastprofessur an der Harvard University
1978	Volle Professur in Utrecht
1981	Gastaufenthalt am Caltech; Verleihung des Wolf-Preises
1986	Lösung des Anomalie-Problems (Adler–Bell–Jackiw) durch Instanton-Beiträge
1988–1989	Sabbatical an der Boston University
1999	Nobelpreis für Physik (mit M. Veltman) für den Renormierungsbeweis der elektroschwachen Wechselwirkung
2003	Ernennung zum Akademieprofessor an der Königlich Niederländischen Akademie der Wissenschaften
2007–2016	Chefredakteur der Fachzeitschrift Foundations of Physics
2011	Ernennung zum Distinguished Professor der Universität Utrecht
2025	Auszeichnung mit dem Special Breakthrough Prize in Fundamental Physics
2026	Seine Frau stirbt

Gerhard 't Hooft nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#24 Paul Dirac - Quantenfeldtheorie: Grundlage für die Entwicklung der Theorie, die 't Hooft und andere später verfeinerten.
#65 Peter Higgs - Higgs-Mechanismus: Renormierbarkeit spielt eine wichtige Rolle in der Theorie, die den Higgs-Mechanismus und das elektroschwache Modell unterstützt.
#68 Steven Weinberg - Elektroschwaches Modell: Das Konzept der Renormierbarkeit war entscheidend, um das Modell von Weinberg mathematisch konsistent zu machen.

#69 Renomierbarkeit

Gerard 't Hooft, ein niederländischer Physiker, hat mit seiner Arbeit auf dem Gebiet der Quantenfeldtheorie einen grundlegenden Beitrag zur Entwicklung des Standardmodells der Teilchenphysik geleistet.
Bereits die Quantenelektrodynamik (QED) hat bei kleinen Abständen zu unendlich großen Termen geführt, was die Theoriebildung inkonsistent erscheinen ließ. Tomonaga hatte hierzu die sogenannte Renormierung eingeführt, und die Unendlichkeiten durch ein Verfahren entfernt, das diese „unendlich kleinen Abstände" bei denen die Theorie ihren Gültigkeitsbereich verlässt, auf geschickte Weise ignorierte. Aber auch die Verallgemeinerung von QED durch Weinberg und Salam auf die elektroschwache Theorie, sowie die starke Kraft (Quantenchromodynamik, QCD), führte wieder auf Divergenzen (unendlich große Terme) in der Theorie. Letztlich bedeutet dies, dass „Punktteilchen" unphysikalisch sind, und dass bei sehr kleinen Abständen die Theorie ihre Gültigkeit verliert - in der Tat fehlt ja die Gravitation! Aber gibt es ein Verfahren, diese Inkonsistenz zu ignorieren, wenn „niedrige" Energien betrachtet werden? Das Standardmodell gilt experimentell gesichert bis Energien im TeV-Bereich, entsprechend Längenskalen von etwa $10^{-19}m$. Gerard 't Hooft bewies, dass das Standardmodell der Teilchenphysik renormierbar ist, wodurch seine Vorhersagen bei allen bisher getesteten Energien konsistent und berechenbar bleiben.
Für seine Arbeit auf dem Gebiet der Quantenfeldtheorie und insbesondere für seine Forschung über die Renormierbarkeit von Quantenfeldtheorien wurde Gerard 't Hooft zusammen mit M. Veltmann 1999 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

't Hoofts Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Standardmodell der Elementarteilchenphysik

#70 Stuart Freedman (1944 - 2012)



13.01.1944	Geboren in Los Angeles, Kalifornien, USA
1965	Bachelor of Science in Physik
1960er	Physikstudium an der University of California, Berkeley
1967	Master-Abschluss an der University of California, Berkeley
1968	Heirat mit Joyce (Nachname unbekannt); das Paar bekam einen Sohn
1972	Promotion bei Eugene Commins in experimenteller Atomphysik zur Bell'schen Ungleichung; Durchführung des Experiments zur Bell'schen Ungleichung (gemeinsam mit John Clauser); Ergebnis bestätigt Quantenmechanik
1975	Studie zum Beta-Zerfall von polarisiertem ^{19}Neon
1975	Beginn als Dozent an der Princeton University
1976	Assistant Professor an der Stanford University
1982–1987	Forschungstätigkeit am Argonne National Laboratory
1985	Gemeinsam mit Peter Bopp und weiteren Forschern führte Freedman am Institut Laue-Langevin in Grenoble eine Präzisionsmessung der Beta-Asymmetrie des Neutronenzerfalls durch. Daraus bestimmten sie das Verhältnis g_A/g_V der axialen und vektoriellen Kopplung der schwachen Wechselwirkung.
1987–1991	Professur an der University of Chicago
1991	Professur in Berkeley und Senior Physicist am Lawrence Berkeley National Laboratory
1998	Pressesprecher des KamLAND-Experiments (gemeinsam mit Giorgio Gratta)
2002	**Beginn der Arbeit des KamLAND-Detektors; erster eindeutiger Nachweis von Neutrinooszillation aus Reaktorneutrinos**
2000er	Beteiligung an CUORE-Detektor (Suche nach doppeltem Betazerfall ohne Emission von Neutrinos an Tellur-130)
2007	Verleihung des Tom-W.-Bonner-Preises für Beiträge zur Neutrinophysik und zur schwachen Wechselwirkung
10.11.2012	Unerwartet gestorben während einer wissenschaftlichen Konferenz in Urbana, Illnois, USA

Stuart Freedman nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#68 Steven Weinberg – Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung

#70 Experiment zur Neutrinooszillation

Stuart Freedman war ein amerikanischer Experimentalphysiker, der wichtige Beiträge zu den Grundlagen der Quantenmechanik, zur schwachen Wechselwirkung und zur Neutrinophysik leistete.
Bereits als Doktorand führte er gemeinsam mit John Clauser einen der ersten experimentellen Tests einer Bell'schen Ungleichung durch. In dem 1972 veröffentlichten Experiment wurden die Polarisationskorrelationen zweier Photonen gemessen, die bei einem atomaren Übergang in Calcium entstanden. Die Ergebnisse verletzten die für lokale Theorien mit verborgenen Variablen geltende Schranke und stimmten mit den Vorhersagen der Quantenmechanik überein. Das Freedman–Clauser-Experiment wurde damit zu einem wichtigen Vorläufer der späteren, technisch verbesserten Experimente Alain Aspects.
In den folgenden Jahrzehnten verlagerte Freedman den Schwerpunkt seiner Forschung auf die schwache Wechselwirkung. Eine führende Rolle spielte Freedman u.a. bei der US-amerikanischen Beteiligung am japanischen KamLAND-Experiment. KamLAND untersuchte Antineutrinos aus Kernreaktoren und beobachtete zunächst, dass weniger Elektron-Antineutrinos den Detektor erreichten, als ohne Oszillationen zu erwarten gewesen wäre. Die später gemessene Abhängigkeit von der Energie lieferte einen direkten Nachweis dafür, dass sich die Antineutrinos während ihrer Ausbreitung in andere Neutrinoarten umwandeln. Während Super-Kamiokande atmosphärische Neutrinos untersuchte, ermöglichte KamLAND einen Test mit bekannten Reaktorquellen und vergleichsweise gut bestimmbaren Entfernungen.
KamLAND wies darüber hinaus erstmals sogenannte Geoneutrinos nach, die bei radioaktiven Zerfällen im Erdinneren entstehen. Freedmans wissenschaftlicher Weg verbindet damit zwei zunächst weit auseinanderliegende Gebiete: die experimentelle Prüfung der Grundlagen der Quantenmechanik und die Untersuchung der fundamentalen Eigenschaften von Neutrinos.

Freedmans Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#94 Kajita: Experimente zur Neutrinooszillation, Erweiterung des Standardmodells der Elementarteilchenphysik, da Neutrinos eine Masse haben

#71 Paul Lauterbur (1929 - 2007)



06.05.1929	Geboren in Sidney, Ohio, USA
1940er-1950er	Studium der Chemie am Case Institute of Technology in Cleveland, Ohio
1950er	Arbeit im Mellon Institute of Industrial Research (Dow Corning); Dienst in der US-Armee im Army Chemical Center in Edgewood, Maryland, dort erste Arbeiten an einem frühen NMR-Gerät (nuclear magnetic resonance/Kernspinresonanz)
1959	Heirat mit Rose Mary Caputo; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn; die Ehe wurde in den frühen 1980-er Jahre geschieden
1962	Promotion in Chemie an der University of Pittsburgh bei Christopher Dean
1963	Berufung als außerordentlicher Professor an die Stony Brook University; dort Beginn der MRT-Forschung (Magnetresonanztomographie)
1969 - 1970	Gastforscher an der Stanford University mit NMR-Forschung
1970er	**Entwicklung der Bildgebung mittels Magnetresonanz; erste MRT-Bilder 1973**
1984	Heirat mit Biophysikerin Dr. M. Joan Dawson; sie bekamen eine gemeinsame Tochter
1985	Wechsel an die University of Illinois at Urbana-Champaign (College of Medicine); Gründung des Biomedical Magnetic Resonance Laboratory (BMRL) mit Ehefrau Joan Dawson
1985	Aufnahme mehrerer Professuren (Chemie, Biophysik, Bioengineering, Medizin und Computational Biology) in Urbana-Champaign
2003	Nobelpreis für Medizin (gemeinsam mit Peter Mansfield) Entwicklung der Magnetresonanztomographie
27.03.2007	Gestorben in Urbana, Illnois, USA

Paul Lauterbur nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Felix Bloch und Edward Purcell – Kernspinresonanz: Ihre unabhängigen Nachweise der Kernspinresonanz in Materie bildeten die experimentelle Grundlage für Lauterburs bildgebendes Verfahren.
Erwin Hahn sowie Herman Carr und Edward Purcell – NMR in Magnetfeldgradienten: Ihre Untersuchungen zeigten, wie Magnetfeldgradienten Bewegung und räumliche Verteilung von Kernspins im NMR-Signal erfassbar machen.

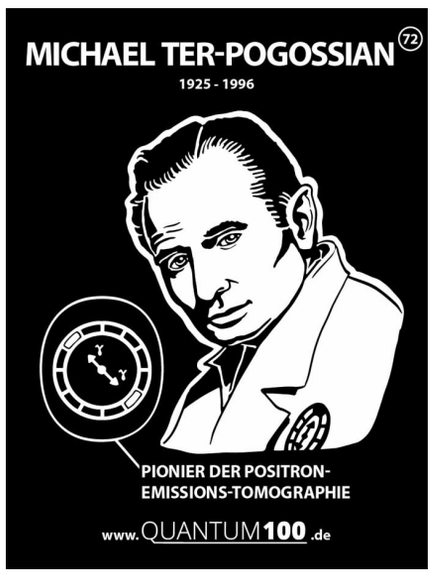
#71 Pionier der Anwendung von MRT in der Medizin

Paul Lauterbur, ein amerikanische Chemiker und Physiker, hat mit seiner Arbeit auf dem Gebiet der Magnetischen-Resonanz-Topographie (MRT) einen grundlegenden Beitrag zur medizinischen Bildgebung geleistet. In den 1970er Jahren entwickelte Lauterbur die Methode der MRT, die es ermöglicht, detaillierte Bilder von inneren Organen und Geweben des Körpers zu erstellen.
Lauterburs Durchbruch kam, als er erkannte, dass die magnetische Resonanz Technik, die normalerweise in der Chemie verwendet wird, um die Struktur von Molekülen zu untersuchen, auch für die Bildgebung von biologischen Systemen eingesetzt werden kann. Der Kernspin kann gezielt angeregt werden, wobei die Resonanzfrequenz in diesem Fall meist im Radiowellenbereich liegt. Er entwickelte eine Methode, bei der ein starkes Magnetfeld und Radiowellen verwendet werden, um Wasserstoffatome im Körper zu stimulieren und ihre Signale zu detektieren.
Die MRT-Technik, die Lauterbur entwickelte, ermöglicht es, detaillierte Bilder von inneren Organen und Geweben zu erstellen ohne dass invasive Verfahren erforderlich sind.
Dies hat die medizinische Diagnostik revolutioniert und ermöglicht es Ärzten, Krankheiten und Verletzungen frühzeitig zu erkennen und zu behandeln.
Die MRT-Technik ist heute ein unverzichtbarer Bestandteil der medizinischen Diagnostik und hat das Leben von Millionen von Menschen verbessert. Für seine Pionierarbeit auf dem Gebiet der MRT wurde Paul Lauterbourg 2003 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet.
Lauterbur skizzierte angeblich die Grundidee der MRT-Bildgebung auf einer Serviette bei einem Restaurantbesuch. Diese wird heute in einem Museum aufbewahrt.

Lauterburs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Rasante Entwicklung von bildgebenden Verfahren in der Medizin

#72 Michael Ter-Pogossian (1925 - 1996)



21.04.1925	Geboren in Berlin, Deutschland
1930er-1940er	Umzug nach Frankreich, Studium der Mathematik an der Universität von Paris
1942	Bachelorabschluss in Mathematik an der Universität von Paris
1946	Studienabschluss am Institut du Radium unter Irène Joliot-Curie; Emigration in die USA
1946	Beginn des Studiums an der Washington University in St. Louis (unter Arthur H. Compton)
1948	Masterabschluss in Physik an der Washington University
1950	Promotion in Kernphysik an der Washington University; Eintritt in das Mallinckrodt Institute of Radiology sowie Beginn der Lehrtätigkeit
1951	Entwicklung eines ersten Scanners zur Detektion radioaktiver Substanzen im lebenden Gewebe
1961	Ernennung zum Professor für Strahlenphysik
1963	Installation eines kleinen Zyklotrons zur Herstellung kurzlebiger Radionuklide am Medical Center
1964	Zusätzliche Professur für Biophysik
1966	Heirat mit der Künstlerin Ann Dodson; sie brachte eine Tochter und zwei Söhne mit in die Ehe
1974	**Entwicklung der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) mit seinem Forschungsteam, Bau des ersten PET-Scanners**
1985	Georg Charles de Hevesy Nuclear Medicine Pioneer Award
1987	Wahl in das Institute of Medicine
1990	Rücktritt von administrativen Aufgaben, Rückkehr in die Forschung
1995	Emeritierung an der Washington University
19.06.1996	Gestorben in Paris, Frankreich

Michael Ter-Pogossian nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#27 Carl Anderson – Entdeckung des Positrons
Gordon Brownell und William Sweet – Positronenbildgebung: Ihre frühen Geräte nutzten den gleichzeitigen Nachweis zweier Annihilationsphotonen zur Lokalisierung von Hirntumoren und waren direkte Vorläufer der PET.

#72 Pionier der Positron-Emissions-Tomographie

Michael Ter-Pogossian, ein amerikanischer Physiker und Ingenieur, hat mit seiner Arbeit auf dem Gebiet der Positron-Emissions-Tomographie (PET) einen grundlegenden Beitrag zur medizinischen Bildgebung geleistet. In den 1970er Jahren entwickelte Ter-Pogossian die erste PET-Kamera, die es ermöglicht, detaillierte Bilder von inneren Organen und Geweben des Körpers zu erstellen.
Ter-Pogossian erkannte, dass die Positron-Emissions-Tomographie, die normalerweise in der Teilchenphysik verwendet wird, um die Struktur von Materie zu untersuchen, auch für die medizinische Bildgebung eingesetzt werden kann. Er entwickelte eine Methode, bei der ein Isotop, das radioaktiv zerfällt und dabei Positronen emittiert, in den Körper injiziert wird. Positron und Elektron verwandeln sich in zwei 511 keV Gammaquanten, die im Winkel 180° voneinander emittiert werden. Durch deren Messung können detaillierte Bilder von inneren Organen und Geweben erstellt werden.
Die PET-Technik ist besonders nützlich für die Früherkennung von Krebs, die Überwachung von Krebsbehandlungen und die Diagnose von neurologischen Erkrankungen. Faszinierend ist, dass man dem Gehirn „beim Denken“ zusehen kann: Wird radioaktiv markierter Zucker genutzt, sind je nach Denkaufgabe bestimmte Areale im Gehirn besonders aktiv (z.B. Wernicke-Areal, wenn Wörter verstanden werden, oder Broca-Areal, wenn Wörter gesprochen werden) und haben erhöhten Zuckerstoffwechsel, was durch PET sichtbar gemacht werden kann.
Die PET-Technik ist heute ein unverzichtbarer Bestandteil der medizinischen Diagnostik.

Ter-Pogossians Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Rasante Entwicklung von bildgebenden Verfahren in der Medizin

#73 Klaus von Klitzing (1943 -)



28.06.1943	Geboren Schroda, Reichsgau Wartheland, heute Środa Wielkopolska, Polen
1962 - 1969	Physikstudium an der Technischen Universität Braunschweig
1969	Diplom in Physik an der Technischen Universität Braunschweig
1969 - 1972	Promotion an der Universität Würzburg zu Galvanomagnetische Eigenschaften von Tellur in starken Magnetfeldern
1971	Heirat mit Renate Falkenberg; das Paar hat eine Tochter und zwei Söhne
1975 - 1976	Forschungsaufenthalt am Clarendon Laboratory, University of Oxford
1978	Habilitation an der Universität Würzburg
1979 - 1980	Forschung am Hochfeld-Magnetlabor in Grenoble, Frankreich
1980	**Entdeckung des quantisierten Hall-Effekts (QHE) – präzise Quantisierung des Hall-Widerstands (Basis für die Von-Klitzing-Konstante)**
1980 - 1984	Professor für Festkörperphysik an der Technischen Universität München
1985	Verleihung des Nobelpreises für Physik für die Entdeckung des quantisierten Hall-Effekts
1985	Berufung zum Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart; zugleich Honorarprofessor an der Universität Stuttgart
1990	Festlegung des elektrischen Widerstandsstandards auf Basis der Von- Klitzing-Konstante
2018	Emeritierung als Direktor des Max-Planck-Instituts

Klaus von Klitzing nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Edwin Hall – Hall-Effekt: Seine Entdeckung einer elektrischen Querspannung in stromdurchflossenen Leitern im Magnetfeld bildete den Ausgangspunkt für die Messung des Hallwiderstands.
Lew Landau – Landau-Niveaus: Seine Theorie der quantisierten Elektronenbewegung im Magnetfeld lieferte eine wesentliche Grundlage für die Erklärung des Quanten-Hall-Effekts.

#73 von-Klitzing-Widerstand

Klaus von Klitzing, ein deutscher Physiker, entdeckte 1980 das Phänomen des Quanten-Hall-Effekts. Dieser Effekt beschreibt das Verhalten von Elektronen in einem starken Magnetfeld und bei sehr niedrigen Temperaturen. Der sogenannte Klitzing-Widerstand findet sich aber noch in einer viel einfacheren Fragestellung: Was ist der Widerstand eines einzelnen Atoms? Mit anderen Worten, wie verhält sich der Widerstand eines dünnen Drahtes, wenn der Kontakt immer kleiner gemacht wird? Klarer Fall - wir befinden uns bei einem einzelnen Atom im Herrschaftsbereich des Planck'schen Wirkungsquantums. Gehen wir einmal ganz naiv vor: h hat die Einheit eine Wirkung, also Energie mal Zeit. Wenn es um elektrischen Strom geht, spielen Ladungen eine Rolle, also die Elementarladung e des Elektrons. Die Kombination h/e ist uns bereits als magnetischer Flussquant beim Josephson-Junction begegnet. Welche Kombination hat die Einheit Ohm, also die des Widerstands? Durch Ausprobieren findet sich $h/e^2 = 25.812,8\Omega$ und in der Tat: die Quantenphysik spricht dieser Kombination aus Naturkonstanten die fundamentale Bedeutung des Widerstands eines einzelnen „Quantenkanals“ zu, was in der sogenannten Landauer-Formel allgemeiner beschrieben wird.
Klaus von Klitzing hat diesen universelle Wert zunächst aber im sogenannten Quanten-Hall-Effekt entdeckt, also nicht bei Strömen durch einzelne Atome, sondern bei zweidimensionalen Elektronengasen im äußeren Magnetfeld. Klaus von Klitzings Entdeckung wurde 1985 mit dem Nobelpreis für Physik gewürdigt.

von Klitzings Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Präzise Realisierung der Spannungseinheit Volt durch den Josephson-Effekt und den universellen Klitzing Widerstand von $h/e^2 = 25.812,8\Omega$.

