

A Anhänge

A.1 Physikalische Einheiten

Alle physikalischen Größen lassen sich in Einheiten von Länge, Zeit und Masse ausdrücken. Gesetzliche Einheiten dafür sind Meter [m], Sekunde [s] und Kilogramm [kg]. Die vierte gesetzliche Einheit für die elektrische Stromstärke, das Ampère, wird über Kräfte gemessen und läßt sich somit auch durch Länge, Zeit und Masse ausdrücken.

Die gesetzlichen Einheiten sind durch Konvention festgelegt, daneben gibt es aber auch noch natürliche Einheiten. Max Planck hatte sich das schon 1899 überlegt und sie auf die fundamentalen Naturkonstanten zurückgeführt. Als natürliche Einheit für Geschwindigkeiten bietet sich die Geschwindigkeit des Lichtes im Vakuum an, als natürliche Einheit für die Wirkung, und damit auch für den Drehimpuls, das Plancksche Wirkungsquantum \hbar . Für die Masse können wir ebenfalls eine natürliche Einheit aus der Newtonschen Gravitationskonstanten G_N herleiten, die sogenannte Planck-Masse m_P . Die Werte für die Konstanten c , \hbar und G_N sowie die natürlichen Einheiten für Länge, Zeit und Masse sind in Tabelle A.1 angegeben.

In der Elementarteilchenphysik benutzt man zwar die natürlichen Einheiten \hbar und c , aber im allgemeinen nicht die Planck-Masse. Stattdessen benutzt man als Einheit das Elektronenvolt, abgekürzt „eV“. Es ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es durch eine Spannung von einem Volt beschleunigt wird. Praktisch gebraucht wird das MeV, eine Million eV und das GeV, das sind eine Milliarde eV oder tausend MeV. Wegen der Beziehung zwischen Masse und Energie, $E = mc^2$ ist es sinnvoll, die Masse in den Einheiten GeV/c^2 anzugeben. Für Wirkung und Drehimpuls benützt man die natürliche Einheit, das Plancksche Wirkungsquantum \hbar .

Die Längeneinheit ist in natürlichen Einheiten mit der Energieeinheit festgelegt, aber dennoch benutzt man in der Teilchenphysik hierfür eine metrische Einheit, das Femtometer. Ein Femtometer ist ein Millionstel Nanometer, das sind 10^{-15} Meter (von dänisch *femto* fünfzehn;

man hat hier eine dänische Bezeichnung gewählt weil diese Längeneinheit ursprünglich „Fermi“ genannt wurde, abgekürzt „fm“ und das kann auch eine Abkürzung für Femtometer sein). Man kann die Einheit fm in die Einheit GeV mit Hilfe der Beziehung $1 \text{ GeV} \cdot 1 \text{ fm} = 5.08 \hbar \cdot c$ umrechnen. Ist schon die Benutzung einer getrennten Längen und Energieeinheit in einem natürlichen System nicht ganz vernünftig, so zeigt sich die offenbar jeder Zunft eigene Irrationalität noch stärker darin, daß es in der Teilchenphysik auch noch eine eigene Flächeneinheit gibt. Diese ist das *barn*, was „Scheunentor“ entspricht. Ein barn ist zwar nicht so groß wie ein Scheunentor, sondern die Fläche von 10 fm mal 10 fm.

Ladungen werden in Elementarladungen e angegeben, d.h. in Einheiten der Ladung des Protons.

Tabelle A.1. Gerundete Zahlenwerte und Umrechnungsfaktoren für einige wichtige Naturkonstanten und Einheiten

	Symbol	Wert in Einheiten		
		natürliche	gesetzl.	Teilchenphys.
Lichtgeschw. im Vakuum	c	1	$3 \cdot 10^8$ m/s	
Plancksches Wirkungsqu.	\hbar	1	10^{-34} kg·m ² /s	$6.6 \cdot 10^{-25}$ GeV·s
Newtonsche Gra- vitationskonst.	G_N	1	$6.7 \cdot 10^{-11}$ m ³ /(kg·s ²)	
Planck-Masse	m_P	$\sqrt{\hbar \cdot c / G_N}$	$2.2 \cdot 10^{-8}$ kg	$1.2 \cdot 10^{19}$ GeV/ c^2
Elementarlad.	e	$\sqrt{4\pi \cdot \hbar \cdot c / 137}$	$1.6 \cdot 10^{-19}$ A·s	
Giga- elektronenvolt	GeV	$8 \cdot 10^{-20}$ $m_P \cdot c^2$	$1.6 \cdot 10^{-10}$ kg·m ² /s ²	5 $\hbar \cdot c / \text{fm}$
Masseneinheit	GeV/ c^2	$8 \cdot 10^{-20}$ m_P	$1.8 \cdot 10^{-27}$ kg	5 $\hbar / (\text{fm} \cdot c)$
Femtometer	fm	$6.6 \cdot 10^{19}$ $\hbar / (m_P \cdot c)$	10^{-15} m	5 $\hbar \cdot c / \text{GeV}$

Nicht sehr tief sinnig, aber ganz nützlich, ist die Tabelle A.2, die die Vorsilben und Faktoren von Einheiten beschreibt:

Tabelle A.2. Vorsilben und Faktoren von Einheiten

Zahl	exponential Schreibweise	Vor- silbe	Abkürzung	amerikanische Zahl
Billion	10^{12}	Tera-	T	trillion
Milliarde	10^9	Giga-	G	billion(!)
Million	10^6	Mega-	M	
Tausend	10^3	Kilo-	k	
Tausendstel	10^{-3}	milli-	m	
Millionstel	10^{-6}	mikro-	μ	
Milliardstel	10^{-9}	nano-	n	
Billionstel	10^{-12}	pico-	p	
Billiardstel	10^{-15}	femto	f	

A.2 Glossar

Die Hinweise beziehen sich auf die Stellen im Buch, wo die betreffenden Ausdrücke eingeführt oder ausführlich erläutert wurden.

A

Abelsche Gruppe Bei einer Abelschen *Gruppe* von Transformationen hängt das Resultat zweier hintereinander ausgeführter Transformationen nicht von der Reihenfolge ab. Die Drehungen in der Ebene bilden eine Abelsche Gruppe, die Drehungen im Raum sind **nicht-Abelsch** (nach dem Mathematiker N.H. Abel) Abschn. 1.5.1

alpha-Teilchen Der Atomkern des Heliums, bestehend aus zwei *Protonen* und zwei *Neutronen*. Beim radioaktiven *alpha*-Zerfall sendet der zerfallende Atomkern spontan ein *alpha*-Teilchen aus .Abschn. 1.2

Anomalie Eine *Quantenkorrektur*, die eine *Symmetrie* verletzt. (von griech. *anomos* gesetzwidrig) Abschn. 5.5

Antiteilchen Zu jedem Teilchen gibt es nach der Quantenfeldtheorie ein Antiteilchen, das die gleiche Masse und den gleichen *Spin* hat, aber entgegengesetzte Ladung und *Baryonen-* oder *Leptonenzahl*. Antiteilchen werden durch die Vorsilbe „Anti“ gekennzeichnet, z. B. Antiproton, Anti-K-Meson, das Antiteilchen des *Elektrons* wird *Positron* genannt. **Antimaterie** besteht aus Antiteilchen Abschn. 1.4.2

Atom Seit der Antike Bezeichnung für die letzten, untrennbaren Bestandteile der Materie. Nach heutigem Sprachgebrauch sind die Atome die Bausteine der chemischen Elemente. Atome bestehen aus einem **Atomkern** und der **Atomhülle** aus Elektronen. Der Kern, in dem fast die gesamte Masse des Atoms konzentriert ist, besteht beim Wasserstoffatom aus einem positiv geladenen *Proton*, bei allen anderen Elementen aus Protonen und elektrisch neutralen *Neutronen* (von griech. *atomos* unzerscheidbar) Abschn. 1.2

Ausschließungsprinzip, Paulisches Besagt, daß bei einem Zustand zweier gleicher Fermionen diese verschiedene *Quantenzahlen* haben müssen. Es ist eine Konsequenz des Theorems über *Spin und Statistik*Abschn. 1.2, 2.4

Axialer Vektor Auch **Pseudovektor** genannt, verhält sich unter Drehungen wie ein „normaler“ Vektor, ändert aber bei *Raumspiegelungen* sein Vorzeichen nicht Abschn. 1.5.4

B

Baryonenzahl Eine Eigenschaft der Elementarteilchen, die eingeführt wurde, um die Stabilität der Protonen zu erklären. *Stark wechselwirkende* Teilchen mit Baryonenzahl $B = 1$ heißen **Baryonen**, mit $B = -1$ **Antibaryonen** (von griech. *barys* schwer) Abschn. 1.5.4

beta-Zerfall *Radioaktiver* Zerfall eines *Atomkerns* unter Aussendung eines *Elektrons* und eines *Antineutrinos* Abschn. 1.2