#74 Alain Aspect (1947 -)



15.06.1947	Geboren in Agen, Frankreich
1965 – 1969	Studium an der École normale supérieure de Cachan (ENS Cachan)
1967	Lizenziat in Physik an der Universität Paris
1968	Diplom an der École supérieure d'optique
1969	Agrégation in Physik; Beginn der Tätigkeit als Assistenzprofessor (Professeur Agrégé) an der Universität Paris-Süd
1971	Erster Teil der Promotion am Institut d'Optique Théorique et Appliquée
1971 – 1974	Lehrtätigkeit im Rahmen eines Austauschprogramms in Yaoundé, Kamerun
1974 – 1985	Dozent an der École normale supérieure de Cachan
1982	**Durchführung eines Experiments zur Verletzung der Bell'schen Ungleichung mit verschränkten Photonen**
1983	Zweiter Teil der Promotion zum Doctorat d'État an der Universität Paris-Süd mit Arbeiten zum EPR-Gedankenexperiment
1985 – 1992	Tätigkeit am Collège de France bei Claude Cohen-Tannoudji; stellvertretender Laborleiter
ab 1985	Forschung zur Laserkühlung neutraler Atome, später auch zu Bose-Einstein-Kondensaten und Atomoptik
ab 1992	Directeur de recherche (CNRS) am Laboratoire Charles Fabry des Institut d'Optique, Orsay
1992 – 1994	Stellvertretender Direktor der École supérieure d'optique
ab 1994	Professor an der École Polytechnique in Paris und Leiter der Atomoptik-Gruppe
2005	Verleihung der Goldmedaille vom CNRS (Centre national de la recherche scientifique)
2010	Verleihung des Wolf-Preises für Physik (mit Zeilinger und Clauser)
2022	Auszeichnung mit dem Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit John Clauser und Anton Zeilinger)
2025	Wahl in die Académie Française

Er ist verheiratet mit seiner Frau Annie; das Paar hat eine Tochter und einen Sohn

Alain Aspect nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#66 John S. Bell – Bell'sche Ungleichungen: Alain Aspects verbesserte die experimentelle Überprüfung der Bell'schen Ungleichung entscheidend.
#70 Stuart Freedman und John Clauser – Früher Bell-Test: Ihr Experiment von 1972 wies eine Verletzung einer Bellschen Ungleichung nach. Aspect entwickelte diese Experimente weiter und realisierte insbesondere schnell wechselnde Analysatoreinstellungen.

#74 Verletzung der Bell'schen Ungleichung

Alain Aspect erhielt 2022 gemeinsam mit John Clauser und Anton Zeilinger den Nobelpreis für Physik. Ausgezeichnet wurden seine Experimente mit verschränkten Photonen, deren Ergebnisse Bell'sche Ungleichungen verletzten und mit den Vorhersagen der Quantenmechanik übereinstimmten. Nach den Arbeiten von Einstein, Podolsky und Rosen sowie Schrödinger aus dem Jahr 1935 traten Fragen nach Verschränkung, Lokalität und der Vollständigkeit der Quantenmechanik während und nach dem Zweiten Weltkrieg zunächst in den Hintergrund. Viele Physikerinnen und Physiker konzentrierten sich auf die erfolgreiche Anwendung des Formalismus – eine Haltung, die später mit dem Schlagwort „shut up and calculate" charakterisiert wurde. Noch in den 1970er Jahren beschäftigten sich nur wenige Forschungsgruppen intensiv mit Bell'schen Ungleichungen, Verschränkung und Nichtlokalität. Aspect führte Anfang der 1980er Jahre mehrere verbesserte Experimente durch. Die beobachteten Korrelationen verletzten Bell'sche Ungleichungen und schlossen damit wichtige Klassen lokaler Theorien mit verborgenen Variablen aus. Der Gegensatz besteht daher nicht allgemein zwischen „klassischer Physik" und Quantenmechanik, sondern genauer zwischen den quantenmechanischen Vorhersagen und bestimmten lokalen realistischen Theorien.
Als Aspect 1975 sein geplantes Experiment mit John Bell diskutierte, soll dessen erste Frage gelautet haben: „Haben Sie eine feste Stelle?" Die später mit dem Nobelpreis ausgezeichneten Experimente gingen somit aus einem damals noch randständigen Gebiet der Grundlagenforschung hervor.
Mit dem Aufkommen der Quantenkryptographie, des Quantencomputings und weiterer Anwendungen gewann die Verschränkung seit den 1980er und 1990er Jahren auch für industrielle sowie staatliche Forschungsprogramme erheblich an Bedeutung. Was lange als philosophisch anmutendes Grundlagenproblem galt, wurde so zu einer zentralen Ressource der sogenannten „zweiten Quantenrevolution".

Aspects Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#88 Zeilinger: Quantenteleportation, sowie: zweite Quantenrevolution



#75 Robert Laughlin (1950 -)



01.11.1950	Geboren in Visalia, Kalifornien, USA
1960er-1970er	Mathematikstudium an der University of California, Berkeley
1972	Bachelorabschluss in Mathematik an der University of California, Berkeley
1972 - 1974	Militärdienst
1979	Promotion in Physik am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und Heirat mit Anita Rhona Perry; das Paar hat zwei Söhne
1979–1981	Tätigkeit bei den Bell Laboratories
1982–2004	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lawrence Livermore National Laboratory
1983	**Entwicklung der nach ihm benannten Laughlin-Wellenfunktion zur Erklärung des FQHE (Fraktionaler Quanten-Hall-Effekt)**
ab 1985	Außerordentlicher Professor für Physik an der Stanford University
ab 1989	Professor an der Stanford University
1998	Verleihung des Nobelpreises für Physik (zusammen mit Störmer und Tsui) „für ihre Entdeckung einer neuen Art von Quantenflüssigkeit mit fraktionell geladenen Anregungen“
2004-2006	Präsident des Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Südkorea
2013	Vorschlag einer neuen Theorie zur Hochtemperatursupraleitung in Kupferoxiden
2017	Veröffentlichung zur thermischen Energiespeicherung; Grundlage für „Project Malta“ bei Google X

Robert Laughlin nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#57 Leon Cooper: Coopers Konzept gebundener Elektronenpaare bei der Supraleitung half, das Verhalten kollektiver Quantenzustände besser zu verstehen.
#73 Klaus von Klitzing: Seine Entdeckung des integralen Quanten-Hall-Effekts (1980) bildete die direkte Grundlage. Laughlin entwickelte darauf die Theorie.

#75 Fraktionaler Quanten-Hall-Effekt

Robert Laughlin, ein US-amerikanischer Physiker, machte einen grundlegenden Beitrag zur Physik, indem er 1983 eine Theorie zum fraktionalen Quanten-Hall-Effekt entwickelte.
Seine Arbeit ist eine direkte Verallgemeinerung der Theorie zum Quanten-Hall-Effekt, der experimentell von Klitzing nachgewiesen wurde. Im Kern geht es immer um Phasen von Wellenfunktionen und Interferenzphänomene, die in immer subtilen Formen gefunden wurden - in diesem Beispiel in zweidimensionalen Elektronengasen in einem äußeren Magnetfeld. Das Spiel ist immer gleich: Wir zählen stehende Wellen. Im Atom nennen wir sie „Orbitale“, je nach Anzahl von Knotenlinien (Keine= s-Welle, Eine=p-Welle, Zwei= d-Welle, etc.). Das Atom als „Elektron Hotel“ hat also viele Doppelzimmer: Einmal Spin up, einmal Spin down pro Zimmer bzw. Orbital. So ein Festkörper ist dann eher ein Schlafsaal mit vielen Betten alias stehenden Wellen in einem Raum. Durch das Magnetfeld bilden sich „Landau-Niveaus“ also unterschiedliche große Schlafsäle in verschiedenen Stockwerken. Kommen nun die Gäste (Elektronen), füllen sich die Schlafsäle von unten nach oben auf. Je nachdem, wie voll die Säle sind („filling ratio“), hat das Einfluss auf die Leitfähigkeit des Metalls, oder wie schon Heraklit wusste: alles schwingt. Die Quantenphysik kommt zum selben Ergebnis, allerdings mathematisch in ungeahnter Präzision, denn der Tanz der Elektronen mit magnetischen Flussquanten führt in der etwas fremdartigen, weil zweidimensionalen Welt dieses Elektronengases zu interessanten neuen Bindungszuständen oder Quasiteilchen mit fraktionalen Ladungen - sogenannte Anyons. Oder, etwas moderner formuliert: Der fraktionale Quanten-Hall-Effekt liefert nicht nur hochpräzise Widerstandsnormen, sondern eröffnet durch die Einführung der Quasiteilchen Anyons auch vielversprechende Ansätze für robuste topologische Qubits in der Quanteninformatik.
Für seine Arbeit zum fraktionalen Quanten-Hall-Effekt erhielt Robert Laughlin 1998 zusammen mit Horst Störmer und Daniel Tsui den Nobelpreis für Physik.

Laughlins Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Laughlins Arbeiten zum fraktionalen Quanten-Hall-Effekt legten wichtige Grundlagen für topologische Aspekte in der Festkörperphysik

#76 Simon van der Meer (1925 - 2011)



24.11.1925	Geboren in Den Haag, Niederlande
1945–1952	Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Delft
1952	Studienabschluss als Ingenieur an der Technischen Universität Delft
1952–1956	Tätigkeit bei den Philips-Forschungslaboratorien in Eindhoven (Elektronenmikroskopie)
1956	Eintritt in das CERN in der Gründungsphase
1961	Erfindung des „Van der Meer Horns“ zur Fokussierung von Neutrinostrahlen
1965	Mitarbeit am Myon-(g-2)-Experiment am CERN; Konstruktion eines Speicherrings
1966	Heirat mit der Schweizerin Catharina M. Koopman; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn
1968	**Erste theoretische Ideen zur stochastischen Kühlung während seiner Arbeiten an den ISR (Intersecting Storage Rings) des CERN**
1974	**Erste Experimente zur stochastischen Kühlung an den ISR**
ab 1978	Mitverantwortlicher für den Bau des Antiproton Accumulator zur Vorbereitung des Proton-Antiproton-Colliders
1983	Experimentelle Entdeckung der W- und Z-Bosonen durch das UA1- Experiment am SPS (Super Proton Synchrotron)
1984	Verleihung des Nobelpreises für Physik (gemeinsam mit Carlo Rubbia) „für ihre entscheidenden Beiträge bei dem großen Projekt, das zur Entdeckung der Feldpartikel W und Z, Vermittler schwacher Wechselwirkung, geführt hat“
1990	Pensionierung am CERN
04.03.2011	Gestorben in Genf, Schweiz

Simon van der Meer nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Gersch Budker – Elektronenkühlung: Sein Vorschlag von 1966 zeigte einen Weg zur Verringerung der Geschwindigkeitsstreuung gespeicherter Teilchenstrahlen. Van der Meer entwickelte mit der stochastischen Kühlung eine eigenständige Methode auf Basis elektronischer Rückkopplung.

#76 Stochastische Kühlung

Simon van der Meer, ein niederländischer Physikingenieur am CERN, entwickelte in den 1960er und 1970er Jahren eine innovative Methode zur Steigerung der Intensität von Teilchenstrahlen in Beschleunigern. Diese Methode, bekannt als stochastische Kühlung, revolutionierte die Teilchenphysik, indem sie es ermöglichte, hochenergetische Teilchen mit bisher unerreichter Präzision zu manipulieren.
Die stochastische Kühlung nutzt das Prinzip der Rückkopplung, um die Bewegung von Teilchen in einem Strahl zu korrigieren. Durch die Überwachung der Position und Geschwindigkeit der Teilchen und die anschließende Anpassung des magnetischen Feldes, mit dem die Teilchen gelenkt werden, kann die Streuung der Teilchen im Strahl verringert werden. Dies führt zu einem viel kompakteren und intensiveren Strahl, der für Experimente in der Teilchenphysik wesentlich ist.
Für seine Pionierarbeit auf dem Gebiet der stochastischen Kühlung und deren Anwendung in der Teilchenphysik erhielt Simon van der Meer 1984 gemeinsam mit Carlo Rubbia den Nobelpreis für Physik.

van der Meers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#77 Rubbia: Entdeckung der W- und Z-Bosonen Seine Methode ermöglichte die Ansammlung ausreichend dichter Antiprotonenstrahlen und schuf damit eine entscheidende experimentelle Voraussetzung für die Entdeckung der W- und Z-Bosonen am CERN.

#77 Carlo Rubbia (1934 -)



31.03.1934	Geboren in Gorizia, Italien
1953	Beginn eines Ingenieurstudiums in Mailand; später Wechsel zur Physik an die Scuola Normale Superiore in Pisa und der Universität Pisa
1957–1958	Abschluss des Physikstudiums an der Scuola Normale Superiore und Laurea-Abschluss an der Universität Pisa; anschließend Postdoc an der Columbia University (Myonen-Zerfall und -Einfang)
1960	Beginn der Tätigkeit am CERN, Arbeit zur schwachen Wechselwirkung und am ISR (Intersecting Storage Rings)
um 1960	Heirat mitMarisa Romè ; das Paar hat eine Tochter und einen Sohn
1970–1988	Ernennung zum Higgins Professor of Physics an der Harvard University (jährliche Gastprofessur)
1972–1973	Mitarbeit am EA1-Experiment am Fermilab zur Entdeckung schwacher neutraler Ströme
1976	Vorschlag, den SPS-Beschleuniger (Super Proton Synchrotron) am CERN in einen Proton-Antiproton-Collider umzubauen
1981	Start des Proton-Antiproton Colliders mit UA1-Detektor am CERN
1983	**Experimenteller Nachweis der W- und Z-Bosonen durch das UA1-Experiment unter Rubbias Leitung**
1984	Verleihung des Nobelpreises für Physik (gemeinsam mit Simon van der Meer) „für ihre entscheidenden Beiträge bei dem großen Projekt, das zur Entdeckung der Feldpartikel W und Z, Vermittler schwacher Wechselwirkung, geführt hat“
1989–1993	Generaldirektor des CERN
1999–2005	Präsident der italienischen Energie- und Umweltbehörde ENEA; Arbeit am Archimedes-Projekt und Rubbiatron-Konzept
2006–2009	Wissenschaftlicher Chefberater am spanischen Forschungszentrum CIEMAT
2009	Berater für Energie bei der UN-Wirtschaftskommission für Lateinamerika (ECLAC)
2010–2015	Wissenschaftlicher Direktor des Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam
2013	Ernennung zum Senator auf Lebenszeit in Italien durch Präsident Napolitano

Carlo Rubbia nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#24 Paul Dirac: Diracs relativistische Quantentheorie ermöglichte das Verständnis von Teilchen und Antiteilchen.
#52 Cheng-Ning Yang: Mit der Yang-Mills-Theorie (nichtabelsche Eichtheorien) schuf Yang wichtige Grundlagen für das Standardmodell.
#68 Steven Weinberg: Er entwickelte die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, die das Verhalten von W- und Z-Bosonen beschreibt.
#76 Simon van der Meer: Durch seine Technik der Stochastischen Kühlung wurden die notwendigen hochpräzisen Teilchenkollisionen möglich.

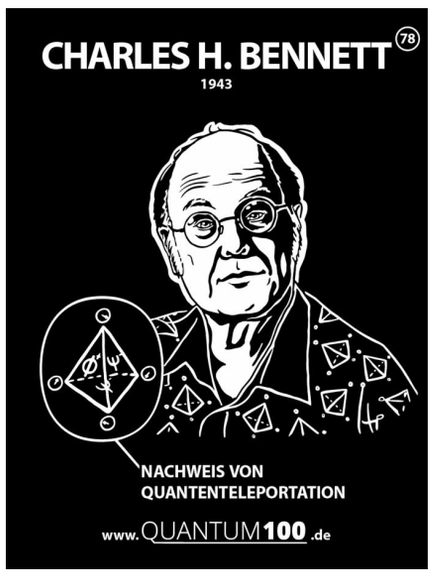
#77 Entdeckung der W- und Z-Bosonen

Carlo Rubbia, ein italienischer Physiker, spielte eine zentrale Rolle in der Entdeckung der W- und Z-Bosonen, die fundamentalen Teilchen, die für die Vermittlung der schwachen Kernkraft verantwortlich sind. Diese Entdeckung, die 1983 am CERN in Genf stattfand, markierte einen bedeutenden Meilenstein in der Teilchenphysik und bestätigte die Vorhersagen des Standardmodells der Teilchenphysik. Sie bestätigte zentrale Vorhersagen der von Sheldon Glashow, Abdus Salam und Steven Weinberg entwickelten elektroschwachen Theorie, die heute ein wesentlicher Bestandteil des Standardmodells ist.
Rubbia leitete das UA1-Experiment, ein Team von Wissenschaftlern, die den Proton-Antiproton-Collider (SppS) am CERN nutzten, um hochenergetische Kollisionen zwischen Protonen und Antiprotonen zu erzeugen. Durch die Analyse der Produkte dieser Kollisionen konnten die Forscher unter Rubbias Leitung die Signaturen der W- und Z-Bosonen identifizieren, indem sie nach charakteristischen Mustern von Teilchen suchen.
Für seine führende Rolle bei der Entdeckung der W- und Z-Bosonen und für seine Beiträge zum Verständnis der fundamentalen Kräfte der Natur erhielt Carlo Rubbia 1984 gemeinsam mit Simon van der Meer den Nobelpreis für Physik.