BNL Beschleunigerzentrum bei Brookhaven auf Long Island, USA (von *Brookhaven National Laboratory*) Abschn. 2.6

Bose-Einstein-Statistik Ein Zustand folgt dieser Statistik, wenn er bei Vertauschung zweier seiner Komponenten unverändert bleibt. Die dieser Statistik folgenden Zustände unterliegen daher nicht dem *Paulischen Ausschließungsprinzip* (nach S.N. Bose und A. Einstein) Abschn. 2.4

Boson Teilchen mit ganzzahligem *Spin*. Bosonen folgen der *Bose-Einstein Statistik* und unterliegen nicht dem *Paulischen Ausschließungsprinzip* Abschn. 2.4

C

CERN Europäisches Beschleunigerzentrum bei Genf (von frz. *Centre Européen de la Recherche Nucléaire* Europäisches Kernforschungszentrum) Abschn. 2.6

Charm Eine Eigenschaft von *Quarks* bzw. *Hadronen*, die bei starken und elektromagnetischen *Wechselwirkungen* erhalten ist; sie ist wie *Seltsamkeit*, *beauty* und *topness* eine spezielle *Flavour* (engl. *charm* Zauberspruch) Abschn. 6.3.1

Chirale Symmetrie Bei chiraler Symmetrie transformieren sich *rechts-* und *linkshändige* Teilchen getrennt voneinander. Chirale Symmetrie hat masselose Teilchen zur Folge (von griech. *cheir* Hand) Abschn. 2.8.1, 7.2

Chiralität Händigkeit, ein Teilchen heißt „rechtshändig“, wenn Spin und Bewegung in die gleiche Richtung zeigen, es heißt „linkshändig“, wenn Spin und Bewegung in die entgegengesetzte Richtung zeigen Abschn. 2.8.1

Confinement Die permanente Einschließung der *Quarks* in *Hadronen*. Es besagt, daß Quarks als isolierte Teilchen nicht auftreten können (von engl. *confinement* Gefangenschaft, Gefesseltsein) Abschn. 6.5

D

Darstellung einer Gruppe Algebraische Darstellung einer abstrakt oder geometrisch definierten *Gruppe* durch *Matrizen*. Die Darstellungen der Drehgruppe sind 3×3 - Matrizen mit bestimmten Eigenschaften Abschn. 1.5.1

DESY Deutsches Elektronen Synchrotron, Beschleunigerzentrum in Hamburg Abschn. 1.1

Dirac-Gleichung Relativistische Wellengleichung für *Spin- $\frac{1}{2}$* -Teilchen (nach P.A.M. Dirac) Abschn. 1.4.1

E

Eichsymmetrie Klasse von *Symmetrien*, bei denen die *Symmetrietransformationen* an jedem Raum- und Zeitpunkt verschieden sein können. **Eichfelder** sind die bei Eichsymmetrien notwendigerweise auftretenden Felder, **Eichbosonen** deren *Feldquanten*. . Abschn. 5.1, 5.2

Elektron Elektrisch negativ geladenes Teilchen, das Bestandteil der Elektronenhülle eines *Atoms* ist. Ein Elektron hat die *Leptonenzahl* 1 und die *Baryonenzahl* 0 (von griech. *elektron* Bernstein) Abschn. 1.2, Tabelle 6.1

Elektronenvolt Energieeinheit, abgekürzt mit eV, bzw. den Vielfachen MeV = 1 000 000 eV und GeV = 1000 MeV; ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es eine Spannung von einem Volt durchläuft..... Abschn. 1.1, Tabelle A.1

Elementarladung Ladung des *Protons* Abschn. 1.1, Tabelle A.1

Erhaltungssatz Gesetz, das besagt daß sich eine Größe – z. B. die Energie – bei keiner Reaktion ändert, also erhalten bleibt. Manche Größen sind nur bei bestimmten Wechselwirkungen erhalten, bei anderen nicht. Die *Parität* z. B. (das Verhalten bei *Raumspiegelungen*) ist nur bei der *starken* und der *elektromagnetischen*, nicht aber bei der *schwachen Wechselwirkung* erhalten.

Erzeugende Transformationen, aus denen sich alle anderen Transformationen einer *Gruppe* erzeugen lassen Abschn. 1.5.1

Erzeugungsoperator Operator, der einen Zustand erzeugt. Ein Feldoperator ist aus Erzeugungs- und *Vernichtungsoperatoren* aufgebaut Abschn. 1.4.2

F

Familie Zwei *Quarks* von verschiedenem *Flavour* und zwei *Lep-tonen* verschiedener Ladung bilden eine Familie. *Elektron, e-Neutrino, u-* und *d-Quark* bilden z. B. eine Familie. . . Abschn. 6.3.1, Tabelle 6.1

Farbe Innere *Quantenzahl* aller *Quarks*, engl. *colour*. Die **Farb- $SU(3)$** ist die *Eichsymmetrie* der Farb-Quantenzahl. Abschn. 4.4

Feld Zuordnung von Raum- und Zeitpunkten an physikalische Eigenschaften Abschn. 1.4.1

Feldquant Ein Teilchen, das einem *Quantenfeld* zugeordnet ist. Das *Photon* z. B. ist das Feldquant des elektromagnetischen Fel-des Abschn. 1.4.2

Fermi-Dirac-Statistik Ein Zustand folgt dieser Statistik, wenn er bei Vertauschung zweier seiner Komponenten sein Vorzeichen ändert. Die dieser Statistik folgenden Zustände unterliegen daher dem *Paulischen Ausschließungsprinzip* (nach E. Fermi und P.A.M. Dirac) Abschn. 2.4

Fermion Teilchen mit halbzahligem *Spin*. Fermionen folgen der *Fermi-Dirac Statistik* und unterliegen dem *Paulischen Ausschließungsprinzip* Abschn. 1.2, 2.4

Fermi-Lab Beschleunigerzentrum bei Chicago, USA (nach E. Fermi).

Feynman-Graph Graphische Darstellung von *Wahrscheinlichkeitsamplituden* für Reaktionen in der *Quantenfeldtheorie* (nach R. Feynman) Abschn. 1.4.2

Flavour Quantenzahl, die die sechs *Quarks* unterscheidet. **Flavour- $SU(3)$** ist die gebrochene Symmetrie, die dadurch zustande kommt, daß die Massen der drei leichten Quarks (*u, d, s*) ungefähr gleich sind; ursprünglich „achtfacher Weg“ (*eightfold way*) genannt (engl. *flavour* Geschmack) Abschn. 4.2

G

Gluon Das *Feldquant* der Eichfelder der *Quantenchromodynamik*. Es hat den Spin 1 und kann wie die *Quarks* nicht aus den Hadronen isoliert werden (von engl. *glue* Leim) Abschn. 6.4, Tabelle 6.2

Goldstone-Bosonen Die bei der *spontanen Symmetriebrechung* auftretenden masselosen Bosonen (nach J. Goldstone) Abschn. 5.3

Gruppe Menge von mathematischen Objekten mit bestimmten EigenschaftenAbschn. 1.5.1

H

Hadron Zusammenfassender Name für *stark wechselwirkende* Teilchen (von griech. *hadros* hart). Abschn. 3.3, Tabelle 6.4

Higgs-Boson *Boson*, das bei der *spontanen Symmetriebrechung* auftritt (nach P.W. Higgs) Abschn. 5.4

Hyperladung Y , bei stark wechselwirkenden Teilchen die Summe von *Baryonenzahl* und *Seltsamkeit*. *Linkshändige Leptonen* haben die **schwache Hyperladung** $Y = -1$, *rechtshändige* $Y = -2$ (von griech. *hyper* über) Abschn. 2.2

Hyperon *Baryonen*, die schwerer als *Nukleonen* sind Abschn. 2.2, Tabelle 6.4

I

Impuls Einen Bewegungszustand charakterisierende gerichtete Meßgröße. Die Richtung des Impulses eines Teilchens ist gegeben durch die Richtung der Geschwindigkeit. Der Betrag des Impulses eines Teilchens mit der Masse m und der Geschwindigkeit v ist gegeben durch $p = m \cdot v / \sqrt{1 - v^2/c^2}$; der Zusammenhang mit der Gesamtenergie E (einschließlich Ruhenergie $m \cdot c^2$) ist gegeben durch $E = \sqrt{m^2 \cdot c^4 + c^2 \cdot p^2}$. Der Gesamtimpuls eines Systems ist eine erhaltene Größe Abschn. 1.4.1

Intermediäre Bosonen *Eichbosonen* der *schwachen Wechselwirkung*. Sie haben *Spin 1*, die geladenen intermediären Bosonen heißen W^\pm -Bosonen, das neutrale Z -Boson. Abschn. 6.1, Tabelle 6.2

Ion Elektrisch geladenes Atom oder Molekül Abschn. 1.3

Isospin Innere *Symmetrie* der Elementarteilchen. Abschn. 1.5.3

K

Klassische Physik Die Physik, die vor etwa 1900 als allgemein gültig angenommen wurde und bei der Quanteneffekte nicht berücksichtigt werden.

komplexe Zahlen Verallgemeinerte Zahlen, die aus einem Realteil – also einer „gewöhnlichen“ reellen Zahl – und der „imaginären“

Einheit i zusammengesetzt sind. Die imaginäre Einheit i ist als Wurzel aus -1 definiert, also $i \cdot i = -1$. Jede komplexe Zahl läßt sich durch zwei reelle Zahlen a und b darstellen, nämlich $a + b \cdot i$. Eine andere wichtige Darstellung ist die durch einen positiven Betrag und eine Phase, einen Winkel zwischen 0 und 360 Grad. Der Zusammenhang in der sogenannten Gaußschen Zahlenebene ist in Abbildung A.1 gegeben.