Rubbias Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Weiterentwicklung vom LHC (Large Hadron Collider) am CERN

#78 Charles H. Bennett (1943 -)



07.04.1943	Geboren in New York City, USA
1960er	Chemiestudium an der Brandeis University
1964	Bachelorabschluss in Chemie an der Brandeis University
1970	Promotion an der Harvard University zur Molekulardynamik; Mitarbeit bei James Watson (genetischer Code)
1970–1972	Postdoktorand am Argonne National Laboratory bei Aneesur Rahman
1972	Beginn der Tätigkeit im IBM Thomas J. Watson Research Center
1973	Beweis der Möglichkeit thermodynamisch reversibler (und logisch reversibler) universaler Computer
1982	Bennett deutete den Maxwellschen Dämon neu: nicht der Gewinn, sondern das Löschen von Information, das irreversibel ist, verursacht die entscheidenden thermodynamischen Kosten gemäß dem Landauer-Prinzip (1961)
1983–1985	Gastprofessur für Informatik an der Boston University
1984	Entwicklung des BB84-Protokolls für Quantenschlüsselaustausch (mit Gilles Brassard)
1989	Erste Demonstration der Quantenkryptografie (mit John Smolin) und Heirat mit Theodora Dyer; sie brachte eine Tochter und zwei Söhne mit in die Ehe
1993	**Theoretische Beschreibung der Quantenteleportation (mit Brassard, Crépeau, Jozsa, Peres, Wootters) – vollständige Übertragung eines unbekannten Quantenzustands mittels klassischer Information und Quantenverschränkung**
1995–1997	Entwicklung von Theorien zur Quantenverschränkung und zur Informationsübertragung über verrauschte Kanäle (mit Wootters, Smolin, DiVincenzo u. a.)
2017	Dirac-Medaille (ICTP)
2018	Wolf-Preis für Physik
2019	BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award (Basic Sciences)
2022	Wahl zum Auswärtigen Mitglied der Royal Society
2023	Breakthrough Prize in Fundamental Physics; Eduard-Rhein-Preis für Technologie
2025	Wahl zum Mitglied der American Academy of Arts and Sciences

Charles H. Bennett nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger: Schrödinger-Gleichung und das Konzept der Verschränkung (Stichwort „Schrödingers Katze“).
#34 Albert Einstein: EPR-Paradoxon – zeigte die seltsame Fernwirkung von Quantenverschränkung auf.
#66 John S. Bell: Bell’sche Ungleichung bewies, dass quantenmechanische Verschränkung reale, messbare Effekte hat.
#74 Alain Aspect: Experimenteller Nachweis der Quantenverschränkung, Grundlage für echte Quantenteleportation.

#78 Nachweis der Quantenteleportation

Charles H. Bennett, ein amerikanischer Physiker, hat maßgeblich zur Entwicklung der Quanteninformatik beigetragen. Im Jahr 1993 entwickelte er gemeinsam mit Gilles Brassard, Claude Crépeau, Richard Jozsa, Asher Peres und William Wootters das theoretische Verfahren der Quantenteleportation.
Dabei wird keine Materie transportiert, sondern der unbekannte Quantenzustand eines Teilchens auf ein entferntes Teilchen übertragen. Senderin Alice und Empfänger Bob teilen zunächst ein verschränktes Teilchenpaar. Alice führt eine gemeinsame Messung an ihrem Teilchen und dem zu übertragenden Zustand durch, wobei der ursprüngliche Zustand zerstört wird. Anschließend sendet sie Bob das Messergebnis über einen klassischen Kommunikationskanal. Mithilfe dieser Information kann Bob sein Teilchen in den ursprünglichen Quantenzustand versetzen.
Die Verschränkung allein überträgt keine nutzbare Information. Erst mit der klassischen Nachricht kann Bob den Zustand rekonstruieren. Quantenteleportation ermöglicht daher keine Kommunikation mit Überlichtgeschwindigkeit.
Im Jahr 1997 demonstrierten Dik Bouwmeester, Jian-Wei Pan, Klaus Mattle, Manfred Eibl, Harald Weinfurter und Anton Zeilinger die Quantenteleportation erstmals experimentell mit Photonen. Bennetts theoretische Arbeit und Zeilingers experimentelle Umsetzung schufen wichtige Grundlagen für Quantenkommunikation und zukünftige Quantennetzwerke.

Bennetts Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#93 Vandersypen: Pionier des Quantencomputers, sowie: Quanteninternet

#79 Donna Strickland (1959 -)



27.05.1959	Geboren in Guelph, Ontario, Kanada
1977 - 1981	Studium Physikingenieurwesen an der McMaster University in Hamilton, Kanada.
1989	Promotion „Development of an ultrabright Laser and an application to Multi-Photon-Ionization“ an der University of Rochester, New York, USA.
1989 - 1991	Forschungen als Post-Doktorandin für den National Research Council, sowie ein Jahr in der Laserabteilung des Lawrence Livermore Laboratory.
1991	Heirat mit Elektroingenieur und Physiker Doug Dykaar; das Paar hat eine Tochter und einen Sohn
ab 1992	Arbeit am Advanced Center for Photonics and Optoelectronic Materials der Princeton University.
1997	Assistenzprofessorin an der Princeton University
2002	Außerordentliche Professorin an der University of Waterloo.
ab 2007	Stellvertretende Vorsitzende der Physikabteilung an der University of Waterloo.
2018	Nobelpreis anteilig **„für bahnbrechende Erfindungen im Bereich der Laserphysik“ aus ihrer Zeit als Doktorandin 1985;** Erst nach Bekanntwerden der Nobelpreis-Ehrung erhielt sie eine volle Professur

Donna Strickland nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#59 Theodore Maiman – Konstruktion des ersten Lasers.
Edmond B. Treacy – Optische Pulskompression: Seine Beugungsgitteranordnung zur zeitlichen Kompression gechirpter Laserpulse lieferte eine unmittelbare Grundlage für die Verkürzung der verstärkten Pulse.

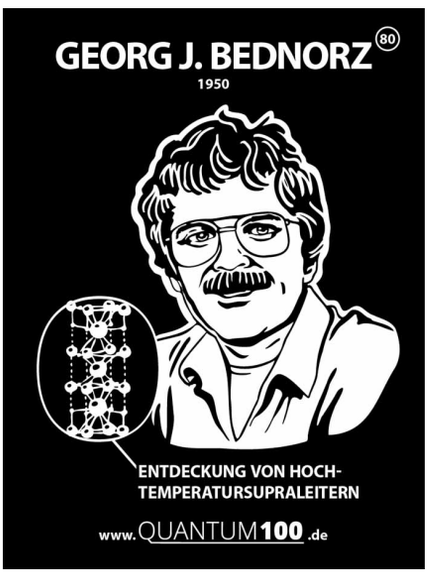
#79 Ultrakurzzeitlaser

Donna Strickland, eine kanadische Physikerin, hat durch ihre Arbeit auf dem Gebiet der Laserphysik wichtige Beiträge zur Entwicklung von Ultrakurzzeitlasern geleistet. Ihre Forschung hat es ermöglicht, Laserpulse zu generieren, die nur wenige Femtosekunden ($10^{-15}s$) dauern, was zu neuen Möglichkeiten in der Materialbearbeitung, der Medizin und der Grundlagenforschung geführt hat.
Stricklands Durchbruch kam 1985, als sie gemeinsam mit ihrem Kollegen Gérard Mourou eine Methode entwickelte, um die Intensität von Lasern durch die Verwendung von Chirped-Puls-Verstärkung zu erhöhen. Diese Technik ermöglicht es, die Phasenverformung von Laserpulsen zu kontrollieren, sodass sie nach der Verstärkung komprimiert werden können, um ultrakurze Pulse mit hoher Intensität zu erzeugen.
Zum Vergleich der Zeitskalen: Die mittlere Lebensdauer des 2p-Zustands im Wasserstoffatom beträgt etwa 1,6 Nanosekunden, während der eigentliche Übergang zur 1s-Energieebene unter Photonemission nur Bruchteile einer Femtosekunde dauert. Die Entwicklung von Ultrakurzzeitlasern durch Donna Strickland und Gérard Mourou viele Anwendungen: In der Materialbearbeitung können solche Laser verwendet werden, um präzise Schnitte in Materialien vorzunehmen, ohne diese zu erwärmen oder zu beschädigen. Darüber hinaus ermöglichen sie in der Grundlagenforschung die Untersuchung von ultraschnellen Prozessen in der Materie, wie etwa die Dynamik von Atomen und Molekülen.
Für ihre Pionierarbeit auf dem Gebiet der Laserphysik und die Entwicklung von Ultrakurzzeitlasern erhielt Donna Strickland 2018 gemeinsam mit Gérard Mourou und Arthur Ashkin den Nobelpreis für Physik. Erst danach erhielt sie eine volle Professur.

Stricklands Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#98 L'Huillier: Attosekunden-Laserpulse – Die von Strickland und Mourou entwickelte Chirped-Pulse-Verstärkung ermöglicht intensive Femtosekundenpulse, die zur Erzeugung hoher Harmonischer und von Attosekundenpulsen eingesetzt werden.

#80 Georg J.Bednorz (1950 -)



16.05.1950	Geboren in Neuenkirchen, Kreis Steinfurt, Deutschland
1968	Beginn des Chemiestudiums an der Universität Münster, anschließender Wechsel zur Mineralogie
1972	Sommerstudent am IBM Zurich Research Laboratory in Rüschlikon
1973	Zweiter Aufenthalt am IBM-Labor
1974	Durchführung von Experimenten für die Diplomarbeit (Kristallwachstum von Perovskiten) in Rüschlikon
1977	Beginn der Promotion an der ETH Zürich
1982	Abschluss der Promotion an der ETH Zürich, Eintritt in das IBM Research Laboratory in Zürich
1983	Beginn der Forschung zu Hochtemperatur-Supraleitern mit Karl Alexander Müller
1986	**Nachweis der Supraleitung bei 35 K in einem Kupferoxid-Keramik**
1987	Verleihung des Nobelpreises für Physik (mit K. A. Müller) „für ihre bahnbrechende Entdeckung von Supraleitung in keramischen Materialien“
1987	Ernennung zum IBM Fellow
ab 1987	Beratungstätigkeit zu Anwendungen supraleitender Materialien
2014	Ehrengast bei Inbetriebnahme einer supraleitenden Stromleitung in Essen
2018	Aufnahme in die National Academy of Sciences (USA)
2020	Auszeichnung mit dem Verdienstorden des Landes Nordrhein-Westfalen
	Er ist verheiratet mit Mineralwissenschaftlerin Mechthild Wennemer

Georg J.Bednorz nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#57 Leon Cooper: Erklärung der klassischen Supraleitung durch Cooper-Paare in der BCS-Theorie.

#80 Entdeckung von Hochtemperatursupraleitern

Johannes Georg Bednorz, ein deutscher Physiker, und Karl Alexander Müller, ein Schweizer Physiker, machten 1986 eine bahnbrechende Entdeckung: Sie wiesen nach, dass bestimmte keramische Kupferoxide bei deutlich höheren Temperaturen supraleitend werden als die bis dahin bekannten Materialien. Damit begründeten sie das Forschungsgebiet der Hochtemperatursupraleitung.
Bednorz und Müller arbeiteten am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon bei Zürich und suchten gezielt nach neuen supraleitenden Oxidverbindungen. In einem mit Barium dotierten Lanthan-Kupferoxid-System beobachteten sie den Beginn eines starken Abfalls des elektrischen Widerstands bei etwa 35 Kelvin. Die Entdeckung von Bednorz und Müller löste weltweit intensive Forschungsaktivitäten aus.
Das häufig erwähnte Yttrium-Barium-Kupferoxid, kurz YBCO, wurde dagegen erst 1987 von Maw-Kuen Wu und weiteren Forschern aus der Arbeitsgruppe von Ching-Wu Chu als Supraleiter nachgewiesen. Seine Sprungtemperatur lag bei etwa 93 Kelvin und damit erstmals oberhalb der Siedetemperatur von flüssigem Stickstoff von 77 Kelvin. Dadurch wurde die Kühlung solcher Supraleiter erheblich einfacher und kostengünstiger als die Kühlung mit flüssigem Helium.
Hochtemperatursupraleiter besitzen ein großes Anwendungspotenzial, beispielsweise für verlustarme Stromkabel, leistungsstarke Magnete, Magnetschwebetechnik und bestimmte Energiespeicher. Für ihre bahnbrechende Entdeckung erhielten Bednorz und Müller 1987 den Nobelpreis für Physik.

Bednorzs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Technische Umsetzung von MRT in der Medizin

#81 Ching Wan Tang (1947 -)



23.07.1947	Geboren Yuen Long, Hongkong, China
1960er	Chemiestudium an der University of British Columbia
1970	Bachelorabschluss in Chemie an der University of British Columbia
1975	Promotion in Physikalischer Chemie an der Cornell University
1975	Eintritt in die Forschungslabore von Eastman Kodak
1981	Beförderung zum Senior Research Scientist bei Kodak
1987	**Erfindung der organischen Leuchtdiode (OLED) mit Steven Van Slyke**
1990	Ernennung zum Research Associate bei Kodak
1998	Beförderung zum Senior Research Associate bei Kodak
1998	Aufnahme als Fellow in die American Physical Society
2006	Professur an der University of Rochester (Doris Johns Cherry Professor); Aufnahme in die National Academy of Engineering, USA
2007	Daniel E. Noble Award (IEEE)
2011	Verleihung des Wolf-Preises in Chemie
2013	Eintritt in das IAS der Hong Kong University of Science and Technology
2015	Gründungsmitglied der Hong Kong Academy of Sciences
2018	Aufnahme in die National Inventors Hall of Fame ind den USA; NEC C&C Prize
2019	Verleihung des Kyoto-Preises (Advanced Technology)
	Er ist verheiratet mit Leslie Schwartz; das Paar hat zwei Töchter und zwei Söhne

Ching Wan Tang nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#61 Nick Holonyak: Entwicklung der klassischen (anorganischen) LED als direkte Vorstufe.

#81 Erfindung der organischen LED

Ching W. Tang, ein chinesisch-amerikanischer Physiker und Ingenieur, machte 1987 eine bahnbrechende Entdeckung, die Entwicklung von Displays und Beleuchtungstechnologien revolutionieren sollte. Er erfand die erste organische Leuchtdiode (OLED). Tang, der damals bei Eastman Kodak Company arbeitete, experimentierte mit verschiedenen organischen Materialien, um eine effiziente und kostengünstige Methode zur Erzeugung von Licht zu entwickeln. Er kombinierte zwei verschiedene organische Schichten, um eine Diode zu schaffen, die bei der Anwendung von Strom Licht emittiert. Diese Erfindung war ein wichtiger Durchbruch, da sie die Möglichkeit bot, flexible, dünne und energieeffiziente Displays und Beleuchtungssysteme zu entwickeln.
Die OLED-Technologie, die Tang entwickelte, hat seitdem rasant Fortschritte gemacht und wird heute in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, von Smartphones und Fernsehern bis hin zu Automobilinstrumenten und Beleuchtungssystemen. Die Vorteile von OLEDs liegen in ihrer hohen Effizienz, ihrem geringen Energieverbrauch und ihrer Fähigkeit, schwarze Farbtöne und ein breites Blickfeld zu erzeugen.

Tangs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Bildschirm-Displays, u.a. bei Smartphones

#82 Mark Arthur Reed (1955 - 2021)



04.01.1955	Geboren in Suffern, New York, USA
1970er-1980er	Bachelor- und Masterabschluss in Physik Syracuse University
1983	Promotion in Physik an der Syracuse University
1983 - 1990	Forscher bei Texas Instruments (TI); Aufbau des Nanoelectronics-Programms
1988	**Demonstration des ersten Quantenpunkt-Bauelements; Prägung des Begriffs „quantum dot“**
1990	Berufung an die Yale University; Beginn einer über 30-jährigen Tätigkeit als Professor und Auszeichnung als Most Promising Young Scientist durch Fortune Magazine
1996	Heirat mit Elizabeth Schaefer; das Paar bekam einen Sohn
1997	Demonstration der Leitfähigkeit durch ein einzelnes Molekül
1997 - 2010	Forschung zu Einzelmolekültransistoren, Nanofluidik, Bioelektronik
2002	Fellow der American Physical Society
2003	Aufnahme in die Connecticut Academy of Science and Engineering
2006	Fellow des Canadian Institute for Advanced Research
2011 - 2021	Associate Director des Yale Institute for Nanoscience and Quantum Engineering
05.05.2021	Er verstarb unerwartet in Monroe, Connecticut, USA

Mark Arthur Reed nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Raymond Dingle, William Wiegmann und Charles H. Henry (1974): Nachweis quantisierter Energieniveaus in dünnen Halbleiter-Quantentöpfen

#82 Quantenpunkte

Mark Arthur Reed, ein amerikanischer Physiker, machte in den 1980er Jahren eine bahnbrechende Entdeckung, die Entwicklung von Nanotechnologie und Quantencomputing vorantreiben sollte. Er erfand die ersten Quantenpunkte, auch bekannt als künstliche Atome.
Reed, der damals an der Bell Labs arbeitete, entwickelte eine Methode, um winzige Partikel aus Halbleitermaterialien zu erstellen, die sogenannten Quantenpunkte. Diese Partikel haben eine Größe von nur wenigen Nanometern und verhalten sich wie künstliche Atome, da sie nur eine begrenzte Anzahl von Elektronen aufnehmen können. Aus der (für Quantenpunkte gute Näherung!) Quantisierungsbedingung $2pd = nh$, wobei d eine charakteristische Längenskala des Quantenpunktes und n die Quantenzahl ist, können wir zwei wichtige Informationen ableiten: Mit der de Brogli-Beziehung $p = h/\lambda$ ergibt sich die Bedingung für stehende Wellen. Mit der (klassischen!) Formel für die kinetische Energie $E = p^2/2m$ können wir die entsprechenden Energien wie bei der Erläuterung zu Maria Göppert Mayer (# 48) abschätzen zu $E = h^2/(8md^2)n^2$. Setzen wir für m die Masse des Elektrons ein und für d eine Skala von der Größenordnung des Bohr'schen Radius, ergibt sich die Skala eV. Beim Quantenpunkt kann nun der „Abstand" d gezielt eingestellt werden, die entsprechenden Übergänge n=2 nach n= 1 entsprechen dann dem emittierten Licht, das je nach der Größe gezielt und beliebig im sichtbaren Licht eingestellt werden kann, was heute z.B. schon für Bildschirme mit besonders reinen Farben genutzt wird (QLED).
Der Nobelpreis für Chemie 2023 wurde an Moungi G. Bawendi, Louis E. Brus und Alexei Iwanowitsch Jekimow verliehen, die auf Reeds Arbeiten aufbauten. Sie wurden für ihre Entdeckung und Entwicklung von Quantenpunkten ausgezeichnet, die als winzige Halbleiter-Nanokristalle einzigartige optische Eigenschaften besitzen und vielfältige Anwendungen in der Nanotechnologie finden.

Reeds Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

QLED: Quantenpunkte für brilliante Farbwidergabe (2025 haben OLED sowie LCD allerdings gemeinsam nahezu 100% Marktanteil)



#83 Tim Berners-Lee (1955 -)



08.06.1955	Geboren in London, England
1973 - 1976	Physikstudium am Queen's College der Universität Oxford
1976	Bachelorabschluss in Physik am Queen's College der Universität Oxford und Heirat mit Jane Northcote; die Ehe wurde 1980 geschieden
1976 - 1978	Tätigkeit bei Plessey Telecommunications Ltd in Poole
1978 - 1980	Softwareentwickler bei D.G. Nash Ltd in Ferndown
1980	Erste Tätigkeit am CERN als Berater; Entwicklung von „ENQUIRE", einem Hypertext-Prototyp
1981 - 1984	Direktor von Image Computer Systems, Bournemouth
1984	Rückkehr ans CERN als Fellow
1989	Vorschlag eines hypertextbasierten Informationssystems am CERN
1990	**Entwicklung von HTML, HTTP, URL, des ersten Browsers („WorldWideWeb") und Webservers („CERN httpd"); erste Website: info.cern.ch**
	Heirat mit Nancy Carlson; das Paar bekam eine Tochter und einen Sohn; die Ehe wurde 2011 geschieden
1991	Erste öffentliche Webverfügbarkeit über das Internet
1994	Gründung des World Wide Web Consortium (W3C) am MIT
1999	Veröffentlichung von Weaving the Web; Beginn als Inhaber des 3Com Founders Chair am MIT
2001	Wahl zum Fellow der Royal Society
2004	Ritterschlag durch Queen Elizabeth II.
2006	Berufung an die University of Southampton zur Arbeit am Semantic Web
2007	Aufnahme in den Order of Merit; Mitglied der National Academy of Engineering
2009	Gründung der World Wide Web Foundation; Wahl zum Foreign Associate der US National Academy of Sciences und Heirat mit Rosemary Leith; sie brachte zwei Töchter und einen Sohn mit in die Ehe
2012	Ehrung bei den Olympischen Spielen in London
2014	Forderung nach einer Internet-Grundrechtecharta
2017	Zustimmung zur Standardisierung von Encrypted Media Extensions (EME) durch das W3C
2018	Gründung des Start-ups Inrupt zur Umsetzung des Projekts „Solid"
2019	Vorstellung des „Contract for the Web" mit Prinzipien für ein offenes und sicheres Internet

Tim Berners-Lee nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#42 John Bardeen: Erfindung des Transistors, zentrale Grundlage für Computerhardware.
#67 Charles K. Kao: Glasfasertechnologie, essenziell für schnelle Datenübertragung.