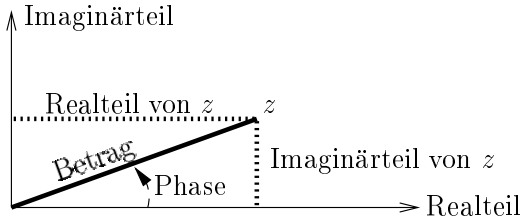


Abbildung A.1. Darstellung einer komplexen Zahl in der Gaußschen Zahlenebene

Bei der **komplexen Adjunktion**, gekennzeichnet durch $*$, ändert der Imaginärteil einer komplexen Zahl sein Vorzeichen, $(a + ib)^* = a - ib$.

Kosmische Strahlung Aus dem Weltraum kommende, teilweise sehr hochenergetische Teilchen, hauptsächlich *Protonen* und *alpha-Teilchen* (Primärkomponente). Sie erzeugen in der Atmosphäre sekundäre Teilchen, wie *pi-Mesonen* (auch Höhenstrahlung genannt) Abschn. 1.6

L

Ladungskonjugation Eine Operation, bei der alle Teilchen in ihre *Antiteilchen* übergehen. Neutrale Zustände haben eine **innere Ladungsparität** Abschn. 1.5.4

Lepton Zusammenfassender Name für *schwach wechselwirkende* Teilchen mit *Spin* $\frac{1}{2}$ (von griech. *leptos* zart) .. Abschn. 2.1, Tabelle 6.1

Lokalität Forderung, daß sich keine Wirkung schneller ausbreiten kann als mit Lichtgeschwindigkeit Abschn. 1.4.1

M

Magnetisches Moment Viele Elementarteilchen sind magnetische Dipole und haben deshalb ein Magnetisches Moment Abschn. 1.2

Matrix Mathematische Größen, z. B. *komplexe Zahlen*, die in einem rechteckigen Schema angeordnet sind. Für das Rechnen mit Matrizen gibt es feste Regeln (von lat. *mater* Mutter) Abschn. 1.5.1

Meson *Hadron* mit *Baryonenzahl* Null. Früher wurde auch das *Lepton* Müon als *mü-Meson* bezeichnet (von griech. *meson* das Mittlere) Abschn. 1.4.2

Mesotron Ursprünglicher Name für Teilchen, die schwerer als Elektronen und leichter als Nukleonen sind Abschn. 1.5.3

Müon Geladenes *Lepton* wie das *Elektron*, aber schwerer. Abschn. 2.1 Tabelle 6.1

N

Neutrale Ströme Terme in der *schwachen Wechselwirkung*, bei denen sich die Ladung der *Fermionen* nicht ändert; bei ihnen wird das neutrale *intermediäre Boson* Z^0 ausgetauscht Abschn. 5.4, 6.3

Neutrino Neutrales Teilchen, das zusammen mit den geladenen *Leptonen* bei der *schwachen Wechselwirkung* auftritt (von ital. und lat. kleines Neutron) Abschn. 14, Tabelle 6.1

Neutron Elektrisch neutrales Teilchen, Bestandteil der *Atomkerne* (von lat. *neuter* keiner von beiden) Abschn. 1.2

Nukleon Zusammenfassender Name für die Kernbausteine *Proton* und *Neutron*; verallgemeinert auf *Baryonen* mit *Seltsamkeit* 0 und *Isospin* $\frac{1}{2}$ (von lat. *nucleus* Kern) Abschn. 1.5.3

P

Parität Verhalten eines Zustands bei *Raumspiegelung*, die auch **Paritätstransformation** genannt wird. Die Parität eines Zustands ist +1, wenn er sich bei Raumspiegelungen nicht ändert, -1 wenn er sein Vorzeichen ändert. Die innere Parität eines Teilchens ist bestimmt durch das Verhalten des *Quantenfeldes* unter Raumspiegelungen. Die Gesamtparität ist das Produkt der Einzelparitäten der Bestandteile (von lat. *paritas* Gleichheit) Abschn. 1.5.4

Parton Die Bestandteile der *Hadronen* in einem von R. Feynman entwickelten Modell für die Streuung (von lat. *pars* Teil) .. Abschn. 5.8

Phasenfaktor *Komplexe Zahl* vom Betrag 1.

Photon Das *Feldquant* des elektromagnetischen Feldes, auch *gamma-Quant* genannt, *Eichboson* der elektromagnetischen *Wechselwirkung* (von griech. *phōs*, Licht)Abschn. 1.2, Tabelle 6.2

Plancksches Wirkungsquantum Fundamentale Naturkonstante, die immer bei Prozessen auftritt, bei denen sich Quanteneffekte bemerkbar machen. Symbol h , $\hbar = h/(2\pi)$ Abschn.1.1

Proton Elektrisch positiv geladenes Teilchen, das Bestandteil des Atomkerns ist (von griech. *proton* das Erste)Abschn. 1.2

Q

QCD Abkürzung für *Quantenchromodynamik*

QED Abkürzung für *Quantenelektrodynamik*

Quantenchromodynamik Die Quantentheorie der „*farbigen*“ *Quarks* und *Gluonen*, abgekürzt QCD (von griech. *chrōma*, Farbe und griech. *dynamis*, Kraft)Abschn. 6.4

Quantenelektrodynamik Die Quantentheorie der Elektrodynamik. angekürzt QED Abschn. 1.4.2, 2.4

Quantenfeldtheorie Unterwirft man eine klassische *Feldtheorie* den Bedingungen der Quantenphysik so erhält man eine Quantenfeldtheorie. In der kanonischen Quantisierung werden die Feldgrößen durch Operatoren ersetzt, also Gebilde die selbst keine Meßgrößen sind, sondern auf Zustände wirken und damit die Meßgrößen bestimmen Abschn. 1.4, 2.4

Quantenkorrekturen Die typischen Effekte der Quantenfeldtheorie, wie sie durch die Erzeugung und Vernichtung virtueller Teilchen hervorgerufen werdenAbschn.1.4, 2.4

Quantenzahl Eigenschaften von Zuständen, insbesondere von Teilchen, die diskrete Werte annehmen, wie z. B. *Spin*, *innere Parität*.

Quark Elementare Bestandteile der *Hadronen*. Quarks haben den *Spin* $\frac{1}{2}$, sie wechselwirken mit den *Gluonen* und können wie diese nicht aus den Hadronen isoliert werden Abschn. 4.3, Tabelle 6.1

R

Radioaktiver Zerfall Zerfall einiger natürlich vorkommender und fast aller künstlich erzeugten Elemente. Man unterscheidet drei Arten von radioaktivem Zerfall, je nach den Teilchen die vom Kern

ausgesandt werden:

Beim *alpha*-Zerfall sind es Kerne des Helium-Atoms, genannt auch *alpha-Teilchen*. Beim *beta*-Zerfall wird ein *Elektron* und ein *Antineutrino* oder ein *Positron* und ein *Neutrino* ausgesandt, beim *gamma*-Zerfall ein *Photon*, auch *gamma-Quant* genannt Abschn. 1.2

Raumspiegelung Spiegelung des Raumes an einem Punkt. Bei der Spiegelung am Ursprung drehen die kartesischen Koordinaten ihr Vorzeichen um Abschn. 1.5.4

Relativitätstheorie, spezielle Die von Albert Einstein 1905 geschaffene Theorie, bei der Raum- und Zeitkoordinaten so transformiert werden, daß die Gesetze der Elektrodynamik für alle Beobachter gleich sind. Insbesondere hat die Geschwindigkeit des Lichtes im Vakuum für alle Beobachter den gleichen Wert. Dies hat auch Auswirkungen auf die Mechanik, insbesondere auf den Zusammenhang zwischen Energie und *Impuls*. Die Newtonsche Mechanik ist ein Grenzfall der speziell relativistischen Mechanik. Sie gilt für Geschwindigkeiten, die klein gegen die Lichtgeschwindigkeit sind. Die relativistische Quantenfeldtheorie ist die Quantentheorie der Felder, die die Transformationen der speziellen Relativitätstheorie respektiert. Die **allgemeine Relativitätstheorie** ist im wesentlichen eine Theorie der Gravitation, die unsere Vorstellungen von Raum und Zeit noch viel stärker modifiziert als die spezielle Relativitätstheorie Abschn. 1.2, 1.4.1

Renormierung Beseitigung der zunächst auftretenden Unendlichkeiten einer Quantenfeldtheorie. Eine renormierbare Theorie ist durch endlich viele Parameter festgelegt, in der Quantenelektrodynamik sind dies die (renormierte) Ladung und die Masse des Elektrons. Bei einer nicht renormierbaren Theorie müssen mit jeder Verfeinerung neue Parameter eingeführt werden Abschn. 1.4.2

Resonanz Ein instabiler Zustand mit einer mittleren Lebensdauer T , der in die Teilchen A und B zerfällt, führt zu einer Resonanz, d. h. einer Erhöhung im Wirkungsquerschnitt der Teilchenstreuung von A an B . Eine typische Kurve für eine Resonanz an der Stelle E_0 und der Halbwertsbreite Δ ist als Funktion der Energie in Abb. A.2 dargestellt. Die Breite Δ ist umgekehrt proportional zur Lebensdauer T , $\Delta = \hbar/T$ Abschn. 2.5

Ruhenergie Die Energie, die frei wird, wenn die Masse eines Teilchens in eine andere Energieform umgewandelt wird. Es ist die Masse mal Quadrat der Lichtgeschwindigkeit Abschn. 1.4.1

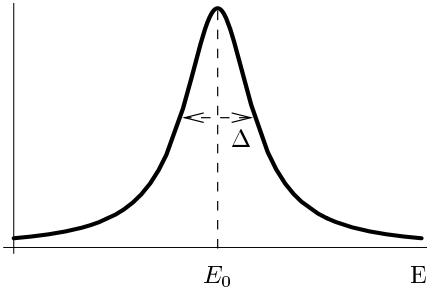


Abbildung A.2. Eine Resonanzkurve

S

Seltsamkeit Eine Eigenschaft von *Quarks* bzw. *Hadronen*, die bei starken und elektromagnetischen *Wechselwirkungen* erhalten ist; sie ist wie *Charm* und *beauty* und *topness* eine spezielle *Flavour* (Übersetzung von engl. *strangeness*)Abschn. 2.2

SLAC Beschleunigerzentrum bei Stanford, Kalifornien (von *Stanford Linear Accelerator Center*)Abschn. 5.8

S-Matrix Bezeichnung für Wahrscheinlichkeitsamplituden bei einer Streuung (Streuamplitude)Abschn. 3.1

Spin Nur im Rahmen des mathematischen Formalismus der Quantenmechanik voll verständliche Eigenschaft der Elementarteilchen. An klassischen Konzepten kommt ihm der Eigendrehimpuls am nächsten. Die Einheit für den Spin ist das Plancksche Wirkungsquantum \hbar (von engl. *spin* Drall)Abschn. 1.2, 1.5.2

Spin und Statistik Der Satz über Spin und Statistik besagt, daß in der lokalen Quantenfeldtheorie die Teilchen mit ganzzahligem *Spin* der *Bose-Einstein-Statistik*, die Teilchen mit halbzahligem *Spin* der *Fermi-Dirac-Statistik* genügenAbschn. 2.4

spontane Symmetriebrechung Die Brechung einer *Symmetrie*, bei der sich die Grundgleichungen der Wechselwirkung bei Symmetrietransformationen nicht ändern, wohl aber der Grundzustand Abschn. 5.3

Statistischer Fehler, Standardfehler Er gibt die Grenzen an, zwischen denen der „wahre“ Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 66% liegt.Abschn. 1.4.3

$SU(2)$, $SU(3)$ Transformationsgruppen für Symmetrien, die in der Teilchenphysik eine wichtige Rolle spielen. $SU(n)$ steht für spezielle unitäre Matrizen in n Dimensionen, das sind verallgemeinerte Drehungen in einem Raum von n Dimensionen und *komplexen* Koordinaten Abschn. 1.5.2, 4.2

Symmetrie Ändern sich gewisse Eigenschaften bei Transformationen (**Symmetrietransformationen**) nicht, so sagt man, es liege eine Symmetrie vor; ändern sich die Eigenschaften zwar, aber nur wenig, sagt man die Symmetrie sei **gebrochen** (von griech. *symmetria* Ebenmaß). Abschn. 1.5

Synchrotron Teilchenbeschleuniger, Weiterentwicklung des *Synchrozyklotrons* Abschn. 1.7

Synchrozyklotron *Zyklotron*, bei dem die Bewegungsgesetze der *speziellen Relativitätstheorie* berücksichtigt werden Abschn. 1.7

T

Target Das Ziel, auf das bei einer Streuung der Teilchenstrahl geschossen wird (von engl. *target* Ziel) Abschn. 1.2, 3.2

U

Unitarität Eigenschaft verallgemeinerter Drehoperatoren. Die Unitarität der S -Matrix ist der mathematische Ausdruck für die Erhaltung der Wahrscheinlichkeit (von lat. *unitas* Einheit) Abschn. 3.2

V

Vektormeson Ein *Meson* mit dem *Spin* 1 und der *Parität* -1 Abschn. 2.7

Vernichtungsoperator Operator, der einen Zustand vernichtet. Ein Feldoperator ist aus *Erzeugungs*- und Vernichtungsoperatoren aufgebaut Abschn. 1.4.2

Vertauschungsrelation Vertauschen zwei Operatoren A und B nicht miteinander, so ist die Differenz der Produkte mit vertauschter Reihenfolge wieder ein Operator: $AB - BA = C$. Diese Gleichung heißt Vertauschungsrelation Abschn. 1.4.2

W

Wahrscheinlichkeitsamplitude *Komplexe Zahl*, deren Quadrat des Betrages die Wahrscheinlichkeit für eine Reaktion angibt
Abschn. 1.4.2, 3.2

Wechselwirkung In der Elementarteilchenphysik haben wir drei Wechselwirkungen: Die **elektromagnetische**, die uns auch aus der Alltagserfahrung bekannt ist, die **schwache**, die z. B. beim radioaktiven *beta*-Zerfall auftritt und die **starke**, die im Atomkern wirkt
Abschn. 1.4.2

Wirkungsquerschnitt Zahl der gestreuten Teilchen, bezogen auf ein Streuzentrum und einen Einheitsstrom von streuenden Teilchen. Er ist die Fläche, die ein gestreutes Teilchen effektiv „sieht“ .Abschn. 1.2

Z

Zyklotron Kreisförmiger Teilchenbeschleuniger (von griech. *kyklos* Kreis) Abschn. 1.7

A.3 Nobelpreisträger

Im Buch erwähnte Trägerinnen und Träger des Nobelpreises. Angegeben sind Geburts- und gegebenenfalls Sterbedaten und Orte, die hauptsächlichen Wirkungsstätten sowie die offizielle Begründung für die Verleihung des Preises.