#83 Erfindung des WorldWideWeb

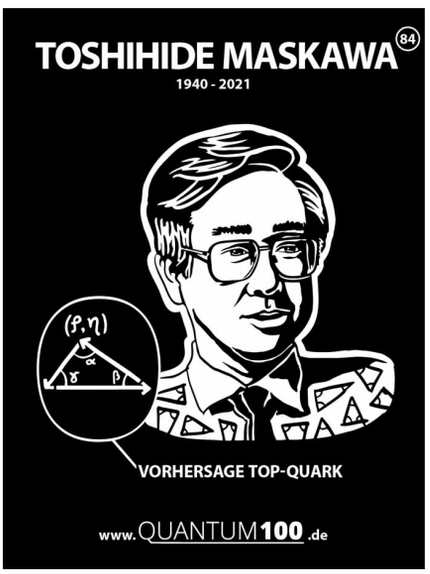
Tim Berners-Lee, ein britischer Physiker und Informatiker, arbeitete in den späten 1980er Jahren am CERN. In der international vernetzten Forschungseinrichtung erwies es sich als zunehmend schwierig, Informationen, Dokumente und Arbeitsergebnisse über unterschiedliche Computersysteme hinweg auszutauschen und miteinander zu verknüpfen.
Als Lösung entwickelte Berners-Lee ein internetbasiertes Hypertextsystem, aus dem das World Wide Web hervorging. Seine zentralen Bestandteile waren HTML (*Hypertext Markup Language*) zur Strukturierung von Dokumenten, URLs (*Uniform Resource Locator*) zu ihrer eindeutigen Adressierung und HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) zu ihrer Übertragung. Dadurch konnten Informationen nicht nur abgerufen, sondern durch Verweise unmittelbar miteinander verbunden werden.
Das World Wide Web veränderte zunächst die wissenschaftliche Kommunikation, entwickelte sich jedoch rasch zu einer Infrastruktur von weltweiter gesellschaftlicher Bedeutung. Berners-Lee verzichtete darauf, die grundlegende Technologie patentieren oder lizenzieren zu lassen. Diese Entscheidung für offene Standards war nicht nur technisch, sondern auch gesellschaftlich folgenreich.
Die Entstehung des World Wide Web steht beispielhaft für technische Neuerungen, die aus dem Umfeld physikalischer Grundlagenforschung hervorgehen, ohne ursprünglich ihr eigentliches Forschungsziel zu sein. Großforschungseinrichtungen erzeugen somit nicht nur neue Erkenntnisse über die Natur, sondern auch neuartige Instrumente, Verfahren und Kommunikationsformen, deren spätere Bedeutung kaum vorhersehbar ist.
Eine vergleichbare Freiheit und Offenheit wäre auch für die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz wünschenswert. Die gegenwärtige Realität ist jedoch eine andere: Leistungsfähige KI-Systeme entstehen überwiegend in großen Unternehmen und sind Teil kommerzieller Geschäftsmodelle. Ihre Funktionsweise, Trainingsdaten und technischen Grundlagen sind häufig nur eingeschränkt zugänglich. Neben offenen Forschungs- und Entwicklungsprojekten bestimmen deshalb wirtschaftliche Interessen zunehmend, wer KI entwickeln, kontrollieren und nutzen kann.

Berners-Lees Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

SocialMedia, Darknet, KI



#84 Toshihide Maskawa (1940 - 2021)



07.02.1940	Geboren in Nagoya, Japan
1958 - 1967	Physikstudium an der Universität Nagoya
1962	Studienabschluss in Physik an der Universität Nagoya
1967	Promotion in Teilchenphysik an der Universität Nagoya bei Shōichi Sakata; Beginn als Research Associate an der Universität Nagoya; Heirat mit Akiko Takahashi; das Paar bekam zwei Söhne
1970	Wechsel an die Universität Kyoto
1972	Veröffentlichung mit Makoto Kobayashi zur Erklärung der CP-Verletzung durch eine Erweiterung des Standardmodells: Vorhersage einer dritten Quarkgeneration
1973	Veröffentlichung des Artikels „CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction“, heute eine der meistzitierten Arbeiten in der Hochenergiephysik
1976	Assistenzprofessur an der Universität Tokio
1980	Professur am Yukawa-Institut für Theoretische Physik, Universität Kyōto
1990	Professur am Institut für Elementarteilchenphysik, Universität Kyōto
1995	**Entdeckung des Top-Quarks am Fermilab (Experiment CDF): experimentelle Bestätigung der Maskawa-Kobayashi-Vorhersage**
1997	Direktor des Yukawa-Instituts für Theoretische Physik
2003	Emeritierung an der Universität Kyōto, Professor an der Kyōto Sangyo University
2008	Verleihung des Nobelpreises für Physik (gemeinsam mit Makoto Kobayashi und Yōichirō Nambu) „für die Entdeckung des Ursprungs der gebrochenen Symmetrie, welche die Existenz von mindestens drei Quarkfamilien voraussagt“
23.07.2021	Gestorben an einer Krebserkrankung in Kyōto, Japan

Toshihide Maskawa nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#24 Paul Dirac: Einführung der Antimaterie und relativistischen Quantenfeldtheorie.
#60 Yōichirō Nambu: Spontane Symmetriebrechung – notwendig für das Verständnis von Massenentstehung in Quarks.
#64 Murray Gell-Mann: Quark-Modell als Grundlage für das Verständnis von Hadronen.

#84 Vorhersage des Top-Quarks

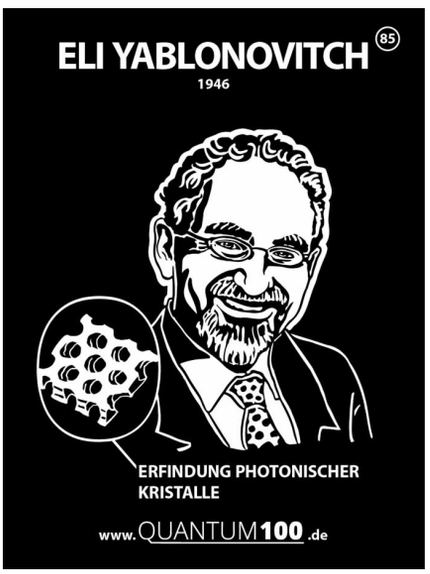
Toshihide Maskawa, ein japanischer theoretischer Physiker, leistete gemeinsam mit Makoto Kobayashi einen grundlegenden Beitrag zum Verständnis der CP-Verletzung. Als ihre Arbeit 1973 erschien, waren nur drei Quarks allgemein anerkannt: Up, Down und Strange. Ein viertes Quark, das Charm-Quark, war zwar bereits theoretisch vorgeschlagen, aber noch nicht experimentell nachgewiesen.
Lee und Yang hatten 1956 die Gültigkeit der Paritätserhaltung in der schwachen Wechselwirkung infrage gestellt; Chien-Shiung Wu und weitere Forschungsgruppen wiesen die Paritätsverletzung 1956/57 experimentell nach. Im Jahr 1964 entdeckten James Christenson, James Cronin, Val Fitch und René Turlay zusätzlich die CP-Verletzung im System der neutralen Kaonen. Dabei bezeichnet C den Austausch von Teilchen und Antiteilchen und P die räumliche Spiegelung. Das neutrale Kaon $K^0 = d\bar{s}$ wird durch eine CP-Transformation mit seinem Antiteilchen $\bar{K}^0 = \bar{d}s$ verknüpft. Die beobachteten Zerfälle zeigten jedoch, dass CP keine exakt erhaltene Symmetrie ist.
Kobayashi und Maskawa suchten nach einer Möglichkeit, diese CP-Verletzung innerhalb der elektroschwachen Theorie zu erklären. Sie erkannten, dass dafür mindestens drei Quarkgenerationen mit insgesamt sechs Quarks notwendig sind. In der heute nach Cabibbo, Kobayashi und Maskawa benannten CKM-Matrix tritt dann eine komplexe Phase auf, die zu unterschiedlichen Übergangswahrscheinlichkeiten für bestimmte Prozesse von Materie und Antimaterie führt.
Damit sagten Kobayashi und Maskawa eine dritte Quarkgeneration voraus. Das Bottom-Quark wurde 1977 und das Top-Quark 1995 am Fermilab entdeckt. Spätere Experimente an B-Mesonen bestätigten die Vorhersagen des CKM-Modells mit hoher Genauigkeit.
Kobayashi und Maskawa erhielten 2008 gemeinsam eine Hälfte des Nobelpreises für Physik „für die Entdeckung des Ursprungs der gebrochenen Symmetrie, die die Existenz von mindestens drei Quarkfamilien in der Natur vorhersagt“. Die andere Hälfte ging an Yoichiro Nambu.

Maskawas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Nachweis des Top-Quarks (1995)



#85 Eli Yablonovitch (1946 -)



15.12.1946	Geboren in Puch bei Hallein, Österreich
1960er	Physikstudium an der McGill University
1967	Bachelorabschluss in Physik an der McGill University
1969	Masterabschluss in Angewandter Physik an der Harvard University
1972	Promotion in Angewandter Physik an der Harvard University
1972 - 1974	Tätigkeit bei Bell Laboratories
1974 - 1976	Assistenzprofessor für Angewandte Physik an der Harvard University
1976 - 1979	Außerordentlicher Professor für Angewandte Physik an der Harvard University
1979	Wechsel zum Exxon Research Center; Forschung zu Solarzellen
ab 1979	Entwicklung des Yablonovitch-Limits für Lichtfang in Solarzellen ($4n^2$-Faktor)
1984 - 1993	Forscher bei Bell Communications Research (Bellcore), ab 1990 Direktor für Festkörperphysik
1987	**Erfindung der photonischen Kristalle und Entdeckung des vollständigen photonischen Bandgaps („Yablonovite“)**
1992	Professor für Elektrotechnik an der UCLA (Northrop-Grumman Chair)
2000–2008	Gründung mehrerer Firmen, u. a. Ethertronics, Luxtera, Luminescent, Alta Devices
2007	Professor für Elektrotechnik und Informatik an der UC Berkeley, Kalifornien
2012	Auszeichnung mit dem IEEE Photonics Award und dem Harvey Prize für Beiträge zur Photonik
2014	Verleihung des Rank Prize for Optoelectronics
2015	Auszeichnung mit der Isaac Newton Medal (Institute of Physics)
2016	Verleihung des Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize für Grundlagenforschung zu photonischen Kristallen
2017	IEEE William R. Cherry Award für Beiträge zur Solarzellentechnologie
2018	Verleihung der IEEE Edison Medal
2019	Auszeichnung mit der Frederic Ives Medal / Jarus W. Quinn Prize und der Benjamin Franklin Medal
2021	Emeritierung an der UC Berkeley

Er ist verheiratet mit seiner Frau Karen (Nachname unbekannt)

Eli Yablonovitch nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Edward Purcell (1946): Erkenntnis, dass die spontane Emissionsrate eines Atoms durch seine elektromagnetische Umgebung verändert werden kann.
Randall Hulet, Eric Hilfer und Daniel Kleppner (1985): Experimenteller Nachweis der Unterdrückung spontaner Emission durch veränderte elektromagnetische Randbedingungen.

#85 Erfindung photonischer Kristalle

Eli Yablonovitch, ein amerikanischer Physiker, machte in den 1980er Jahren eine bahnbrechende Entdeckung, die Entwicklung von photonischen Kristallen ermöglichte. Photonische Kristalle sind künstliche Materialien, die aus regelmäßig angeordneten Strukturen bestehen, die Lichtwellen in einer bestimmten Weise manipulieren können.
In seinen bahnbrechenden Arbeiten Anfang der 1980er Jahre, in denen er die Idee der künstlichen photonischen Kristalle formulierte, zog er ausdrücklich Vergleiche zu Strukturen in der Natur, wie etwa Schmetterlingsflügeln, die Licht durch periodische Mikrostrukturen manipulieren, um bestimmte Farbenspiele zu erzeugen.
Die Idee von Yablonovitch und John war, eine ähnliche Struktur zu erstellen, die aus regelmäßig angeordneten Lücken oder Punkten besteht, die Lichtwellen in einer bestimmten Weise streuen. Durch die Variation der Größe und der Anordnung dieser Lücken kann die Lichtstreuung kontrolliert werden, was es ermöglicht, bestimmte Frequenzen oder Wellenlängen zu filtern oder zu manipulieren.
Photonische Kristalle haben zu einer Vielzahl von Anwendungen in der Optik, der Photonik und der Materialwissenschaft geführt. Photonische Kristalle können verwendet werden, um optische Filter, Resonatoren und Wellenleiter zu erstellen, die in der Telekommunikation, der Medizin und der Materialanalyse eingesetzt werden können.

Yablonovitchs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Optische Filter, Resonatoren und Wellenleiter in technischen Anwendungen

#86 Shuji Nakamura (1954 -)



22.05.1954	Geboren in Seto, Präfektur Ehime, Japan
1970er	Elektroingenieursstudium an der Universität Tokushima
1977	Bachelorabschluss an der Universität Tokushima
1979	Masterabschluss an der Universität Tokushima und Beginn der Tätigkeit bei Nichia Corporation (Tokushima)
1980	Heirat mit Yuki (Nachname unbekannt); das Paar hat drei Töchter
1988	Überzeugt Firmengründer Nobuo Ogawa, ihm Budget für GaN-Forschung (Galliumnitrid) zu geben
1989	Aufenthalt an der University of Florida zur MOCVD-Forschung (metallorganische chemische Gasphasenabscheidung)
1990	Beobachtung eines deutlich höheren Elektronenflusses im GaN-Kristall
1991	Erste Veröffentlichung zur GaN-Forschung in Applied Physics Letters (ohne Firmenfreigabe)
1992	**Vorstellung der ersten blauen LED mit verbesserter Lichtausbeute**
1993	Herstellung der ersten hocheffizienten blauen LED mit Indium-Gallium-nitrid bei Nichia; Leiter der Forschungsabteilung
1994	Verleihung des Doktortitels durch Universität Tokushima
1996	Präsentation der ersten weißen LED (blaue LED + gelber Phosphor) durch Nichia
1999	Verlassen von Nichia; Einladung durch UC Santa Barbara
2000	Berufung als Professor an die UC Santa Barbara
2001	Klage gegen Nichia auf faire Vergütung für seine Erfindung
2005	Vergleich mit Nichia über 840 Millionen Yen (8,1 Mio. US $) – höchste Summe in Japan für eine Arbeitnehmererfindung
2006	Millennium Technology Prize
2008	Mitbegründung des LED-Unternehmens Soraa
2014	Nobelpreis für Physik (mit Isamu Akasaki und Hiroshi Amano) „für die Erfindung effizienter, blaues Licht ausstrahlender Dioden, die helle und energiesparende Lichtquellen ermöglicht haben“
2014	Verleihung des japanischen Kulturordens
2015	Charles-Stark-Draper-Preis, Global Energy Prize; Aufnahme in die National Inventors Hall of Fame
2022	Mitbegründung von Blue Laser Fusion, einem Unternehmen zur Laserkernfusion

Shuji Nakamura nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#61 Nick Holonyak: Erfinder der ersten funktionierenden roten LED → Basiswissen über Halbleiteremission.

#86 Erfindung der blauen LED

Shuji Nakamura, ein japanischer Ingenieur, machte in den 1990er Jahren eine bahnbrechende Entdeckung, die Entwicklung von LEDs (Light Emitting Diodes) revolutionieren sollte. Während seiner Arbeit bei der Firma Nichia Corporation in Japan entwickelte Nakamura in seiner „Freizeit“ eine blaue LED, die bis dahin als unmöglich galt.
Die blaue LED war ein lang gesuchtes Ziel in der Entwicklung von LEDs, da sie die letzte fehlende Farbe in der Palette der LEDs war, um weißes Licht zu erzeugen. Nakamura arbeitete an diesem Projekt in seiner „Freizeit“, da die Firma Nichia Corporation ihm keine offizielle Genehmigung für das Projekt erteilt hatte. Trotzdem gelang es ihm, eine funktionierende blaue LED zu entwickeln, indem er Galliumnitrid (GaN) als Material verwendete. Die Entdeckung der blauen LED durch Nakamura hatte weitreichende Auswirkungen auf die Industrie. Sie ermöglichte die Entwicklung von weißen LEDs, die durch die Kombination von blauen, roten und grünen LEDs entstehen.
Nachdem Nakamura seine Erfindung der blauen LED gemacht hatte, kam es zu einem Rechtsstreit zwischen ihm und der Firma Nichia Corporation. Die Firma behauptete, dass Nakamura die Erfindung während seiner Arbeitszeit gemacht habe und daher das Patent auf die blaue LED der Firma gehöre. Nakamura argumentierte jedoch, dass er die Erfindung in seiner Freizeit gemacht habe und daher die Rechte an der Erfindung besitze. Letztendlich verlor 2005 die Firma Nichia Corporation den Rechtsstreit, und Nakamura erhielt die Rechte an seiner Erfindung und eine Abfindung von 840 Millionen Yen (etwa 8,1 Millionen US-Dollar) von seinem ehemaligen Arbeitgeber Nichia Corporation erhielt. Diese Summe war damals die höchste, die ein japanisches Unternehmen je an einen Mitarbeiter für eine Erfindung gezahlt hatte.
Seit 2000 ist Shuji Nakamura Professor für Materialwissenschaften und Elektrotechnik an der University of California, Santa Barbara (UCSB). Er erhielt 2014 den Nobelpreis für Physik gemeinsam mit Isamu Akasaki und Hiroshi Amano für die Erfindung effizienter blauer Leuchtdioden.