Alvarez, Luis Walter

*San Francisco 13.6.1911, †Berkeley 1.9.1988

Physik-Preis 1968 für *seine entscheidenden Beiträge zur Elementarteilchenphysik, besonders die Entdeckung einer großen Anzahl von Resonanz-Zuständen, die durch seine Entwicklung der Blasenkammetechnik und der Datenanalyse ermöglicht wurde.*

Anderson, Carl David

*New York 3.9.1905, †San Marino (Kalifornien) 11.1.1991

Pasadena; Physik-Preis 1936 für *seine Entdeckung des Positrons.*

Becquerel, Antoine

*Paris 15.12. 1852, †Le Croisic (Bretagne) 25.8.1908

Paris; Physik-Preis 1903 für *seine Entdeckung der spontanen Radioaktivität*

Bethe, Hans Albrecht

*Strassburg 2.7.1907

Ithaca (New York); Physik-Preis 1967 für *seine Beiträge zur Theorie von Kernreaktionen, besonders seine Entdeckungen über die Energieerzeugung in Sternen.*

Blackett, Baron Patrick Maunard Stuart

*London 18.11.1897, †London 13.7.1974

Manchester, London; Physik-Preis 1948 für *seine Entwicklung der Methode der Wilsonschen Nebelkammer und seine damit gemachten Entdeckungen auf dem Gebiet der Kernphysik und der kosmischen Strahlung.*

Bohr, Niels Henrik David

*Kopenhagen 7.10.1885, †Kopenhagen 18.11.1962

Kopenhagen; Physik-Preis 1922 für *seine Verdienste bei der Untersuchung der Struktur der Atome und der von ihnen ausgesandten Strahlung.*

Born, Max

*Breslau 11.12.1882, †Göttingen 5.1.1970

Frankfurt, Göttingen (–1933), Edinburgh; Physik-Preis 1954 für *seine grundlegenden Forschungen in der Quantenmechanik, besonders für seine statistische Interpretation der Wellenfunktion.*

Bothe, Walter

*Oranienburg 8.1.1891, †Heidelberg 8.2.1957

Berlin, Gießen, Heidelberg; Physik-Preis 1954 für *die Koinzidenz-Methode und die damit gemachten Entdeckungen.*

Brogie, Prince Louis-Victor De

*Dieppe 15.8.1892, †Louvecienne (Paris) 19.3.1987

Paris; Physik-Preis 1929 für *seine Entdeckung der Wellennatur der Elektronen.*

Chadwick, Sir James

*Manchester 20.10.1891, †Cambridge (England) 24.7.1974

Cambridge (England), Liverpool, Los Alamos; Physik-Preis 1935 für *die Entdeckung des Neutrons.*

Chamberlain, Owen

*San Francisco 10.7.1920

Berkeley; Physik-Preis 1959 gemeinsam mit G. Segrè für *ihre Entdeckung des Antiprotons.*

Charpak, Georges

*Dabrowiza (damals Polen) 1.8.1924

Paris, Genf; Physik-Preis 1992 für *seine Erfindung und Entwicklung von Teilchendetektoren, insbesondere Proportionalkammern mit vielen Drähten.*

Cherenkov, Pavel Alekseyevich

*Nowaja Tschigia (Rußland) 28.7.1904, †Moskau 6.1.1990

Moskau; Physik-Preis 1958 gemeinsam mit I.M. Frank und I.Y. Tamm für *die Entdeckung und die Interpretation des Cherenkov-Effektes.*

Compton, Artur Holly

*Wooster (Ohio) 10.9.1892, †Berkeley 15.3.1962

St. Louis, Chicago; Physik-Preis 1927 für *seine Entdeckung des nach ihm benannten Effektes.*

Cockcroft, Sir John Douglas

*Todmorden (Yorkshire) 27.5.1897, †Cambridge 18.9.1967

Cambridge (England), Harwell; Physik-Preis 1951 gemeinsam mit E.T.S. Walton für *ihre Pionierarbeiten über die Umwandlung von Atomkernen durch künstlich beschleunigte Atomteilchen.*

Cronin, James Watson

*Chicago 29.9.1931

Princeton, Chicago; Physik-Preis 1980 gemeinsam mit V.L. Fitch für *die Entdeckung von Verletzungen fundamentaler Symmetrieprinzipien beim Zerfall neutraler K-Mesonen.*

Curie, Marie geb. Sklodowska

*Warschau 7.11.1867 †Sanscellemoz (Frankreich) 4.7.1934

Paris; Physik-Preis 1903 gemeinsam mit P. Curie für *ihre gemeinsamen Forschungen über die von Professor Henri Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene.*

Curie, Pierre

*Paris 15.5.1859 †Paris 19.4.1906

Paris; Physik-Preis 1903 gemeinsam mit M. Curie für *ihre gemeinsamen Forschungen über die von Professor Henri Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene*.

Davis Jr., Raymond

*Washington, DC 14.10.1914

Brookhaven, Chicago; Physik-Preis 2002 gemeinsam mit M. Koshiba für *Pionierbeiträge zur Astrophysik, insbesondere für die Entdeckung kosmischer Neutrinos*.

Dehmelt, Hans Georg

*Görlitz 9.9.1922

Seattle; Physik-Preis 1989 gemeinsam mit W. Paul für *die Entwicklung der Technik der Ionenfallen*.

Dirac, Paul Adrien Maurice

*Bristol 8.8.1902, †Tallahassee (Florida) 20.10.1984

Cambridge (England), Tallahassee; Physik-Preis 1933 gemeinsam mit E. Schrödinger für *die Entdeckung neuer schöpferischer Formen der Atomtheorie*.

Einstein, Albert

*Ulm 14.3.1879, †Princeton 18.4.1955

Zürich, Prag, Berlin (–1933), Princeton; Physik-Preis 1921 für *seine Verdienste in der Theoretischen Physik und besonders für seine Entdeckung des Gesetzes des photoelektrischen Effekts*.

Fermi, Enrico

*Rom 29.9.1901, †Chicago 28.11.1954

Florenz, Rom (–1938), Chicago; Physik-Preis 1938 für *seinen Nachweis der Existenz neuer radioaktiver Elemente, die durch Bestrahlung mit Neutronen erzeugt werden und für die damit verwandte Entdeckung von Kernreaktionen, die durch langsame Neutronen hervorgebracht werden*.

Feynman, Richard

*New York 11.5.1918, †Los Angeles 15.2.1988

Los Alamos, Ithaca (New York), Pasadena (Kalifornien); Physik-Preis 1965 gemeinsam mit J. Schwinger und S. Tomonaga für *ihre grundlegenden Arbeiten in der Quantenelektrodynamik, mit tiefeschürfenden Konsequenzen für die Physik der Elementarteilchen*.

Fitch, Val Logsdon

*Merriman (Nebraska) 10.3.1923

Princeton; Physik-Preis 1980 gemeinsam mit J.W. Cronin für *die Entdeckung von Verletzungen fundamentaler Symmetrieprinzipien beim Zerfall neutraler K-Mesonen*.

Franck, James

*Hamburg 26.8.1882, †Göttingen 21.5.1964

Hamburg (–1933), Kopenhagen, Baltimore; Physik-Preis 1925 gemeinsam mit G. Hertz für *ihre Entdeckung der Gesetze, die den Stoß von Elektronen an Atomen beherrschen*.

Frank, Ilja Mikailovich

*St. Petersburg 23.10.1908, †Moskau 22.6.1990

Moskau, Dubna (Moskau); Physik-Preis 1958 gemeinsam mit P.A. Cherenkov und I.Y. Tamm für *die Entdeckung und die Interpretation des Cherenkov-Effektes*.

Friedman, Jerome Isaac

*Chicago 28.3.1930

Cambridge (Massachusetts); Physik-Preis 1990 gemeinsam mit H.W. Kendall und R.E. Taylor für *ihre Pionierarbeiten über die tief inelastische Streuung von Elektronen an Protonen und gebundenen Neutronen, die von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung des Quark-Modells in der Teilchenphysik waren*.

Gell-Mann, Murray

*New York 15.9.1929

Passadena; Physik-Preis 1969 für *seine Entdeckungen bezüglich der Klassifikation von Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen*.

Glaser, Donald Arthur

*Cleveland 21.9.1926

Michigan, Berkeley; Physik-Preis 1960 für *die Erfindung der Blaskammer*.

Glashow, Sheldon Lee

*New York 5.12.1932

Berkeley, Cambridge (Massachusetts); Physik-Preis 1979 gemeinsam mit A. Salam und S. Weinberg für *ihre Beiträge zur Theorie der vereinheitlichten schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung, einschließlich unter anderem der Vorhersage des neutralen schwachen Stromes*.

Goepfert-Mayer, Maria

*Kattowitz 28.6.1906, †San Diego 20.2.1972

Chicago, La Jolla (San Diego); Physik-Preis 1963 gemeinsam mit J.H.D. Jensen, für *ihre Entdeckungen bezüglich der Schalenstruktur der Atomkerne*.

Heisenberg, Werner

*Würzburg 5.12.1901, †München 1.2.1976

Leipzig, Berlin, Göttingen, München; Physik-Preis 1932 für *die Schöpfung der Quantenmechanik, deren Anwendung unter anderem zur Entdeckung allotroper Formen des Wasserstoffs führte*.

Hertz, Gustav

*Hamburg 22.7.1887, †Berlin 30.10.1974

Berlin (–1933), Sowjetunion, Leipzig; Physik-Preis 1925 gemeinsam mit J. Franck für *ihre Entdeckung der Gesetze, die den Stoß von Elektronen an Atomen beherrschen*.

Hess, Viktor Franz

*Schlß Waldstein (Steiermark) 3.6.1883,

†Mount Vernon (New York) 17.12.1964

Graz, Innsbruck (–1938), New York; Physik-Preis 1936 für *seine Entdeckung kosmischer Strahlung*.

Hofstadter, Robert

*New York 5.2.1915, †Stanford 17.11.1990

Princeton, Stanford; Physik-Preis 1961 für *seine Pionieruntersuchungen der Streuung von Elektronen an Atomkernen und die dabei erzielten Entdeckungen bezüglich der Struktur der Nukleonen*.

't Hooft, Gerardus

*Den Helder (Niederlande) 5.7.1946

Utrecht; Physik-Preis 1999 gemeinsam mit M.J.G. Veltman für *die Aufklärung der Quantenstruktur der elektroschwachen Wechselwirkungen in der Physik*.

Jensen, Johannes Daniel

*Hamburg 25.6.1907, †Heidelberg 11.2.1973

Göttingen, Hannover, Heidelberg; Physik-Preis 1963 gemeinsam mit M. Goepfert-Mayer für *ihre Entdeckungen bezüglich der Schalenstruktur der Atomkerne*.

Joliot, Frédéric

*Paris 12.3.1900, †Paris 14.8.1959

Paris; Chemie-Preis 1935 gemeinsam mit I. Joliot-Curie für *ihre Synthese neuer radioaktiver Elemente*

Joliot-Curie, Irène

*Paris 12.8. 1897, †Paris, 16.3.1956

Paris; Chemie-Preis 1935 gemeinsam mit F. Joliot für *ihre Synthese neuer radioaktiver Elemente*

Kendall, Henry Way

*Boston 9.12.1926

Cambridge (Massachusetts); Physik-Preis 1990 gemeinsam mit J.I. Friedman und R.E. Taylor für *ihre Pionierarbeiten über die tief inelastische Streuung von Elektronen an Protonen und gebundenen Neutronen, die von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung des Quarkmodells in der Teilchenphysik waren*.

Koshiba, Masatoshi

*Toyohashi 19.9.1926

Tokyo; Physik-Preis 2002 gemeinsam mit R. Davis für *Pionierbeiträge zur Astrophysik, insbesondere für die Entdeckung kosmischer Neutrinos*.

Kusch, Polykarp

*Blankenburg 26.1.1911, † Dallas 20.3.1993

New York; Physik-Preis 1955 für *seine Präzisionsbestimmung des magnetischen Moments des Elektrons*.

Lamb, Willis Eugene

*Los Angeles 12.7.1913

Stanford, Tuscon (Arizona); Physik-Preis 1955 für *seine Entdeckungen bezüglich der Feinstruktur des Wasserstoff-Atoms*.

Landau, Lew Davidowitsch

*Baku 22.1.1908, †Moskau 1.4.1968

Charkow, Moskau; Physik-Preis 1962 für *seine Pioniertheorien zur kondensierten Materie, insbesondere von flüssigem Helium*.

Lawrence, Ernest Orlando

*Canton (USA) 8.8.1901, †Paolo Alto (Kalifornien) 27.8.1958

Berkeley (Kalifornien); Physik-Preis 1939 für *die Erfindung und Entwicklung des Zyklotrons und für die damit erhaltenen Resultate, besonders bezüglich künstlicher radioaktiver Elemente*.

Ledermann, Leon Max

*New York 15.7.1922

New York, Batavia (Illinois); Physik-Preis 1988 gemeinsam mit M. Schwartz und J. Steinberger für *die Neutrino-Strahl-Methode und den Nachweis der Dublett-Struktur der Leptonen durch die Entdeckung des Müon-Neutrinos*.

Lee, Tsung Dao

*Schanghai 25.11.1926

New York, Princeton; Physik-Preis 1957 gemeinsam mit C.N. Yang für *ihre durchdringende Analyse der sogenannten Paritätsgesetze, die zu wichtigen Entdeckungen bezüglich der Elementarteilchen geführt haben*.

Lenard, Philipp Eduard Anton

*Preßburg (Bratislava) 7.6.1862, †Messelhausen (Baden) 20.5.1947

Kiel, Heidelberg; Physik-Preis 1905, für *seine Arbeiten über Kathodenstrahlen*.

Lorentz, Hendrik Antoon

*Arnheim 18.7.1853 †Haarlem 4.2.1928

Leiden; Physik-Preis 1902 gemeinsam mit P. Zeeman für *ihre Forschungen über den Einfluß des Magnetismus auf die Strahlungserscheinungen*.

van der Meer, Simon

*Den Haag 24.11.1925

Genf; Physik-Preis 1984 gemeinsam mit C. Rubbia für *ihre entscheidenden Beiträge zu einem großen Projekt, das zur Entdeckung der Feldteilchen W und Z, den Vermittlern der schwachen Wechselwirkung, führte.*

Michelson, Albert Abraham

*Strelno (Polen) 19.12.1852, †Passadena (Kalifornien) 9.5.1931

Cleveland, Worcester, Chicago; Physik-Preis 1907 für *seine optischen Präzisionsinstrumente und die spektroskopischen und metrologischen Untersuchungen, die mit ihrer Hilfe ausgeführt wurden.*

Millikan, Robert Andrews

*Morrison (Illinois) 22.3.1868, †Passadena 19.12.1953

Chicago, Passadena; Physik-Preis 1923 für *seine Arbeiten über die Elementarladung der Elektrizität und den photoelektrischen Effekt.*

Paul, Wolfgang

*Lorenzkirch 10.8.1913, †Bonn 7.12.1993

Göttingen, Bonn; Physik-Preis 1989 gemeinsam mit H.G. Dehmelt für *die Entwicklung der Technik der Ionenfallen*

Pauli, Wolfgang Ernst Fiedrich

*Wien 25.4.1900, †Zürich 15.12.1958

Zürich, Princeton; Physik-Preis 1945 für *die Entdeckung des Ausschließungsprinzips, auch Pauli-Prinzip genannt.*

Penzias, Arno Allen

*München 26.4.1933

Holmden (New Jersey); Physik-Preis 1978 gemeinsam mit R.W. Wilson für *ihre Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung.*

Perl, Martin Lewis

*New York 24.6.1927

Stanford; Physik-Preis 1995 für *Pionierarbeiten zur Leptonenphysik, besonders für die Entdeckung des tau-Leptons.*

Planck, Max

*Kiel 23.4.1858, †Göttingen 4.10.1947

Kiel, Berlin; Physik-Preis 1918 für *den Fortschritt der Physik durch die Entdeckung der Energiequanten.*

Powell, Cecil Frank

*Tonbridge (Kent) 5.12.1903, †Bellano 9.8.1969

Bristol; Physik-Preis 1950 für *seine Entwicklung photographischer Methoden zum Studium von Kernprozessen und seine Entdeckungen über Mesonen, die er mit dieser Methode machte.*

Rabi, Isaac Isidor

*Rymanóv (damals Österreich-Ungarn) 29.7.1898, †New York 11.1.1988

New York. Physik-Preis 1944 für *seine Resonanzmethode, die es erlaubt, die magnetischen Eigenschaften der Kerne aufzuzeichnen.*

Reines, Frederick

*Paterson (New Jersey) 16.3.1918, †Irvine (Kalifornien) 26.8.1998
 Los Alamos, Cleveland, Irvine; Physik-Preis 1995 für *Pionierarbeiten zur Leptonenphysik, besonders für die Entdeckung des Neutrinos.*

Richter, Burton

*New York 22.3.1931
 Stanford; Physik-Preis 1976 gemeinsam mit S.C.C. Ting für *ihre Pionierarbeiten bei der Entdeckung eines schweren Elementarteilchens von einer neuen Art.*

Röntgen, Wilhelm Conrad

*27.3.1845 Lennep (bei Remscheid) †10.2.1923 München
 Strassburg, Gießen, Würzburg, München; Physik-Preis 1901 für *die Entdeckung der bemerkenswerten Strahlen, die danach nach ihm benannt wurden.*

Rubbia, Carlo

*Gorizia (Italien) 31.3.1934
 New York, Rom, Genf; Physik-Preis 1984 gemeinsam mit S.v.d. Meer, für *ihre entscheidenden Beiträge zu einem großen Projekt, das zur Entdeckung der Feldteilchen W und Z, den Vermittlern der schwachen Wechselwirkung, führte.*

Rutherford, Lord Ernest

*Brightwater (Australien), † Cambridge (England) 19.10.1937
 Montreal, Cambridge (England) Chemie-Preis 1908 für *seine Untersuchungen über den Zerfall der Elemente und die Chemie radioaktiver Substanzen.*

Salam, Abdus

*Jhang (Indien) 29.1.1926, †Oxford 21.11.1996
 Punjab, London, Triest; Physik-Preis 1979 gemeinsam mit S.L. Glashow und S. Weinberg für *ihre Beiträge zur Theorie der vereinheitlichten schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung, einschließlich unter anderem der Vorhersage des neutralen schwachen Stromes.*