Nakamuras Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Weisses Licht mit LEDs (=Rot + Grün + Blau) und damit Durchbruch für technischen Anwednungen, u.a. für Displays

#87 James Zimmerman (1923 - 1999)



19.02.1923	Geboren in Lantry, South Dakota, USA
1940er	Elektrotechnikstudium an der South Dakota School of Mines and Technology
1943	Bachelorabschluss an der South Dakota School of Mines and Technology
1943 - 1945	Arbeit bei Westinghouse Research Laboratory (Radarentwicklung); Einsatz in Sydney (Australien)
1945	Heirat mit Jean McLeod; das Paar bekam eine Tochter
1951	Promotion in Physik an der Carnegie Institute of Technology (bei Immanuel Estermann) zur Tieftemperaturphysik
1953 - 1955	Forschung zur Solarkonstante für die Smithsonian Institution in Kalifornien und Chile
1955	Beginn der Tätigkeit in der Tieftemperaturgruppe der Ford Motor Company
1964	Vereinfachung eines Josephson-Interferometers durch eigene Konstruktion mit zwei Niob-Drähten
1965	**Entwicklung des ersten rf-SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) mit Arnold Silver**
1969	Mitbegründung der Firma SHE (später BTI), Vermarktung der ersten kommerziellen rf-SQUIDs
1969	Mitwirkung an der ersten Aufzeichnung eines Magnetokardiogramms (MIT, mit Cohen & E. Edelsack)
1970	Eintritt in das National Bureau of Standards (NBS, heute NIST) in Boulder, Colorado
1970er	Entwicklung des SQUID-Gradiometers und des *fractional-turn SQUIDs*, wodurch die Empfindlichkeit und die Kopplungseffizienz verbessert wurden.
1976	Beteiligung an der ersten Erfassung von magnetischen Hirnsignalen nach akustischer Stimulation
1977	Gemeinsam mit Ray Radebaugh Entwicklung eines weitgehend aus Kunststoff bestehenden Tieftemperaturkühlers, mit dem ein SQUID ohne einen Vorrat an flüssigem Helium betrieben wurde.
1985	Ruhestand am NIST; anschließend weitere Tätigkeit als Gastwissenschaftler.
1987	Bau eines der ersten SQUIDs aus den neu entdeckten Hochtemperatur-Supraleitern.
1987	Herstellung eines der ersten SQUIDs auf Basis von Hochtemperatursupraleitern
1987	Auszeichnung mit dem Humboldt-Forschungspreis
04.08.1999	Gestorben an Lungenkrabs in Boulder, Colorado, USA

James Zimmerman nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#62 Brian Josephson: Josephson-Effekt – ermöglicht supraleitende Tunnelströme, Herzstück eines SQUID.
Philip W. Anderson und John Rowell (1963): Experimenteller Nachweis des Josephson-Effekts.

#87 Erfindung des SQUID

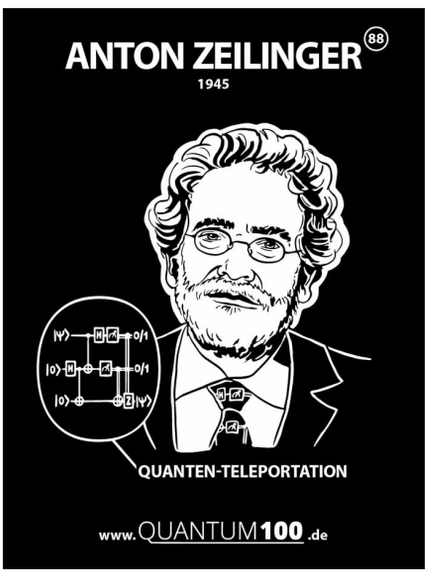
James Zimmerman, ein amerikanischer Physiker, machte in den 1960er Jahren eine wichtige Entdeckung, die Entwicklung von hochsensitiven Magnetfeldsensoren ermöglichte. Er erfand den SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), ein Gerät, das in der Lage ist, extrem kleine Änderungen in Magnetfeldern zu messen. Er kombiniert dafür zwei Supraleiter zu einer kreisförmig geschlossenen Struktur, wobei die beiden Tunnelkontakte zwischen den Supraleitern zwei Josephson-Junctions entsprechen. Damit lassen sich Magnetfelder bis zur durch die Quantenphysik gegebenen grundlegenden kleinstmöglichen Grenze einzelner „Flussquanten“ $h/(2e)$ auflösen.
Die Erfindung des SQUIDs durch Zimmerman hat zu einer Vielzahl von Anwendungen in der Physik, der Medizin und der Technologie geführt. SQUIDs werden heute verwendet, um extrem kleine Magnetfelder zu messen, wie sie in der Geophysik, der Materialwissenschaft und der medizinischen Bildgebung benötigt werden.
Die SQUIDs in IBM-Quantencomputern werden auf etwa 10–20 Millikelvin gekühlt, also deutlich unterhalb ihrer Sprungtemperatur von mehreren Kelvin, um thermische Anregungen zu vermeiden und kohärente Quantenzustände mit langen Dekohärenzzeiten zu ermöglichen.

Zimmermans Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Definition von 1 Volt über Klitzing-Widerstand, Bau von Quantencomputern, z.B. verwendet IBM supraleitende Transmon-Qubits und SQUID-basierte abstimmbare Koppler.



#88 Anton Zeilinger (1945 -)



20.05.1945	Geboren in Ried im Innkreis, Österreich
1963–1971	Studium der Physik und Mathematik an der Universität Wien
1971	Promotion an der Universität Wien zur Neutronendepolarisation in Dysprosium-Einkristallen
1971–1979	Forschungsassistent an der TU Wien (Neutroneninterferometrie, Nachweis des Spinor-Vorzeichenwechsels bei 360°-Rotation)
1974–1975	Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (MIT) bei Clifford Shull (Fulbright-Stipendium)
1979	Habilitation an der TU Wien
1981–1983	Associate Professor am MIT
1983–1985	Professur an der Technischen Universität Wien
1985–1990	Professur an der Technischen Universität München
1990	Ordentlicher Professor an der Universität Innsbruck, Vorstand des Instituts für Experimentalphysik
1996	Erste Demonstration der dichten Kodierung mit zwei verschränkten Zweizustandssystemen
1997	**Erste experimentelle Demonstration der Quantenteleportation eines Photons**
1998	Erste Demonstration von „Entanglement Swapping“
1999	Berufung als Professor an die Universität Wien, Vorstand des Instituts für Experimentalphysik
1999	Erste Demonstration eines GHZ-Zustands mit drei Teilchen
2000	Erste Anwendung der Quantenkryptografie mit verschränkten Photonen
2006–2009	Dekan der Fakultät für Physik, Universität Wien
2012	Verschränkung des Bahndrehimpulses bis 300 $\hbar$ nachgewiesen
2013	Emeritierung an der Universität Wien
2013–2022	Präsident der Österreichischen Akademie der Wissenschaften
2014	Aufnahme in die US-amerikanische National Academy of Sciences
2022	Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit Alain Aspect und John Clauser) „für Experimente mit verschränkten Photonen, Nachweis der Verletzung der Bell’schen Ungleichungen und wegweisende Quanteninformationswissenschaft“

Er ist seit Anfang der 1970er Jahre mit seiner Frau Elisabeth verheiratet; das Paar hat eine Tochter und zwei Söhne

Anton Zeilinger nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#34 Albert Einstein: EPR-Paradoxon – Einführung des Begriffs „spukhafte Fernwirkung“. #66 John S. Bell: Bell’sche Ungleichungen – mathematischer Beweis der Nichtlokalität. #74 Alain Aspect: Experimenteller Nachweis der Quantenverschränkung – Grundlage für praktische Quanten-Teleportation.

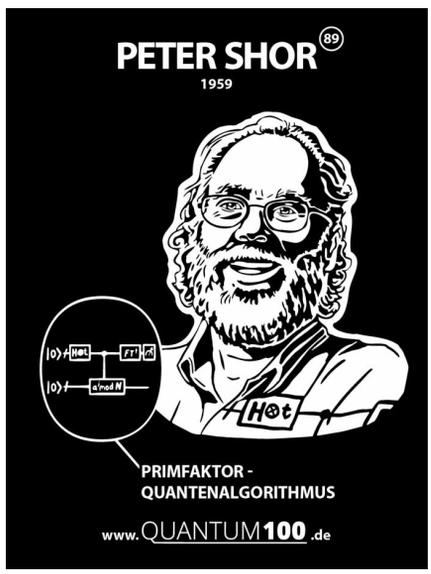
#88 Quanten-Teleportation

Anton Zeilinger, ein österreichischer Experimentalphysiker, leistete bahnbrechende Beiträge zur Erforschung der Quantenverschränkung und zu den Grundlagen der Quanteninformation. Seine Arbeiten zeigen, dass die Quantenmechanik Korrelationen vorhersagt, die sich nicht durch lokale Theorien mit vorab festgelegten Eigenschaften erklären lassen.
Zeilinger und seine Forschungsgruppen verwendeten unter anderem nichtlineare BBO-Kristalle. Bei der parametrischen Fluoreszenz kann darin ein energiereiches Pump-Photon in zwei energieärmere Photonen umgewandelt werden. Durch eine geeignete Versuchsanordnung entstehen Photonenpaare, deren Polarisationen miteinander verschränkt sind. Mit solchen Quellen untersuchte seine Gruppe Bell-Ungleichungen, Mehrteilchenverschränkung und GHZ-Zustände. Zu Zeilingers bekanntesten Arbeiten gehört die erste experimentelle Demonstration der Quantenteleportation eines unabhängigen Quantenzustands im Jahr 1997. Dabei wird keine Materie übertragen, sondern der Zustand eines Teilchens mithilfe eines verschränkten Teilchenpaars, einer gemeinsamen Messung und einer klassischen Nachricht auf ein entferntes Teilchen übertragen. Seine Gruppe realisierte außerdem Entanglement Swapping, Quantenkryptografie und Quantenteleportation über große Entfernungen.
Wissenschaftspolitisch tritt Zeilinger als Fürsprecher freier, öffentlich finanzierter Grundlagenforschung hervor. Er kritisiert eine übermäßige Bürokratisierung der Forschungsförderung und die Forderung, Nutzen und Ergebnisse eines Projekts bereits im Voraus festzulegen. Darüber hinaus setzt er sich für internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit, die Förderung hochbegabter Jugendlicher und mehr weibliche Vorbilder in der Wissenschaft ein.
Anton Zeilinger erhielt 2022 gemeinsam mit John Clauser und Alain Aspect den Nobelpreis für Physik für Experimente mit verschränkten Photonen, die Verletzung von Bell-Ungleichungen und ihre Pionierarbeiten auf dem Gebiet der Quanteninformationswissenschaft.

Zeilingers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#78 Bennett: Nachweis von Quantenteleportation, #93 Vandersypen: Pionier des Quantencomputers, sowie: Quantenkryptographie, Quanteninternet

#89 Peter Shor (1959 -)



14.08.1959	Geboren in New York City, USA
1977	Silbermedaille bei der Internationalen Mathematik-Olympiade in Jugoslawien
1970er-1980er	Mathematikstudium am California Institute of Technology (Caltech)
1981	Bachelorabschluss in Mathematik am Caltech
1985	Promotion am Massachusetts Institute of Technology (MIT) bei Tom Leighton über die probabilistische Analyse von „Bin-Packing-Algorithmen“
1985 - 1986	Postdoc an der University of California, Berkeley
ab 1986	Forscher bei Bell Labs, Entwicklung des Shor-Algorithmus
1987	Heirat mit Jennifer S. Collins; das Paar hat eine Tochter
1994	**Vorstellung des Shor-Algorithmus, ein quantenmechanischer Faktorisierungsalgorithmus mit exponentiellem Geschwindigkeitsvorteil gegenüber klassischen Verfahren**
1995	Entwicklung des ersten fehlerkorrigierenden Quantencodes (9-Qubit-Shor-Code)
1998	Verleihung des Nevanlinna-Preises beim International Congress of Mathematicians in Berlin (Plenarvortrag „Quantum Computing“)
2002	Wahl in die National Academy of Sciences
2003	Professur für Angewandte Mathematik am MIT (Henry Adams Morss Professor)
2011	Wahl in die American Academy of Arts and Sciences
2020	Wahl in die National Academy of Engineering
2023	Breakthrough Prize in Fundamental Physics für Grundlagenarbeiten zur Quanteninformation
2025	Verleihung des Claude E. Shannon Awards

Peter Shor nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#20 John von Neumann: Mathematische Axiome der Quantenmechanik – Grundlagen der formalen Struktur von Quantencomputern.
#78 Charles H. Bennett: Quantenkommunikation und frühe Quanteninformationsverarbeitung.

#89 Primfaktor-Quantenalgorithmus

Der Shor-Algorithmus wurde 1994 von Peter Shor entwickelt und ist ein wegweisender Quantenalgorithmus zur Zerlegung großer ganzer Zahlen in ihre Primfaktoren. Für klassische Computer ist kein Faktorisierungsalgorithmus mit polynomieller Laufzeit bekannt; die besten bekannten klassischen Verfahren besitzen subexponentielle Laufzeiten. Der Shor-Algorithmus löst das Problem dagegen auf einem hinreichend großen, fehlerkorrigierten Quantencomputer in polynomialer Zeit.
Dies hat große Bedeutung für die Kryptographie. Die Sicherheit des RSA-Verfahrens beruht auf der Schwierigkeit, große Zahlen in ihre Primfaktoren zu zerlegen. Shors Verfahren kann darüber hinaus auch diskrete Logarithmen effizient bestimmen und bedroht daher ebenso Diffie-Hellman-Verfahren und die Kryptographie mit elliptischen Kurven.
Shors Algorithmus zeigte erstmals besonders deutlich, dass Quantencomputer praktisch wichtige Probleme grundsätzlich schneller lösen könnten als bekannte klassische Algorithmen. Dadurch wurde Quanteninformation von einem vorwiegend theoretischen Forschungsgebiet zu einem strategisch wichtigen Thema.
Der Algorithmus wurde bereits mit kleinen Zahlen auf Quantenprozessoren demonstriert. Die erste experimentelle Faktorisierung von $15 = 3 * 5$ mit Shors Algorithmus gelang 2001 einer IBM-Gruppe um Lieven Vandersypen und Isaac Chuang. Sie verwendete einen Sieben-Qubit-Quantencomputer auf Grundlage der Kernspinresonanz in Molekülen.
Shor warnt davor, die Gefahr für heutige Verschlüsselungsverfahren zu unterschätzen: Leistungsfähige Quantencomputer könnten künftig RSA und andere verbreitete Verfahren brechen. Deshalb fordert er einen rechtzeitigen Übergang zu quantenresistenter Kryptographie.

Shors Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#93 Vandersypen: Grundlegende experimentelle Demonstration des Shor-Algorithmus, #99 Grover: Quanten-Suchalgorithmus

#90 John Mather (1946 -)



07.08.1946	Geboren in Roanoke, Virginia, USA
1960er	Physikstudium am Swarthmore College
1968	Bachelorabschluss in Physik
1974	Promotion an der University of California, Berkeley, über experimentelle Kosmologie (Ballonmessung der Hintergrundstrahlung)
1974 - 1976	Postdoc am Goddard Institute for Space Studies der Columbia University (zugehörig zur NASA), erste Messungen mit Mikrowellenempfängern
ab 1976	Mitinitiator und dann zentraler Wissenschaftler des COBE-Satellitenprojekts
90. 1980	Heirat mit der Ballettlehrerin Jane Hauser
1992	**Veröffentlichung der mit dem DMR-Instrument gemessenen kleinen Anisotropien der kosmischen Hintergrundstrahlung; sie gelten als Keime der späteren kosmischen Strukturen**
1980 - 1995	Leitung des COBE-Projekts am Goddard Space Flight Center
1993	Ernennung zum Senior Astrophysicist am NASA Goddard Space Flight Center
1995	Beginn als Senior Project Scientist für das James Webb Space Telescope (JWST)
1997	Wahl in die National Academy of Sciences
2006	Verleihung des Nobelpreises für Physik (mit George Smoot) „für die Untersuchung der kosmischen Hintergrundstrahlung“

John Mather nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#2 Otto Lummer: Messung der Schwarzkörperstrahlung – Grundlage für das Verständnis des Strahlungshintergrunds.
#9 Max Planck: Planck'sches Strahlungsgesetz für einen schwarzen Körper
Arno Penzias und Robert Wilson (1965): Experimentelle Entdeckung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung.

#90 Quantenfluktuationen in kosmischer Hintergrundstrahlung

John Mather, ein amerikanischer Astrophysiker und Kosmologe, leistete wesentliche Beiträge zur Erforschung des frühen Universums. Sein wichtigster Beitrag im Rahmen der COBE-Mission war der Nachweis, dass die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung nahezu exakt einem Planckschen Schwarzkörperspektrum entspricht. Die Hintergrundstrahlung wurde 1964 von Arno Penzias und Robert Wilson entdeckt; ihre Ergebnisse wurden 1965 veröffentlicht. Sie wurde etwa 380.000 Jahre nach dem Urknall frei, als sich Strahlung und Materie bei einer Temperatur von ungefähr 3000 K weitgehend entkoppelten. Infolge der Expansion des Universums ist ihre mittlere Temperatur heute auf etwa 2,725 K gesunken. Mather war Projektwissenschaftler der 1989 gestarteten COBE-Mission (*Cosmic Background Explorer*) und leitender Wissenschaftler des FIRAS-Instruments. George Smoot war maßgeblich für die Messung der winzigen räumlichen Temperaturschwankungen der Hintergrundstrahlung verantwortlich.
Für die Entdeckung der Schwarzkörperform und der Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung erhielten John Mather und George Smoot 2006 gemeinsam den Nobelpreis für Physik.

Mathers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

#91 Smoot: Quantenfluktuationen in kosmischer Hintergrundstrahlung

#91 George Smoot (1945 - 2025)



20.02.1945	Geboren in Yukon, Florida, USA
1960er	Studium der Mathematik und Physik am Massachusetts Institute of Technology (MIT)
1966	Bachelorabschluss in Mathematik und Physik am MIT
1970	Promotion in Teilchenphysik am MIT, Wechsel an das Lawrence Berkeley National Laboratory (UC Berkeley), Zusammenarbeit mit Luis W. Alvarez am HAPPE-Projekt
1970er	Entwicklung eines Differenz-Radiometers zur Messung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung (CMB), erste Fluganalyse mit U-2-Flugzeugen
1976	Auswahl des COBE-Konzepts durch die NASA; Smoot übernahm die Entwicklung und wissenschaftliche Leitung des Differential Microwave Radiometer (DMR)
1992	**Veröffentlichung der COBE-Daten: erster Nachweis winziger Anisotropien der kosmischen Hintergrundstrahlung, aus denen sich später Galaxien und andere kosmische Strukturen entwickelten**
2006	Nobelpreis für Physik gemeinsam mit John C. Mather „für die Entdeckung der Schwarzkörperform und der Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung“
2009	Gastauftritt in der Fernsehserie „The Big Bang Theory“; Gewinn von einer Million US-Dollar in der Sendung „Are You Smarter Than a 5th Grader?“
2010er	Beteiligung an weiteren kosmologischen Projekten, darunter Planck, Spitzer und das nicht realisierte Satellitenprojekt SNAP
18.09.2025	Tod infolge eines Herzinfarkts in Paris, Frankreich

George Smoot nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#2 Otto Lummer: Messung der Schwarzkörperstrahlung – Grundlage für das Verständnis des Strahlungshintergrunds.
#9 Max Planck: Planck'sches Strahlungsgesetz für einen schwarzen Körper
Arno Penzias und Robert Wilson (1965): Experimentelle Entdeckung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung.

#91 Quantenfluktuationen in kosmischer Hintergrundstrahlung

Messungen mit dem FIRAS-Spektrometer (*Far Infrared Absolute Spectrophotometer*) unter der Leitung von John Mather zeigten, dass das Spektrum der Hintergrundstrahlung mit außerordentlich hoher Genauigkeit der Planckschen Strahlungsverteilung eines schwarzen Körpers entspricht. Die räumlichen Temperaturanisotropien wurden dagegen mit dem DMR-Instrument unter der Leitung von George Smoot nachgewiesen. Sie liegen in der Größenordnung einiger zehn Mikrokelvin beziehungsweise relativ zur Mitteltemperatur bei etwa 10^{-5}. In gängigen Inflationsmodellen gehen die primordialen Dichtefluktuationen, die sich in diesen Anisotropien zeigen, auf Quantenfluktuationen von Feldern während der Inflation zurück. Durch die beschleunigte Expansion wurden diese Fluktuationen auf kosmische Längenskalen gestreckt und entwickelten sich zu den Ausgangsstörungen, aus denen später Galaxien und andere kosmische Strukturen entstanden. COBE maß die Quantenfluktuationen somit nicht unmittelbar, sondern ihre späteren kosmologischen Spuren.
Für die Entdeckung der Schwarzkörperform und der Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung erhielten George Smoot und John Mather 2006 gemeinsam den Nobelpreis für Physik.

Smoots Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Smoots Arbeiten ebneten den Weg für die präzise Kartierung der Temperatur- und Polarisationsmuster der kosmischen Hintergrundstrahlung (WMAP, Planck) und für Tests kosmologischer Modelle

#92 Markus Arndt (1965 -)



14.09.1965	Geboren in Unkel, Deutschland
1985 - 1991	Studium der Physik an der Universität Bonn und an der Ludwig-Maximilian-Universität München.
1991 - 1994	Während seines Doktorats am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching forschte er zur optischen und magnetooptischen Spektroskopie an Metallatomen in flüssigem und festem Helium.
1995 - 1995	Forschung an Multi-Photon Resonanzen in der Spektroskopie von Cäsium in festem Helium in Garching.
1995 - 1997	Postdoc im Gebiet Atomoptik in der Zeit und Ultrakalte Stöße an der Ecole Normale Supérieure, Paris.
1997 - 1999	Postdoc bei Anton Zeilinger an der Universität Innsbruck, Österreich und Arbeit an Magnetooptik mit lasergekühlten Atomen.
1999 - 2002	Universitätsassistent von Anton Zeilinger am Institut für Experimentalphysik an der Universität Wien und **erste Experimente zur Beugung und Interferometrie des Fullerens C60.**
2002	Habilitation über Themen der Atom- und Molekülinterferometrie.
2002 - 2004	Außerordentlicher Professor an der Universität Wien.
ab 2004	Professor für Quantennanophysik an der Fakultät für Physik an der Universität Wien.
2004–2008	Ausbau der Forschung zur Interferenz und Dekohärenz großer Moleküle
2008	Ernennung zum ordentlichen Professor für Quantennanophysik; Auszeichnung mit dem Wittgenstein-Preis
2010	Mitbegründer des Vienna Center for Quantum Science and Technology (VCQ)
2012	Einwerbung eines ERC Advanced Grant für Experimente mit komplexen organischen und biologischen Molekülen
2012–2014	Dekan der Fakultät für Physik der Universität Wien
2013	**Entwicklung eines universellen Materiewelleninterferometers mit gepulsten optischen Ionisationsgittern**
2014	Wahl zum korrespondierenden Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften
2019	**Nachweis von Quanteninterferenz bei komplexen Molekülen mit Massen von mehr als 25.000 atomaren Masseneinheiten**
seit 2021	Leitung des Forschungsprojekts ELUQUINT zur Untersuchung der Grenzen universeller Quanteninterferenz
	Er ist verheiratet und hat zwei Söhne

Markus Arndt nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#13 Louis de Broglie: Materiewellen – Arndts Arbeit baut direkt auf der Idee auf, dass auch größere Teilchen Wellencharakter haben und somit interferieren können.

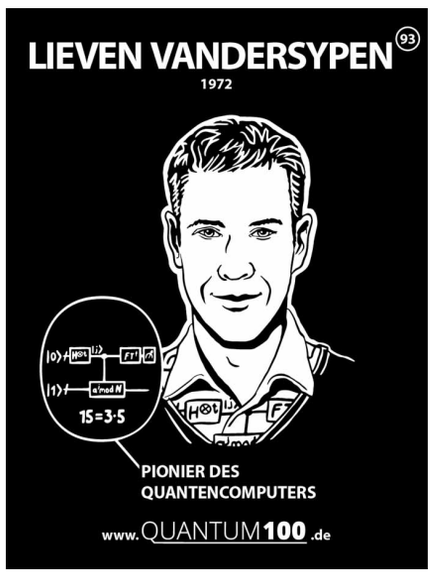
#92 Interferenz von Makromolekülen

Markus Arndt, ein österreichischer Physiker, hat durch seine Arbeit auf dem Gebiet der Quantenmechanik und der Molekülphysik wichtige Beiträge zur Erforschung von Makromolekülen geleistet. Eine seiner bedeutendsten Entdeckungen ist die Durchführung von Interferenzexperimenten mit Makromolekülen, die unsere Kenntnisse über die Quantenmechanik auf der makroskopischen Ebene erweitert haben.
Die Experimente von Arndt und seinem Team haben gezeigt, dass auch Makromoleküle, die aus tausenden von Atomen bestehen, quantenmechanisches Verhalten aufweisen können. Dieses Verhalten manifestiert sich in der Form von Interferenzmustern, die durch die Überlagerung von Wellenfunktionen entstehen. Diese Ergebnisse haben unsere Kenntnisse über die Grenzen der Gültigkeit der Quantenmechanik auf der makroskopischen Ebene erweitert und wichtige Beiträge zur Entwicklung von Theorien über die Quantenmechanik in komplexen Systemen geleistet.
Die Arbeit von Arndt und seinem Team hat auch wichtige Beiträge zur Entwicklung von neuen Methoden für die Charakterisierung von Molekülen und Materialien geleistet. Durch die Verwendung von Interferenzexperimenten können Forscher nun die Struktur und die Eigenschaften von Molekülen und Materialien auf der nanoskaligen Ebene untersuchen.

Arndts Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Interferenz immer größerer Moleküle, experimentelle Untersuchungen der Dekohärenz und Tests der Gültigkeitsgrenzen der Quantenmechanik

#93 Lieven Vandersypen (1972 -)



19.09.1972	Lieven Mark Koen Vandersypen wird in Löwen, Belgien geboren
1996	Master im Fach Maschinenbau an der Universität Löwen, Belgien
1997	Master im Fach Elektrotechnik an der Stanford Universität, Kalifornien, USA
2001	Tätigkeit an der Technischen Hochschule Delft, Niederlande
2002	Promotion mit dem Titel „Experimentelle Quantenberechnung mit Kernspins in flüssiger Lösung“ an der Stanford Universität
2003	Leitung einer Forschungsgruppe zur Untersuchung von spins in Halbleitern an der Technischen Hochschule Delft
2006	Assistenzprofessor an der Technischen Hochschule Delft
ab 2007	Antoni van Leeuwenhoek Professor für Quanten-Nanowissenschaften am Kavli-Institut in Delft
2010	Sabbatjahr und Promotion am Massachusetts-Institut für Technologie
2014	Mitbegründer des QuTech Forschungszentru.
2015	Sabbatjahr an der Universität New South Wales
ab 2017	Ko-Direktor des Kavli-Instituts für Nanowissenschaft in Delft.
ab 2020	Außerdem Forschungsdirektor von QuTech
	Er ist verheiratet

Lieven Vandersypen nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

89 Peter Shor: Quantenalgorithmus zur effizienten Primfaktorzerlegung
David Beckman, Amalavoyal Chari, Srikrishna Devabhaktuni und John Preskill (1996): Effiziente Quantenschaltungen zur Umsetzung der Faktorisierung.

#93 Pionier des Quantencomputers

Lieven Vandersypen, ein belgischer Physiker, ist ein Pionier auf dem Gebiet des Quantencomputers. Er hat wichtige Beiträge zur Entwicklung von Quantencomputern geleistet und ist bekannt für seine Arbeit auf dem Gebiet der Quanteninformationsverarbeitung. Vandersypen und sein Team haben erfolgreich sogenannte Qubits in verschiedenen Materialien und Systemen implementiert, die anders als klassische Bits nicht nur die Werte 0 oder 1, sondern auch Superpositionszustände annehmen können.
Eine der wichtigsten Errungenschaften von Vandersypen war die Demonstration von Quantencomputing-Operationen mit Hilfe von Qubits. Er und sein Team haben gezeigt, dass es möglich ist, Qubits zu verwenden, um einfache Quantenalgorithmen auszuführen, wie zum Beispiel den Quanten-Fourier-Transformations-Algorithmus. Die Faktorisierung von $15 = 3 \cdot 5$ wurde 2001 am IBM Almaden Research Center in San José, Kalifornien, durchgeführt. Vandersypen leitete als Doktorand bei Isaac Chuang das Experiment. Verwendet wurde ein speziell synthetisiertes Molekül, dessen sieben Kernspins als Qubits dienten und durch Flüssigkeits-NMR kontrolliert wurden. Vandersypens Arbeit hat seitdem wichtige Beiträge zur Entwicklung von Quantencomputern geleistet und hat den Weg für die Realisierung von praktischen Quantencomputern geebnet. Seine Forschung hat auch wichtige Auswirkung auf die Entwicklung von Quanten-Simulationen, Quanten-Kryptographie und andere Anwendungen von Quantencomputern.

Vandersypens Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Technische Umsetzung von Quantencomputing-Hardware

#94 Takaaki Kajita (1959 -)



09.03.1959	Takaaki Kajita wird in Higashimatsuyama, Japan geboren.
1981	Abschluss an der Universität Saitama, Japan
1986	Promotion an der Universität Tokio, Japan
1988	Tätigkeit am Institut für kosmische Strahlungsforschung an der Universität Tokio und Entdeckung der „atmosphärischen Neutrino-Anomalie“
1992	Assistenzprofessor an der Universität Tokio
1998	**Entdeckung der Neutrinooszillation, die zeigt, dass Neutrinos eine Masse haben.**
1999	Professor an der Universität Tokio
2015	Takaaki Kajita erhält gemeinsam mit Arthur McDonald für seine Entdeckung den Nobelpreis

Er ist mit seiner Frau Michiko verheiratet; das Paar hat eine Tochter und einen Sohn

Takaaki Kajita nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Ziro Maki, Masami Nakagawa und Shoichi Sakata (1962): Theorie der Mischung verschiedener Neutrinozustände – Grundlage der heutigen Beschreibung durch die PMNS-Matrix (inspiriert durch #84 Maskawa: CKM-Matrix)

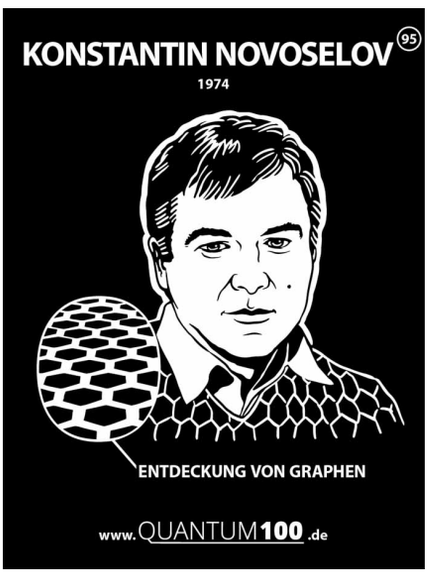
#94 Experimente zur Neutrinooszillation

Takaaki Kajita, ein japanischer Physiker, leistete wichtige Beiträge zur Erforschung der Neutrinos. Der Kamiokande-Detektor wurde ursprünglich zur Suche nach dem Protonenzerfall gebaut, der jedoch bis heute nicht beobachtet wurde. Der unterirdischer Wassertank ist von vielen Photomultipliern umgeben, die das Tscherenkow-Licht geladener Teilchen registrieren. Elektronen erzeugen dabei diffuse, Myonen dagegen scharf begrenzte Lichtringe.
Mit dem größeren Super-Kamiokande-Detektor zeigte Kajitas Arbeitsgruppe 1998, dass von unten durch die Erde kommende Myon-Neutrinos seltener beobachtet wurden als von oben kommende. Dies lieferte den entscheidenden Nachweis, dass sich atmosphärische Myon-Neutrinos während ihrer Ausbreitung in andere Neutrinoarten - überwiegend in Tau-Neutrinos - umwandeln.
Eine wichtige Ergänzung lieferten Stuart Freedman und die KamLAND-Kollaboration. KamLAND untersuchte Elektron-Antineutrinos aus Kernreaktoren und wies sowohl ihr Verschwinden als auch die charakteristische Energieabhängigkeit ihrer Oszillation nach. Während Super-Kamiokande atmosphärische Myon-Neutrinos untersuchte, bestätigte KamLAND die Oszillation von Elektron-Antineutrinos und trug damit zur Erklärung des solaren Neutrinoproblems bei.
Neutrinooszillationen zeigen, dass Neutrinos Masse besitzen, und erfordern daher eine Erweiterung des ursprünglichen Standardmodells. Kajita erhielt 2015 den Nobelpreis für Physik.

Kajitas Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Weiterentwicklung zu Hyper-Kamiokande für Präzisionsmessungen von Neutrinooszillationen und die Suche nach CP-Verletzung im Neutrinosektor

#95 Konstantin Novoselov (1974 -)



23.08.1974	Sir Konstantin Sergejewitsch Nowosjolow wurde in Nischni Tagil, Russland geboren
1991 - 1997	Studium der Physik am Moskauer Institut für Physik und Technologie in Russland
1997 - 1999	Forschung am Institut für mikroelektronische Technologie in Tschernogolowka, Russland
1999 - 2001	Forschung an der Radboud-Universität Nijmegen in den Niederlanden.
ab 2001	Arbeit an der University of Manchester, Großbritannien
2004	Promotion an der Radboud-Universität und zusammen mit Andre Geim **Entdeckung des Kohlenstoff-Allotrop Graphen**
2010	Ernennung zum Professor an der Universi-
	ty of Manchester und er erhielt zusammen mit Andre Geim für seine Forschung am Kohlenstoff-Allotrop Graphen den Nobelpreis für Physik
2013	Ernennung zum Langworth Professor of Physics an der University of Manchester
ab 2019	Vorsitzender des Strategic Advisory Board am Schaffhausen Institute of Technology in der Schweiz
	Er ist verheiratet mit seiner Frau Dr. Irina Barbolina; das Paar hat zwei Töchter

Konstantin Novoselov nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

Philip R. Wallace (1947): Berechnung der elektronischen Bandstruktur einer einzelnen Graphitschicht – theoretische Grundlage für die besonderen elektronischen Eigenschaften von Graphen.
Hanns-Peter Boehm und Kollegen (1962): Herstellung und Untersuchung extrem dünner Kohlenstoffschichten auf chemischem Weg, darunter als einzelne Schichten interpretierte Proben.

#95 Entdeckung von Graphen

Konstantin Novoselov, ein russisch-britischer Physiker, entdeckte zusammen mit seinem Kollegen Andre Geim das Material Graphen, ein Kohlenstoffmaterial, das aus einer einzigen Schicht von Atomen besteht, die ähnlich hexagonal angeordnet sind wie das Gitter vom Maschendrahtzaun.
Die Entdeckung von Graphen war ein Zufall, der während eines Experiments mit einem Tesafilm stattfand. Novoselov und Geim versuchten, ein bestimmtes Material zu isolieren, aber stattdessen entdeckten sie, dass sie versehentlich eine einzelne Schicht von Graphen erhalten hatten, indem sie Tesafilm zwischen zwei Graphitblöcken platzierten und dann den Tesafilm entfernten. Manchmal findet man neue Materialien einfacher, als man glauben mag - wenn man aufmerksam dafür ist.
Graphen ist ein Material mit einzigartigen Eigenschaften, wie extremer Festigkeit, hoher Leitfähigkeit und einer sehr hohen Oberfläche. Es hat das Potenzial, eine Vielzahl von Anwendungen in der Elektronik, der Energie und der Medizin zu haben.
Novoselovs Entdeckung von Graphen hat zu einer neuen Ära in der Materialwissenschaft geführt und hat die Forschung auf diesem Gebiet vorangetrieben. Für seine Pionierarbeit auf dem Gebiet der Materialwissenschaft erhielt Konstantin Novoselov 2010 den Nobelpreis für Physik.

Novoselovs Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

„Entwicklung von Graphen-Moiré-Supergittern und Entdeckung winkelabhängiger Übergänge zwischen supraleitenden und isolierenden Phasen in gegeneinander verdrehten Graphen-Doppelschichten.“

#96 Serge Haroche (1944 -)



11.09.1944	Geboren in Casablanca, Marokko.
1956	Mit dem Ende des französischen Protektorats emigrierte die Familie nach Frankreich
1963 - 1967	Studium der Physik an der École normale supérieure und der Faculté des Sciences der Universität Paris
1965	Heirat mit Soziologin und Anthropologin Claudine Zeligson; das Paar hat zwei Kinder
1967	Promotion
1971	Er erhielt sein zweites Doktorat (Doctorat ès sciences physiques, betreut von Claude Cohen-Tannoudji) und wurde zum Chargé de Recherche (zur reinen Forschung) berufen
1972 - 1973	Forschungsaufenthalt bei Arthur Schawlow an der Stanford University
1973	Leitende Position im CNRS. Außerdem wurde er zum Maître de conférence (entspricht etwa einem Juniorprofessor) an der École polytechnique benannt
1974 - 2001	Professor an der Universität Pierre und Marie Curie
1996	**Erzeugung eines mesoskospischen Schrödinger-Katzenzustands des Mikrowellenfeldes und Beobachtung seiner fortschreitenden Dekohärenz**
2001–2015	Professor am Collège de France und Inhaber des Lehrstuhls für Quantenphysik
09.10.2012	Nobelpreis für Physik gemeinsam mit David J. Wineland „für bahnbrechende experimentelle Methoden, die die Messung und Manipulation einzelner Quantensysteme ermöglichen“

Serge Haroche nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger: Schrödingers Katze
Edwin Jaynes und Fred Cummings (1963): Modell der Wechselwirkung eines Zweiniveauatoms mit einem quantisierten Lichtfeld.

#96 Experimentelle Realisierung von Schrödingers Katze

Serge Haroche, ein französischer Physiker, leistete wichtige Beiträge zur experimentellen Untersuchung einzelner Quantensysteme. Besonders bekannt ist seine Erzeugung mesoskospischer Schrödinger-Katzenzustände durch die Überlagerung zweier kohärenter Zustände eines Mikrowellenfeldes.
In seinen Experimenten schickte Haroche einzelne Rydberg-Atome durch einen supraleitenden Mikrowellenresonator, in dem Photonen über lange Zeit gespeichert werden konnten. Das Atom wurde zuvor in eine Überlagerung zweier Rydberg-Zustände gebracht. Seine kontrollierte Wechselwirkung mit dem Lichtfeld verschränkte den Zustand des Atoms mit zwei unterschiedlichen Phasenzuständen des Feldes. Durch die anschließende Messung des Atoms in einer geeigneten Überlagerungsbasis wurde das Lichtfeld auf einen Schrödinger-Katzenzustand projiziert.
Haroches Gruppe beobachtete außerdem, wie diese Überlagerungen durch die Wechselwirkung mit der Umgebung allmählich ihre Kohärenz verlieren. Seine Experimente ermöglichten damit eine kontrollierte Untersuchung der Dekohärenz und des Übergangs von quantenmechanischem zu klassischem Verhalten. Sie schufen zugleich wichtige Grundlagen für zerstörungsfreie Quantenmessungen und die Verarbeitung von Quanteninformation.
Für bahnbrechende experimentelle Methoden zur Messung und Manipulation einzelner Quantensysteme erhielt Serge Haroche 2012 gemeinsam mit David Wineland den Nobelpreis für Physik.