Schrödinger, Erwin

*Wien 18.12.1887, †Wien, 4.1.1961
 Breslau, Zürich, Berlin, Dublin; Physik-Preis 1933 gemeinsam mit P.A.M. Dirac für *die Entdeckung neuer schöpferischer Formen der Atomtheorie.*

Schwartz, Melvin

*New York 2.11.1932
 Stanford; Physik-Preis 1988 gemeinsam mit L.M. Ledermann und J. Steinberger für *die Neutrino-Strahl-Methode und den Nachweis der Dublett-Struktur der Leptonen durch die Entdeckung des Müon-Neutrinos.*

Schwinger, Julian

*New York 12.2.1918 †Los Angeles 16.7.1994

Cambridge (Massachusetts), Los Angeles; Physik-Preis 1965 gemeinsam mit R. Feynman und S. Tomonaga für *ihre grundlegenden Arbeiten in der Quantenelektrodynamik, mit tiefschürfenden Konsequenzen für die Physik der Elementarteilchen.*

Segrè, Emilio Gino

*Tivoli 1.2.1905, †Lafayette (USA) 22.4.1989

Berkeley; Physik-Preis 1959 gemeinsam mit O. Chamberlain für *ihre Entdeckung des Antiprotons.*

Steinberger, Jack

*Bad Kissingen 25.5.1921

New York, Genf; Physik-Preis 1988 gemeinsam mit L.M. Ledermann und M. Schwartz für *die Neutrino-Strahl-Methode und den Nachweis der Dublett-Struktur der Leptonen durch die Entdeckung des Müon-Neutrinos.*

Stern, Otto

*Sorau (Schlesien) 17.2.1888, †Berkeley 17.8.1869

Hamburg (–1933), Pittsburgh; Physik-Preis 1943 für *seine Beiträge zur Entwicklung der Molekularstrahlmethode und seine Entdeckung des magnetischen Momentes des Protons.*

Tamm, Igor Yewgenevich

*Wladiwostok 8.7.1895, †Moskau 12.4.1971

Moskau; Physik-Preis 1958 gemeinsam mit P.A. Cherenkov und I.Y. Frank für *die Entdeckung und die Interpretation des Cherenkov-Effektes.*

Taylor, Richard Edward

*Medicin Hat (Kanada) 2.11.1929

Berkeley, Stanford; Physik-Preis 1990 gemeinsam mit J.I. Friedman und H.W. Kendall für *ihre Pionierarbeiten über die tief inelastische Streuung von Elektronen an Protonen und gebundenen Neutronen, die von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung des Quarkmodells in der Teilchenphysik waren.*

Thomson, Sir Joseph John

*Cheetham Hill (Manchester) 18.12.1856, †Cambridge (England) 30.8.1940

Cambridge (England); Physik-Preis 1906 für *seine theoretischen und experimentellen Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit von Gasen.*

Ting, Samuel Chao Chung

*Ann Arbor (Michigan) 27.1.1936

Cambridge (Massachusetts); Physik-Preis 1976 gemeinsam mit B.

Richter für *ihre Pionierarbeiten bei der Entdeckung eines schweren Elementarteilchens von einer neuen Art.*

Tomonaga, Shin-Ichiro

*Tokio 31.3.1906, †Tokio 8.7.1979

Tokio; Physik-Preis 1965 gemeinsam mit R. Feynman und J. Schwinger für *ihre grundlegenden Arbeiten in der Quantenelektrodynamik, mit tieferschürfenden Konsequenzen für die Physik der Elementarteilchen.*

Veltman, Martinus

*Waalwijk (Niederlande) 27.6.1931

Genf, Ann Arbor (Michigan); Physik-Preis 1999 gemeinsam mit G. 't Hooft für *die Aufklärung der Quantenstruktur der elektroschwachen Wechselwirkungen in der Physik.*

Walton, Ernest Thomas Sinton

*Dungarvan (Irland) 6.10.1903, †Belfast 25.6.1995

Cambridge (England), Dublin; Physik-Preis 1951 gemeinsam mit J.D. Cockroft für *ihre Pionierarbeiten über die Umwandlung von Atomkernen durch künstlich beschleunigte Atomteilchen.*

Weinberg, Steven

*New York 3.5.1933

Cambridge (Massachusetts), Houston; Physik-Preis 1979 gemeinsam mit S.L. Glashow und A. Salam für *ihre Beiträge zur Theorie der vereinheitlichten schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung, einschließlich unter anderem der Vorhersage des neutralen schwachen Stromes.*

Wigner, Eugene Paul

*Budapest 17.11.1902, †Princeton 1.1.1995

Princeton; Physik-Preis 1963 für *seine Beiträge zur Theorie des Atomkerns und der Elementarteilchen, besonders durch die Entdeckung und Anwendung grundlegender Symmetrie-Prinzipien*

Wilson, Charles Thomson Rees

*Glencorse (Schottland) 14.2.1869, † Carlops (Schottland) 15.11.1959

Cambridge (England); Physik-Preis 1927 für *seine Methode, die Pfade elektrischer geladener Teilchen durch Dampfkondensation sichtbar zu machen.*

Wilson, Kenneth Geddes

*Waltham (Massachusetts) 8.6.1936

Ithaca (New York), Columbus (Ohio); Physik-Preis 1982 für *seine Theorie kritischer Phänomene bei Phasenübergängen.*

Wilson, Robert Woodrow

*Houston 10.1.1936

Holmden (New Jersey); Physik-Preis 1978 gemeinsam mit A.A. Penzias für *ihre Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung.*

Yang, Chen Ning

*Hefei (China) 22.9.1922

Princeton, New York, Hong Kong; Physik-Preis 1957 gemeinsam mit T.D. Lee für *ihre durchdringende Analyse der sogenannten Paritätsgesetze, die zu wichtigen Entdeckungen bezüglich der Elementarteilchen geführt haben.*

Yukawa, Hideki

*Tokio 23.1.1907, †Kyoto 8.9.1981

Osaka, Kyoto; Physik-Preis 1949 für *seine Vorhersage der Existenz von Mesonen auf Grundlage theoretischer Arbeiten über Kernkräfte.*

A.4 Kurzer Literaturhinweis

Auf das Buch von A. Pais habe ich schon mehrfach hingewiesen:

Abraham Pais, „Inward Bound“, Oxford 1986, Clarendon Press

Von Konferenzberichten, die der Geschichte der Elementarteilchenphysik gewidmet sind, fand ich die beiden folgenden Bände besonders interessant:

„International Colloquium on the History of Particle Physics“,
Journal de Physique, Bd. 43 (1982) C-8,

insbesondere die Beiträge von Ch. Peyrou, H.L. Anderson und N. Kemmer

„The Rise of the Standard Model“, Herausgeber L. Hoddeson
u.a., Cambridge, Engl. 1997, Cambridge University Press,

insbesondere die Beiträge von L. Lederman, M. Veltman, R. Schwitters,
S. Bludman, J. Iliopoulos, J. Bjorken, S.L. Wu und M. Gell-Mann.

Als Lehrbuch möchte ich empfehlen:

O. Nachtmann, „Phänomene und Konzepte der Elementarteilchenphysik“, Braunschweig 1986, Vieweg

In der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ erscheinen regelmäßig Beiträge zu Spezialgebieten der Elementarteilchenphysik. Einige klassische Artikel sind gesammelt in

„Teilchen, Felder und Symmetrien“, Herausgeber H.G. Dosch,
Heidelberg, Berlin, Oxford 1995 (2. Aufl.), Spektrum Akademischer Verlag

Ein umfangreiches Verzeichnis der Originalliteratur findet sich auf der *homepage* des Buches:

<http://www.thphys.uni-heidelberg.de/~dosch/transnano>

Namensverzeichnis

- Adams, J.C. 210
Adler, S. 158
Alembert, J. le Rond de 247
Alvarez, L.W. 90
Anderson, C.D. 5, 27, 51, 55,
57–61, 65, 67, 68, 71, 252
Anderson, P.W. 157
Arrest, H.L. d' 210
Atkinson, D. 113
- Bacon, F. 119, 254
Bahcall, J. 226
Becker, H. 12, 13
Becquerel, A. 18
Bell, J.S. 158
Bethe, H. 58, 59, 61, 100, 224
Bjorken, J.D. 170–172
Blackett, P.M.S. 21, 57, 71
Bludman, S. 155, 174, 177
Bohr, N. 10, 12, 26, 104, 142
Born, M. 12, 39
Borowitz, S. 80
Bothe, W. 12, 13, 19, 58
Bourgoyne, N. 82
Bricmont, J. 46
Broglie, L.V. de 15, 27, 86
Brout, R. 156
Brueckner, K.A. 84–86
- Cabbibo, N. 179, 181
Callan, C.G. 189
Cassen, B. 49
Cassirer, E. 258
Cavendish, H. 7
Chadwick, J. 14, 49
Chamberlain, O. 90
- Charpak, G. 160
Cherenkov, P.A. 17
Chew, G. 94, 105, 113, 116
Cockcroft, J.D. 61
Coleman, S. 133, 235
Compton, A.H. 15, 19, 33
Condon, E. 49
Conversi, H. 61
Courant, R. 88
Cowan, C. 100, 101
Cronin, J.W. 101
Curie, M. 13
- Dalitz, R.H. 95
Davis, R. 225, 226, 228
Dehmelt, H.G. 78
Dirac, P.A.M. 23, 25–27, 57, 77, 99,
188, 238
Disraeli, B. 252
Dyson, F. 37, 38
- Einstein, A. 5, 14, 15, 22, 141, 142,
216, 241, 258
Englert, F. 156
- Faraday, M. 252
Fermi, E. 26, 30, 34, 68, 74, 82–86,
94, 95, 101, 103, 106, 114, 117,
118, 120, 126, 164, 173, 178,
245, 260
Feynman, R. 31, 37, 170, 172, 204,
257
Fitch, V.L. 101
Fock, V. 143
Franck, J. 92
Frank, I.M. 17

- Frautschi, S.N. 116
 Frazer, W.R. 110
 Fresnel, A.-J. 14
 Friedman, J.I. 170, 172
 Fritzscht, H. 187
 Froissart, M. 114, 115
 Fubini, S. 130
 Fulco, J.R. 110
- Galilei, G. 1
 Galle, J.G. 210
 Gamow, G. 95
 Geiger, H. 9–11, 18, 19, 83, 106,
 107, 164, 165, 168
 Geissler, H. 7
 Gell-Mann, M. 72–75, 110, 120,
 123, 124, 127, 129–132, 134,
 136, 170, 174, 176, 179, 185,
 187, 189, 197, 263
 Glaser, D.A. 89
 Glashow, S.L. 174, 179–181, 185,
 197, 205
 Goldberger, M.L. 110, 174
 Goldstone, J. 150, 153
 Gross, D.J. 191
- Haag, R. 235
 Han, M.Y. 135, 136, 179, 185, 186
 Heisenberg, W. 2, 12, 13, 21, 26, 28,
 34, 35, 49, 104, 105, 149, 150,
 188
 Heitler, W. 58, 59
 Helmholtz, H. 2, 258
 Hertz, G. 92
 Hertz, H. 8, 14, 15, 259, 261
 Hess, V.F. 55
 Higgs, P.W. 156
 Hofstadter, R. 168, 169
 Hooft, G. 't 148, 157, 178, 182, 185,
 187, 190, 238
 Hoyle, F. 242
 Huygens, Ch. 44, 105
- Iizuka 128
 Ikeda, M. 119–122
 Iliopoulos, J. 179, 180, 197
- Inoue, T. 61
- Jackiw, R. 158
 Jensen, J.H.D. 96, 99
 Joliot, F. 13, 57
 Joliot-Curie, I. 13, 57
 Jordan, P. 26, 29
 Joyce, J. 129
- Kallmann, H. 83
 Kaluza, T. 231
 Kaufmann, W. 8, 13
 Kemmer, N. 51, 52, 67, 155
 Kendall, H.W. 172
 Kibble, T. 156
 Klein, O. 29, 33, 146, 154, 155, 231
 Kobayashi, M. 208
 Kohlhörster, W. 58
 Kohn, W. 80
 Koshiba, M. 228
 Kunze, P. 59
 Kusch, P. 78
- Lamb, W.E. 94
 Landau, L.D. 103, 105, 194, 195
 Lattes, C.G.M. 66, 67
 Lawrence, E.O. 3, 4, 61, 63, 67, 82
 Ledermann, L.M. 164, 207
 Lee, T.D. 94, 96, 174
 Lehmann, H. 110
 Lenard, P.E.A. 8, 14
 Leutwyler, H. 187
 Livingston, M.S. 88
 London, F. 143
 Lopuszanski, J.T. 235
 Lorentz, H.A. 97
 Low, F.E. 94, 174, 189
 Lüders, G. 81, 82
 Lukretz 2
- Maiani, L. 179, 180, 197
 Majorana, E. 95
 Mandelstam, S. 108, 238
 Mandula, J. 133, 235
 Marsden, E. 9–11, 18, 106, 164, 168
 Maskawa, T. 208
 Maxwell, J. Clerk 14

- McMillan, E.M. 63, 87
 Meer, S.v.d. 206, 253
 Millikan, R.A. 55, 133
 Mills, R.L. 146
 Muirhead, H. 66
 Musil, R. 46
- Nambu, Y. 135, 136, 151, 179, 185,
 186
 Ne'eman, Y. 123
 Neddermaier, S.H. 51, 52
 Nishijima, K. 73, 74, 120, 176
 Nishina, Y. 23
- Ochialini, G. 21, 57, 66
 Ogawa, S. 119, 120
 Ohnuki, Y. 119, 120
 Okubo, S. 124, 128
 Oppenheimer, J.R. 59, 96, 148
- Pais, A. 73, 75, 88, 96
 Pancini, G. 61
 Panofsky, W.K.M. 67, 168
 Paul, W. 78
 Pauli, W. 12, 16, 25, 26, 49, 81, 82,
 97, 98, 100, 101, 131, 134–136,
 146, 148, 183, 185, 237, 259
 Peierls, R.E. 100
 Perl, M.L. 207
 Petermann, A. 189
 Piccioni, V. 61
 Planck, M. 6, 15, 104, 230, 241
 Platon 1
 Plücker, J. 7
 Politzer, H.D. 191
 Pomeranchuk, I.Y. 103, 194
 Pontecorvo, B. 68, 95
 Powell, C.F. 65–68
 Prout, W. 7, 13
- Rabelais, F. 183
 Rabi, I.I. 68, 78, 206
 Regge, T. 116
 Reines, F. 16, 100, 101, 183
 Richter, B. 197
 Römer, O. 5
 Röntgen, W.C. 18
- Rosenfeld, A. 72
 Rossi, B. 20
 Rubbia, C. 205, 206, 253
 Rutherford, E. 9, 10, 12–14, 83,
 164, 165, 168
- Sakata, S. 52, 61, 118
 Salam, A. 177, 178, 185, 205
 Scherk, J. 248
 Schrödinger, E. 12, 142, 143
 Schwartz, M. 164
 Schwarz, J.H. 248
 Schwinger, J. 37, 78, 80, 81, 158,
 174
 Segrè, E.G. 90
 Serber, R. 51, 67, 188
 Shaw, R. 146
 Snyder, H. 88
 Söding, P. 203
 Sohnius, M. 235
 Sokal, A. 46
 Speiser, D. 123
 Stech, B. 99
 Steinberger, J. 67, 158, 164
 Stern, O. 131
 Stückelberg, E.C.G. 189
 Szymanski, K. 110, 189, 190
- Tamm, I.E. 17, 24
 Tanikawa, Y. 52
 Tarski, J. 123
 Taylor, R.E. 172
 Teller, E. 95
 Terentev, M.V. 190
 Thirring, W. 110
 Thomson, J.J. 8–10, 20, 24, 38
 Ting, S.C.C. 197, 254
 Tomonaga, S.-I. 37
 Touschek, B. 162
- Vanyashin, V.S. 190
 Veksler, V.I. 63
 Veltman, M. 148
 Veltmann, M. 157, 185, 187, 202
 Veneziano, G. 116, 246, 247
 Verrier, U.-J.-J. le 210

- Waerden, B.v.d. 97
 Waller, I. 24
 Walton, E.T.S. 61
 Watson, G.N. 116
 Wegner, F. 200
 Weinberg, S. 3, 149, 174, 175, 177,
 185, 205, 258, 260
 Weizsäcker, R. von 224
 Wess, J. 235
 Weyl, H. 40, 41, 97, 139, 141–144,
 146, 154, 155, 216
 Wheeler, J.A. 96
 Wiechert, E. 8
 Wightman, A.S. 80
 Wigner, E. 41, 133, 261
 Wiik, B.H. 203
 Wilczek, F. 191
 Wilson, K. 195, 200
 Wilson, R.W. 8, 20, 55
 Wolf, G. 203
 Wu, C.-S. 96
 Wu, S.L. 203
 Yang, C.N. 96, 117, 118, 120, 126,
 146–148, 174, 187
 Young, Th. 14
 Yukawa, H. 35, 51, 60, 61, 65–68,
 73, 146
 Zachariasen, F. 113
 Zimmermann, W. 110
 Zumino, B. 82, 235
 Zweig, G. 127–132, 136, 179