Haroches Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Präparation und Kontrolle von Katzenzuständen in supraleitenden Schaltungen sowie ihre Nutzung zur Quantenfehlerkorrektur.

#97 Carolin Hahn (1983 -)

1983	Geboren in Nürnberg, Deutschland
2009	Diplom in Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München.
2009 - 2014	Doktorandin an der TU München und Promotion in Physik über die **„Verschränkung zweier einzelner Atome“**
seit 2018	Selbstständige Unternehmensberaterin und Wissenschaftskommunikatorin. Zu ihren Kunden zählen führende Unternehmen aus den Bereichen Quantentechnologie, Kernfusion und Präzisionsfertigung für Forschungsinstrumente wie Teilchenbeschleuniger
2019 - 2023	Studium und Master an der LIMAK Austrian Business School, Linz und Wien, Österreich
	Sie hat zwei Kinder und lebt in Linz, Österreich



Carolin Hahn nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#17 Erwin Schrödinger: Schrödinger-Gleichung – Die Theorie über das Verhalten von Quantensystemen wird in Hahns Arbeiten zur Wechselwirkung von Licht und ultrakalten Atomen angewendet.

#97 Wechselwirkung ultrakalter Atome mit Licht

Carolin Hahn, eine deutsche Physikerin und Wissenschaftskommunikatorin, forschte am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching über Quantennetzwerke und die kontrollierte Wechselwirkung einzelner Atome mit Licht. Dabei wurden einzelne Rubidiumatome in optischen Resonatoren als Quantenspeicher eingesetzt. Gemeinsam mit ihrem Team gelang es, zwei Atome in 21 Meter voneinander entfernten Laboren durch den Austausch eines einzelnen Photons miteinander zu verschränken. Solche Systeme bilden mögliche Grundbausteine zukünftiger Quantennetzwerke.
Nach ihrer Promotion an der Technischen Universität München wechselte Hahn in das Wissenschaftsmanagement. Zusätzlich absolvierte sie einen MBA in strategischem Management und Unternehmertum an der LIMAK Austrian Business School in Linz. Seit 2018 arbeitet sie dort als selbstständige Beraterin für Wissenschaftskommunikation, Technologiemarketing und strategische Entwicklung. Sie unterstützt Forschungseinrichtungen und Unternehmen unter anderem aus den Bereichen Quantentechnologie, Fusionsforschung und Präzisionsfertigung dabei, komplexe wissenschaftliche Inhalte verständlich zu vermitteln und Forschungsstrategien zu entwickeln.

Hahns Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Weiterentwicklung des Quanteninternet

#98 Anne L'Huillier (1958 -)



16.08.1958	Anne Geneviève L'Huillier Wahlström wurde in Paris, Frankreich geboren
	Sie studierte erst theoretische Physik, dann promovierte sie in experimenteller Atomphysik am französischen Kernforschungszentrum des CEA in Saclay
	Post-Doktorandin in Göteborg und Los Angeles
ab 1986	Feste Anstellung am Forschungszentrum Saclay
1987	Experiment zur Untersuchung der Fluoreszenz von Edelgasen bei starker Laserbestrahlung lieferte Obertöne mit extrem hohen Frequenzen im extremen Ultraviolettbereich
1992	Arbeit in Lund an einem Experiment mit
	dem ersten Titan-Saphir-Laser für Femtosekundenpulse in Europa
1994	Umzug nach Schweden und Heirat mit dem schwedischen Physiker Claes-Göran Wahlström
1995	Dozentin in Lund, Schweden
1997	Professorin in Lund. Anne L'Huillier leitet dort die Gruppe für Attosekunden-Physik
1999 - 2000	Sie bekommt zwei Söhne und nimmt dafür Elternzeit
2023	Nobelpreis anteilig **„für experimentelle Methoden, die Attosekunden-Lichtimpulse zur Untersuchung der Dynamik von Elektronen in Materie erzeugen“**

Anne L'Huillier nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

#59 Theodore Maiman: Laser – L'Huillier baute auf den Grundlagen von Lasern auf und trieb die Entwicklung von Attosekunden-Laserpulsen voran, die extrem kurze Zeitmessungen ermöglichen. Peter Franken und Kollegen (1961): Experimenteller Nachweis der Frequenzverdopplung – ein grundlegender Ausgangspunkt der nichtlinearen Optik.

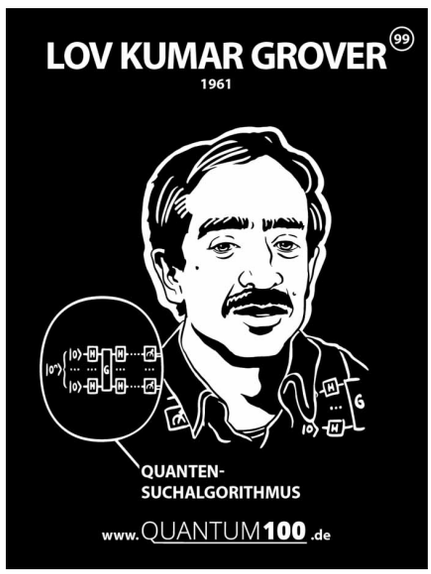
#98 Attosekunden-Laserpulse

Anne L'Huillier, eine französisch-schwedische Physikerin, leistete grundlegende Beiträge zur Attosekundenphysik. Ihre Arbeit unterscheidet sich von der Forschung Donna Stricklands: Strickland und Gérard Mourou entwickelten die Chirped Pulse Amplification, mit der intensive Laserpulse im Femtosekundenbereich (10^{-15} Sekunden) erzeugt werden. L'Huillier untersuchte dagegen, wie intensive Femtosekundenpulse in einem Gas hohe ungeradzahlige Vielfache ihrer ursprünglichen Frequenz erzeugen. Durch die Überlagerung dieser hohen Harmonischen lassen sich Lichtpulse mit einer Dauer von wenigen hundert Attosekunden (10^{-18} Sekunden) herstellen. Licht legt in einer Attosekunde nur etwa 0,3 Nanometer zurück – ungefähr die Größe eines kleinen Atoms. Femtosekundenpulse ermöglichen es, Bewegungen von Atomkernen und den Ablauf chemischer Reaktionen zeitlich zu verfolgen. Attosekundenpulse erschließen eine noch kürzere Zeitskala und machen die Bewegung und Umordnung von Elektronen in Atomen, Molekülen und Festkörpern untersuchbar. L'Huilliers Arbeiten schufen damit eine wesentliche Grundlage für die experimentelle Attosekundenphysik. Anne L'Huillier erhielt 2023 gemeinsam mit Pierre Agostini und Ferenc Krausz den Nobelpreis für Physik für experimentelle Methoden zur Erzeugung von Attosekunden-Lichtimpulsen zur Untersuchung der Elektronendynamik in Materie. Als der Anruf aus Stockholm kam, hielt sie gerade eine Vorlesung. Nach einer kurzen Unterbrechung setzte sie den Unterricht fort.

L'Huilliers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Beobachtung chemischer Reaktionen mit höchster zeitlicher Auflösung

#99 Lov Kumar Grover (1961 -)



1961	Lov Kumar Grover wird in Meerut, Indien geboren.
bis 1981	Studium und Bachelor in Elektrotechnik am Indian Institute of Technology in Delhi, Indien
1984/1985	Promotion zu Konzepten zu Freie-Elektronen-Lasernin in Elektrotechnik an der Stanford University in Kalifornien, USA
1984 - 1987	Tätigkeit und Forschung bei den Bell Laboratories
1987 - 1995	Assistenzprofessor an der Cornell University in Ithaka, New York, USA
ab 1996	Wiederaufnahme der Tätigkeit und Forschung bei den Bell Laboratories. **Entwicklung des nach ihm benannten Grover-Suchalgorithmus**
1998	Verallgemeinerung des Suchalorithmuses auf eine Vielzahl wichtigter Probleme in der Informatik
2008	Ruhrstand bei Bell Labs; seitdem arbeitet er als freier Forscher

Lov Kumar Grover nutzte für seine Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

David Deutsch und Richard Jozsa (1992): Quantenalgorithmus, der durch Superposition und Interferenz weniger Funktionsabfragen benötigt als ein deterministischer klassischer Algorithmus.

#99 Quanten-Suchalgorithmus

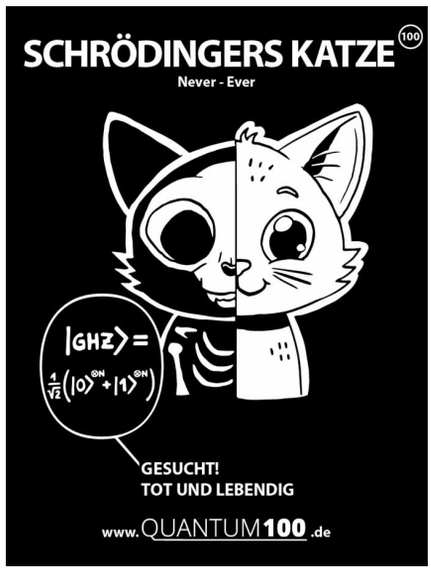
Der Grover-Algorithmus wurde 1996 von Lov Grover entwickelt und ermöglicht die Suche in einem unstrukturierten Suchraum. Während ein klassischer Algorithmus bei N Möglichkeiten durchschnittlich etwa $N/2$ Abfragen benötigt, findet Grovers Algorithmus einen markierten Eintrag mit ungefähr $\frac{\pi}{4}\sqrt{N}$ Abfragen. Er erreicht damit eine quadratische, aber keine exponentielle Beschleunigung. Dabei verstärkt Quanteninterferenz schrittweise die Amplitude des gesuchten Zustands, während die Amplituden der übrigen Zustände unterdrückt werden.
Der Algorithmus wurde auf kleinen Quantenprozessoren demonstriert, seine praktische Anwendung ist jedoch durch Fehler, den hohen Ressourcenbedarf und das Problem des effizienten Datenzugriffs eingeschränkt. Mögliche Anwendungen liegen bei Such- und Optimierungsproblemen sowie in der Kryptanalyse. Anders als Shors Algorithmus bricht Grovers Verfahren symmetrische Verschlüsselungen nicht grundsätzlich, sondern reduziert deren effektive Sicherheitsstärke ungefähr um die Hälfte.

Grovers Werk führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Weiterentwicklung von Quantenalgorithmen (https://quantumalgorithmzoo.org/)

#100 Schrödingers Katze - Wanted - dead and alive

Nov 1935	Geboren in den Gedanken Schödingers, vermutlich in Oxfort, England Seitdem wohnt sie in einer quantenmechanischen Überlagerung
seit ca. 1970	Popkultur-Ikone und Gaststar bei Serien wie The Big Bang Theory, Rick and Morty, sowie in unzähligen Physik-Memes
2007	Schrödingers Katze wird von Serge Haroche experimentell nachgewiesen



Schrödingers Katze nutzte für ihre Arbeit unter anderem folgende Vorarbeiten:

In einem Brief an Erwin Schrödinger im August 1935 nahm Einstein das Beispiel von Schießpulver, dessen Wellenfunktion explodierte und nicht explodierte Zustände überlagert. Zum Problem von makroskopischen Superpositionen schrieb er: „in Wahrheit gibt es eben zwischen explodiert und nicht-explodiert kein Zwischending“. Damit stellte er die Vollständigkeit der quantenmechanischen Beschreibung infrage. Das Modell von „Schrödingers Katze “wurde davon inspiriert von Schrödinger im November 1935 in der Zeitschrift *Die Naturwissenschaften* (Jahrgang 23, Heft 48), veröffentlicht.

#100 Wanted - dead and alive

1935 entwarf Erwin Schrödinger sein berühmtes Katzengedankenexperiment, um die Schwierigkeiten einer uneingeschränkten Anwendung des quantenmechanischen Formalismus auf makroskopische Gegenstände sichtbar zu machen. Das Schicksal einer Katze wird dabei mit dem Zerfall eines einzelnen Atoms gekoppelt. Beschreibt man die gesamte Anordnung quantenmechanisch, so scheint auch die Katze in eine Überlagerung der Zustände „lebendig“ und „tot“ zu geraten. Schrödinger wollte damit keineswegs behaupten, dass wirkliche Katzen zugleich lebendig und tot seien. Er bezeichnete das Beispiel selbst als einen „burlesken Fall“ und führte die Vorstellung bewusst ins Groteske. Gerade darin zeigt sich sein pointierter sprachlicher Stil: Eine abstrakte Schwierigkeit des Formalismus wird durch ein drastisches Bild unübersehbar gemacht.
Im Kern geht es um die Grenze zwischen quantenmechanischen Superpositionen und der klassischen Erfahrungswelt, in der wir stets bestimmte Zustände oder statistische Gemische solcher Zustände beobachten. Dass die Katze heute zu einer populären Chiffre der Quantenphysik geworden ist, verdeckt bisweilen diese ursprüngliche erkenntnistheoretische Pointe.

Schrödingers Katze führte unter anderem zu diesen Weiterentwicklungen:

Katzenvideos:



3 Declaration for the Future

Am 14.11.2025 unterzeichneten die Präsidenten der deutschen und der japanischen physikalischen Gesellschaften - Klaus Richter und Seiji Miyashita - im Rathaus der Friedensstadt Münster die gemeinsame „Declaration for the Future“, die sich insbesondere an die junge Generation richten soll:



Abbildung 3: Unterzeichnung der „Declaration for the Future“ am 14.11.2025 im Rathaus zu Münster

Representatives of the Physical Society of Japan (JPS) and the German Physical Society (DPG) convened in Münster, Germany, during the United Nations' International Year of Quantum Science and Technology, to commemorate the centennial of the quantum revolution's advent. This revolution has brought unparalleled benefits and innovations to humanity. Looking ahead to the next century, even greater advancements and contributions to human society are anticipated. As physicists, we must reflect on the history of science, examine the principles guiding scientific endeavour, and deliberate on the responsibilities that science entails. From the classical physics of the 17th century to the revolutionary quantum mechanics established around 1925, humanity has deepened its understanding of atomic-scale phenomena making the split of the atom possible. One hundred years after these breakthroughs, quantum principles now underpin much of modern life. Physicists will continue to refine, explore, and apply quantum mechanics, driving a quantum-enabled society forward. The societal contributions rooted in physical principles extend beyond quantum science. For example, the epochal advancement of AI technologies, as recognized in the 2024 Nobel Prize in Physics, draws on foundational concepts of physics and involves physicists in shaping a transformative future. Understanding our history is essential to envision the future. Scientific achievements in physics have been misused for hostile purposes in the past. Japan and Germany hold specific historical perspectives regarding World War II, which ended 80 years ago. Just before the end of the war, nuclear attacks were launched on Hiroshima and Nagasaki. As physicists, we must deeply consider the profound impact of physics on humanity and commit to shaping a better future. The Russell-Einstein Manifesto of July 9, 1955, in London, and the Declarations by Nobel Laureates on July 15, 2024, in Lindau, and on July 16, 2025 in Chicago, affirm that nuclear war is incompatible with the survival of humanity. The Göttingen Declaration of April 12, 1957, in which 18 German physicists pled-

ged not to engage in the production, testing, or use of nuclear weapons, significantly influenced national policy. These examples demonstrate that physicists are not only creators of groundbreaking physical knowledge but also contributors to addressing global existential challenges for human civilization, such as climate change, nuclear weapons and other potentially dangerous disruptive technologies. Physicists' knowledge can help to understand the consequences of the use of nuclear weapons. Multiple scientific studies showed the short- and long-term consequences of high radiation doses, fallout and injection of soot into the stratosphere, which can lead to the devastation of regions, the extinction of species and the destruction of ecosystems. Physicists can contribute to avert such a disastrous future by developing necessary verification technologies for nuclear disarmament, and by raising public awareness about the consequences. Addressing future challenges, including global warming, sustainable energy production, environmental pollution, and sustainable development, requires continuous interdisciplinary dialogue among scientists, policymakers, and stakeholders. Furthermore, science diplomacy and discourse within the global scientific community are imperative. Münster, the site of the Peace of Westphalia in 1648, offers a historical reminder that implies dedicating the fruits of science and our labor to peaceful purposes and human welfare — not to war, destruction, or the downfall of civilization. Four centuries of Newton's legacy and Münster's peace heritage collectively serve as a timeless message about physics and peace for humanity.

- We direct this declaration especially to the younger generations who create the future, urging them to engage with the global existential challenges of humanity, such as climate change or nuclear warfare, and to strive for human progress.
- We pledge, as physicists, to contribute to humanity's survival and advancement by supporting the aforementioned declarations and advocating for the peaceful application of physics.
- We call to strengthen the current international commitments to abstain from participating in the development, production, testing, deployment, or use of weapons of mass destruction, especially nuclear weapons.
- We also call for the resolution of international conflicts through peaceful and diplomatic means, without recourse to armed force.
- Finally, we invite physical societies and academic organizations worldwide to join us in this commitment.

This declaration was adopted by the General Assembly and the Board of Directors of the Physical Society of Japan and by the Council of the German Physical Society.

Prof. Seiji Miyashita
81st President of the JPS

Prof. Dr. Klaus Richter
75th President of the DPG

Supplement

Current Nuclear Issues and Physicists' Role

We warn that in this increasingly polarized world with many unsolved conflicts, there is a significantly rising risk that nuclear weapons will be used either by accident or intentionally. Nuclear weapons have caused and will, if used, again cause catastrophic consequences for societies and the planet as a whole. They carry the danger of further nuclear proliferation as well as the risk of escalation to a global war. Current regional proliferation cases are worrisome and should be addressed with high diplomatic priority. Nuclear arsenals are being modernized or expanded in all nuclear weapon states and supplemented by new weapon systems and technologies. An accelerated arms race can be observed in several sectors. The deployment of new disruptive technologies, such as Artificial Intelligence, Quantum Technologies or Space Technologies, in nuclear weapons systems carries a high risk of being misused. Physics and physicists have a special relationship to nuclear weapons, their functioning and their impact.

Archive: Scientists' efforts on nuclear disarmament

2025 Chicago Declaration for the Prevention of Nuclear War, by 129 Nobel laureates and the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP)

2024 Mainau Declaration on Nuclear Weapons, by 104 Nobel laureates

1982 Erice statement, by Dirac, Kapitza and Zichichi

1967 Decision Number Three Agreement of The Physical Society of Japan, September 9, 1967: The Physical Society of Japan, hereafter, will not accept any funds from, or have any cooperative relationship with any domestic or foreign military agency.

The Circumstances Leading to this Decision: When the Eighth International Conference on the Physics of Semiconductors was held in 1966 in Kyoto under the auspices of the Physical Society of Japan, the Organizing Committee acquired funds from a military agency of the United States Government. This arrangement was neither discussed at an earlier meeting of the Council of the Physical Society of Japan nor reported in the Thirty-First General Assembly of the Society. Later, the question of this funding was raised by some members of the Society, who then demanded a special meeting to debate the issue. On September 9, 1967, the Thirty-Third General Assembly, an ad hoc meeting, was held to discuss this funding. Several Proposals were approved, including the above mentioned Decision Number Three.

1957 Göttingen Declaration

1955 Mainau Declaration on Nuclear Weapons, by 52 Nobel laureates

1955 Russell-Einstein Manifesto

4 Das Abschlusskonzert und der Quantenchor

N'SO KYOTO ist ein Ensemble aus Kyoto, das im Jahr 2020 von Yannick Paget gegründet wurde, welches den Spielraum des Orchesters durch immersive, multidimensionale Audio- und Videoperformances weiterentwickelte. In den Aufführungen werden die traditionellen Grenzen zwischen Publikum und Darstellern aufgehoben, um ein ganzheitliches Erlebnis von Musik- und Videokunst zu ermöglichen. N'SO KYOTO kombiniert akustische und elektronische Musik, sowie komponierte und improvisierte Werke und schlägt eine Brücke zwischen Wissenschaft und Kunst, indem es abstrakte Konzepte der Physik in Echtzeit multimedial darstellt und so das Unsichtbare sichtbar und hörbar macht.

Das Werk *Fundamentale Wechselwirkungen* ist ein immersives audio-visuelles Bild- und Klangerlebnis, das in enger Zusammenarbeit zwischen Yannick Paget und Koji Hashimoto entstanden ist. Es bildet den letzten Teil eines Zyklus von Aufführungen mit dem Titel Consciousness: A String Theory Symphony, der verschiedene grundlegende physikalische Prinzipien thematisiert. Indem Kunst und Wissenschaft in einen Dialog treten, übersetzt Fundamentale Wechselwirkungen das unsichtbare, zugrunde liegende Gewebe des physikalischen Universums in eine hör- und sichtbare Form. *Fundamentale Wechselwirkungen* besteht aus fünf Sätzen:

I. Elektromagnetismus

II. Starke Kraft

III. Schwache Kraft

IV. Gravitation

V. Vereinheitlichung: Quantum 100



Abbildung 4: Markus Arndt und Klaus von Klitzing mit „ihren“ Chorkindern. Marietta Blau konnten wir leider nicht (mehr) einladen.



Abbildung 5: Quantum100 am 15.11.2025 in der Halle Münsterland. Der Quantenchor ist in vier Gruppen aufgeteilt, das Orchester ist nichtlokal über die gesamte Halle verteilt. Der Digirent steht auf der Center Stage, um ihn herum sind die Streichinstrumente versammelt.

„So wie die Physik versucht, die unsichtbaren Mechanismen des Universums zu verstehen, erlaubt uns die Musik, sie zu fühlen.“ (Professor Hashimoto)

Das Werk verwendet eine neue musikalische Sprache und neue Modi, die von Elementarteilchenphysik inspiriert ist und von Paget und Hashimoto gemeinsam entwickelt wurden. Paget und Hashimoto nutzen eine Reihe von Akkorden für jedes Teilchen sowie für die Antiteilchen, die von der mathematischen Struktur von Chan-Paton-Faktoren abgeleitet sind, die die Bildung verschiedener subatomarer Teilchen innerhalb der Stringtheorie bestimmen. So werden fundamentale Wechselwirkungen des Universums musikalisch wiedergegeben – etwa jene, die innerhalb der Sonne oder bei der Entstehung von Atomen ablaufen.

Das Konzert beginnt mit dem Knistern von Radiowellen aus einem alten Empfänger: elektromagnetische Wellen. Sie umgeben uns – und sie sind unsichtbar. Die Musik führt uns dann auf eine subatomare Ebene ...

Es gibt vier fundamentale Wechselwirkungen in unserem Universum – die elektromagnetische, die starke, die schwache und die gravitative. Diese Kräfte sind für alle physikalischen Phänomene verantwortlich, einschließlich der Wechselwirkungen zwischen Materie und Energie, und sie sind das Thema der ersten vier Sätze der Komposition.

„Sowohl Musik als auch Physik entstehen aus Schwingungen und Resonanzen. Mit diesem Werk möchte ich erreichen, dass das Publikum den inneren Aufbau des Universums spürt – nicht durch Gleichungen, sondern durch Klänge und Emotionen.“ – Yannick Paget

In der Physik werden die fundamentalen Kräfte durch sogenannte Austauschteilchen beschrieben, den sogenannten Eichbosonen. Photonen übertragen die elektromagnetische Kraft, Gluonen die starke Wechselwirkung, W- und Z-Bosonen die schwache Wechselwirkung, und das Graviton (experimentell noch nicht nachgewiesen) wurde als Vermittler der Gravitation postuliert.

Entsprechend jeder einzelnen Kraft ist das Orchester auf der Bühne in vier Ensembles unterteilt. Jedes von ihnen umfasst Holzbläser, Blechbläser, Schlagwerk und Streicher. Ihre Anordnung im Konzertsaal folgt einem Prinzip der Symmetrie – einem grundlegenden Konzept der Teilchenphysik – wobei jedes Instrument ein Gegenstück in einer symmetrischen, entgegengesetzten Position hat. Genau wie das Orchester sind auch die vier Leinwände symmetrisch angeordnet und zeigen unterschiedliche Aspekte der fundamentalen Kräfte. Auf den Leinwände werden gefilmte Aufnahmen physikalischer und natürlicher Phänomene, aufgenommen von Maubert, mit Echtzeit-Visualisierungen kombiniert, die aus virtuellen Partikeln entstehen– generiert von Patel.

Im Zentrum der Bühne befindet sich ein einzigartiges Element: das Ceramophon. Dieses von Kurokawa geschaffene Keramikinstrument ist das Ergebnis seiner intensiven Auseinandersetzung mit dem Material, den möglichen Formen und dessen Klängen. Das Instrument ist insbesondere mit der starken Kraft (zweiter Satz) verbunden – derjenigen fundamentalen Wechselwirkung, die Atomkerne zusammenhält.

Die Partitur von Fundamentale Wechselwirkungen ist größtenteils fest durchkomponiert. Nur im dritten Satz entwickelt Paget kleine musikalische Motive und setzt sie durch eine besondere Form der Improvisation mit dem Orchester immer neu zusammen. Dieser Satz verkörpert die ständige Umwandlung von Teilchen in andere Teilchen, angetrieben durch die schwache Kraft.

Der Quantenchor

Der fünfte Satz ist der Vereinheitlichung der fundamentalen Kräfte gewidmet und wurde für das Konzert in Münster anlässlich des Jubiläums von 100 Jahre Quantenphysik neu geschaffen. Physiker träumen seit langem von der Vereinigung der Kräfte, und dieser Satz lässt diesen Traum symbolisch durch Musik Wirklichkeit werden. Jedes Ensemble greift dabei auf das musikalische Material einer der fundamentalen Kräfte zurück.

Schließlich verlässt die Musik die subatomare Ebene und öffnet sich der menschlichen Dimension – mit dem Eintritt des Chors. Dieser abschließende Satz und der Text von Chris Mosdell ruft die Verbundenheit der Menschen durch ein Jahrhundert von Forschung ins Bewusstsein – und den fortwährenden Hoffnung der Menschheit auf Frieden, auch für die nächsten 100 Jahre.



Abbildung 6: Der Quantenchor bei einer Probe am Gymnasium Paulinum in Münster (© Uni MS - MünsterView)

Der Text vom Quantenchor wurde vom britische Lyriker und Dichter Chris Mosdell geschrieben. Er wurde mit dem Yuki Hayashi-Newkirk Poetry Prize, dem Goldpreis des Tokyo Music Festival, dem Grand Prize for Poetry beim Boulder Festival of Literature in Colorado und dem japanischen Classics Day Cultural Foundation Award 2023 ausgezeichnet. Seine Texte wurden unter anderem von Michael Jackson, Eric Clapton, Sarah Brightman, Boy George, Ryuichi Sakamoto und dem Yellow Magic Orchestra aufgenommen, und in den Soundtracks der Anime-Serien Ghost in the Shell, Cowboy Bebop und Mobile Suit Gundam verwendet. In Zusammenarbeit mit dem London City Ballet schrieb Mosdell auch die Lyrik für das Tanzdrama Amaterasu – basierend auf der Gottheit aus dem japanischen Mythos –, das im West End Theatre Royal in der Drury Lane aufgeführt wurde.

Nicht nur in der Wissenschaft, auch in der Kunst inspirieren und beeinflussen sich die Werke der einzelnen Protagonisten, wobei im Gegensatz zur Entwicklung der Quantentheorie die einzelnen künstlerischen Werke nicht in einem zwingenden, logischen Zusammenhang stehen müssen. Ein besonderer künstlerischer Bogen spannt sich beim „Quantenchor“ von der Quantenwelt zur Musik: Michael Jackson produzierte 1982 das Stück „Behind the Mask“ – ein Song über eine Frau, deren Mimik so undurchschaubar ist, dass man nicht weiß, ob sie einen liebt oder nicht. Michael Jackson hatte damit jedoch einen anderen Song umgedeutet, der aus Japan stammte: Der Text stammte von Chris Mosdell, ursprünglich geschrieben für das japanische Yellow Magic Orchestra, eine der innovativsten Musikgruppen der späten 70er- und frühen 80er-Jahre. Die „Maske“ bezieht sich in der Fassung von Chris Mosdell auf die traditionellen japanischen Nō-Masken – auf das Unsichtbare, das sich hinter dem Gesicht des Spielers verbirgt. Chris Mosdell wiederum war inspiriert von einem Gedicht von dem irischen Poeten W. B. Yeats, der im Jahr 1920 das Gedicht "the Mask" in der Sammlung *The Green Helmet and Other Poems* veröffentlichte. Es ist als Dialog zwischen zwei Liebenden gestaltet: Entscheidend ist letztlich nicht, was „wirklich“ hinter der Maske liegt, sondern das durch sie entfachte Begehren.

Michael Jackson nahm seine Version von "Behind the Mask" im Jahr 1982 auf, allerdings wurde das Stück wegen Urheberechts-Problemen dann doch nicht Teil vom Thriller-Album. Rund anderthalb Jahre nach seinem Tod im Jahr 2009 erschien „Behind the Mask“ dann doch und wurde ein großer Erfolg.

Viele Jahre später - im Jahr 2024 - fragte der Komponist und Dirigent Yannick Paget vom New Sound Orchestra Kyoto (N’SO Kyoto) seinen Freund Chris Mosdell, ob er einen Text für ein außergewöhnliches Projekt schreiben würde: einen Quantenchor, bestehend aus 100 Schüler:innen, die – in fluoreszierenden T-Shirts mit Porträts von 100 Physiker:innen – auf der Bühne singen. Mosdell sagte sofort zu. Im Text für den Quantenchor steht nun: „Behind Planck’s Mask“ – nun jedoch doppelt mit der Quantenphysik verknüpft: Die „Maske“ der Natur ist das Planck’sche Wirkungsquantum h, jene fundamentale Grenze, hinter der keine physikalische Beobachtung mehr möglich ist. Oder, wie Chris Mosdell in seinem Text beschreibt: „The hidden genius in our minds.“ Zugleich richtet der Text den Blick hinter die sehr unterschiedlichen und oft nicht direkt sichtbaren menschlichen Intentionen, die zu wissenschaftlicher Forschung führen . Mosdell greift dabei auch auf eine Passage aus der hinduistischen Bhagavad Gita auf, die auch von Robert Oppenheimer, dem „Vater der Atombombe“, zitiert wurde: „Now I am become Death, the destroyer of worlds.“ Im Chor wird diese düstere Vision als Zukunftsvision für die kommende Generation umgekehrt: „Now we have become the breath of life, the discoverers of worlds.“

Ein kurzer Ausschnitt des Konzerts findet sich hier:



The Quantum Hum

Text: Chris Mosdell
Music: Yannick Paget

Listen, listen,
The quantum Hum of the universe
Listen, listen to our epic verse
The spheres where creation bursts
Listen, listen to our epic verse
The quantum Hum of the universe

Oh subatomic majesty
The vibrating particle sea
6-6-2-6-0-7-0-1-5
Behind Planck's mask
There are things that are known
And things that are unknown
And in between there are doors
To myriad shores
Here lies the constant of our lives
The hidden genius in each mind
6-6-2-6-0-7-0-1-5

Pitter patter antimatter
Pitter patter antimatter
Gamma rays and nuclear rain
Pitter patter quarks and atoms
Pitter patter quarks and atoms
Long live creation's white hot flame
Pitter patter photon scatter
Pitter patter photon scatter
The golden lions of science untamed

One hundred years of innovation
Equations behind the growth of nations
Of waves and particle duality
The principles of Uncertainty
The theories of revolutionaries
Who let the mind be freed

One hundred years of discovery
The force field of vast energies
Ripples on a cosmic pond
Vibrations from a giant gong
Transforming views of gravity
By which we live and breathe

Oh listen, listen
We sing out loud
The choir of the particle cloud
„Of what is past, or passing, or to come"
For every generation under one sun

Here's to you young visionaries
Futurists of a far-flung age

Listen, listen, we sing to you
Nobel Sister, Brother Sage
Trailblazers who make the world a safer haven
To breathe and run free through the Unified field
Go forth, through time and space
The future awaits! The future awaits!

O the beauty of science lies in its truth
We are all the roots, the flowers, the shoot
Let us turn another page
Welcome, the Second Quantum Age
Let the Brother and Sisterhood of Man be ours
Onward, onward we charge
Eternity's Generations, we are

O subatomic majesty
Of oscillating realities
Sail forth upon a shoreless sea
Advancing all humanity

Let generations upward climb
To new perceptions of space and time
One hundred years what legacy
What eons of eternity
What journeys through the electrospheres?
The quantum seeds, we harvest these
To light the way to bright frontiers

Let generations upward climb
To new perceptions of space and time
What millennia,
What spectral realms
What kingdoms to transcend?
Dimensions that our senses have yet to comprehend
O let the future fly ahead on wings of firebolt humming birds

Now we've become the breath of life,
The discoverers of worlds
Now we've become the breath of life,
The discoverers of worlds

5 Quellenverzeichnis und Literaturhinweise

Alle Biographien und Angaben in diesem Buch wurden sorgfältig recherchiert. Dennoch erheben wir keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Korrektheit in allen Einzelheiten – hierzu wäre die intensive Arbeit von Physikhistorikern nötig. Der Zweck dieses Buches ist ein anderer: Es soll jungen Menschen einen Einblick in die faszinierende Geschichte der (Quanten-)physik geben und Mut machen, sich für Frieden und internationale Zusammenarbeit einzusetzen. Kunst und Wissenschaft können hierfür wichtige Sprachen sein, denn sie sind universell und können völkerverbindend wirken.

- Patrick Charbonneau, Michelle Frank, Margriet van der Heijden und Daniela Monaldi (Hrsg.): *Women in the History of Quantum Physics: Beyond Knabenphysik*. Cambridge University Press, 2025.

  Der Sammelband macht die Lebenswege und wissenschaftlichen Beiträge von 16 Frauen zur Entwicklung der Quantenphysik sichtbar und erweitert damit die lange von männlichen Akteuren dominierte Geschichtsschreibung.

- Deutsche Physikalische Gesellschaft (Hrsg.): *Physik: Erkenntnisse und Perspektiven*. Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2025.

  Die Publikation bietet mit Beiträgen von über 200 Physikerinnen und Physikern einen umfassenden Überblick über Grundlagen, Anwendungen und gesellschaftliche Bedeutung der Physik sowie über Motivation und Verantwortung der in der Physik tätigen Menschen.

- Anthony Duncan und Michel Janssen: *Constructing Quantum Mechanics. Volume 1: The Scaffold, 1900–1923; Volume 2: The Arch, 1923–1927*. Oxford University Press, 2019 und 2023.

  Eine sehr detaillierte wissenschaftshistorische Rekonstruktion der Entstehung der Quantenmechanik, die zentrale Originalarbeiten analysiert und die Entwicklung von der alten Quantentheorie bis zur modernen Quantenmechanik nachvollzieht.

- Manjit Kumar: *Quanten. Einstein, Bohr und die große Debatte über das Wesen der Wirklichkeit*. Berlin Verlag, 2009.

  Eine ausführliche, biografisch und historisch orientierte Darstellung der Entstehung der Quantentheorie und der Auseinandersetzungen zwischen Einstein, Bohr und weiteren Beteiligten.

- Oliver Passon: *Quantenmechanik*. De Gruyter Studium, 2025.

  Ein Lehrbuch für Studierende des Lehramts, das die fachlichen Grundlagen der Quantenmechanik mit fachdidaktischen Perspektiven und Fragen zur Natur wissenschaftlicher Erkenntnis verbindet.

- Carlo Rovelli: *Sieben kurze Lektionen über Physik*. Rowohlt, 2015.

  Eine sehr kurze und allgemeinverständliche Einführung in zentrale Themen der modernen Physik, darunter Relativitätstheorie, Quantenmechanik, Kosmologie und Elementarteilchenphysik.

6 Danksagung

Diese Idee zu diesem Buch entstand während der Vorbereitung der Abschlussveranstaltung *Quantum*100 des Quantenjahres 2025. Erschienen ist sie ein Jahr später, am 15.11.2026, als Projektdokumentation. Mitgewirkt am Buchprojekt haben Stefan Heusler, Oliver Passon, Dieter Meschede, Gabriel Determann, Julia Deitmers, Peter Geißler, die Physik-Fachschaft des Gymansium Paulinum in Münster und viele weitere Beteiligte.

Die 100 Porträtillustrationen stammen von Michael Tewiele (www.michael-tewiele.de). Mitgewirkt bei der Auswahl der 100 Physiker:innen vom Quantenchor haben unter anderem Ralf Hahn, Koji Hashimoto, Margriet van der Heijden, Christian Klein Bösing, Claus Lämmerzahl, Axel Lorke, Oliver Passon und Agnes Sandner.

Die Abschlussveranstaltung Quantum100 in der Halle Münsterland am 15.11.2025 wurde von einem interdisziplinären Team realisiert. Dem Team der Halle Münsterland gebührt großer Dank für die professionelle Umsetzung des anspruchsvollen Projekts. Wir danken insbesondere Markus Bau von EIN Quantum NRW, der die Ausstellung mit Beteiligung von verschiedenen Universitäten und Industrie aus ganz Deutschland organisiert hat, sowie allen Vortragenden. Wir danken dem Studentenorchester Münster, dem Gymnasium Paulinum, dem Chor „Piano 22/30", dem Fachbereich Physik der Universität Münster und allen weiteren Unterstützern von Quantum100. Alle Fotos wurden von Florian Graser gemacht, soweit nicht anders vermerkt. Auf der Website www.quantum100.de steht das Programmheft zum Download zur Verfügung.



Abbildung 7: Die Quantum100-Ausstellung wurde von EIN Quantum NRW organisiert.



Abbildung 8: Vortrag von Prof. M. Konuma (Japan) und G. Neuneck (Deutschland) zum Thema Pugwash-Konferenzen und Wissenschaftsdiplomatie.

Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, der Stiftung der Sparkasse Münsterland Ost, der Klaus Tschira Stiftung, der Universitätsgesellschaft Münster sowie EIN Quantum NRW. Ohne ihre Unterstützung wäre Quantum100 nicht möglich gewesen.

Weitere Informationen zu Quantum100 finden sich unter www.quantum100.de. Fehler in dieser Projektdokumentation und weitere Anmerkungen dazu können dort für eine Neuauflage auf einer digitalen Tafel vermerkt werden.

Quantum100: 100 Jahre, 100 Physiker:innen, ein Chor

Am 15. November 2025 fand in der Halle Münsterland die bundesweite Abschlussveranstaltung des „Quantenjahres“ statt. Im Mittelpunkt standen 100 Physikerinnen und Physiker aus 100 Jahren Quantenphysik. Diese Projektdokumentation versammelt ihre Biografien und gibt jeweils einen kurzen Einblick in ihr wissenschaftliches Werk. Sie zeichnet so ein multiperspektivisches Mosaik der Quantenphysik und lädt zu einer vertieften Beschäftigung mit ihrer faszinierenden Entstehungsgeschichte ein.



ISBN 978-3-9829281-0-4