

Plausible Definition von Masse, Ladung und Spin

Petra Schulz

D-38116 Braunschweig, Theodor-Francke-Weg 65

[Originaltext aus: SCHULZ, P.: Plausible Definition von Masse, Ladung und Spin. In: CD zur Frühjahrstagung Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden 2000. Text umformatiert, neue Zusammenfassung und erstmals Zwischenüberschriften eingefügt im Jahre 2003]

Zusammenfassung

Überwiegend am Beispiel des Elektrons werden Masse, Ladung und Spin mechanisch erklärt. Als Vergleichsmaß dient die Urphotonen-Kugel, das hypothetische Teilchen, das die Wirkung von einem Planckschen Wirkungsquantum besitzt. Die Masse ist bis auf einen Dimensionsfaktor gleich der Anzahl von Urphotonen-Kugeln. Ladung und Spin werden als Überlagerung gleichsinnig drehender Urphotonen-Kugeln definiert, die ihren Drehsinn nicht neutralisiert haben. Der Unterschied zwischen Ladung und Spin (abgesehen vom Dimensionsfaktor) ist nur quantitativer Natur. Elektrische Ladung bedeutet einen intensiven Spin von rund 10^{20} gleichsinnig spinnenden Urphotonen-Kugeln.

Die Misere der heutigen Physik

Die heutige Physik steckt in einer ziemlich schlimmen Misere. Was ist Masse? Was ist Ladung? Für diese beiden wichtigen Eigenschaften existieren in der Literatur keine Erklärungen. Da beide Größen nicht zu verstehen sind, wird in der Quantenelektrodynamik bei den störungstheoretischen Herleitungen von Masse und Ladung des Elektrons gemogelt (siehe z. B. „Meyers Physik-Lexikon“): Bei der Summenbildung explodieren die Masse- und Ladungswerte, deshalb muß man eine Massen- und eine Ladungsrenormierung durchführen.

Für den Spin gibt es eine alte klassische Erklärung: Man spricht von einem Spin, wenn sich ein Teilchen wie ein Kreisel benimmt, wenn es sich um eine seiner eigenen Achsen dreht. Aber die Quantentheorie weist diese Deutung leider weit von sich und verschanzt sich hinter der Abstraktheit der Wellenfunktion.

Daß an dem heutigen abstrakten Modell für den Spin etwas nicht stimmen kann, sieht man an folgendem Beispiel: Wir wählen zwei Photonen gleicher Polarisation mit der Spinquantenzahl $J=1$ und verschmelzen beide per Frequenzverdopplung zu einem einzigen Photon. Per Definition hat das neue Photon $J=1$, obwohl sich rechnerisch der Wert 2 ergeben müßte. Und so ist es natürlich auch kein Wunder, daß die Elementarteilchenphysiker im Zeitalter der „Spin-Krise“ leben (SPEICHER 1966), auch wenn sie mittlerweile dieses Thema vertuschen. Aber das Problem bleibt: der Spin von Proton und Neutron läßt sich mit dem Quark-Modell nicht richtig berechnen.

Neuansatz: Modell des Urphotons für das Elektron

Ich will die alte klassische Idee des Spins neu beleben und am Beispiel des Elektrons erstmals die Spindeutung sogar auch für die Definition von Masse und Ladung verwenden. Ich muß mich im Moment auf das Elektron konzentrieren, weil es ein Teilchen fast ohne Struktur ist und zumindest kein zusammengesetztes Teilchen ist wie ein Atom. Somit werden die Definitionen für Masse und Ladung einfacher ausfallen. Zunächst wird nur das ruhende Elektron betrachtet, also das Elektron in seinem Grundzustand.

Es ist kein Zufall, daß alle vier Grundkräfte der Natur formal nach dem gleichen Kraftgesetz funktionieren. Deshalb wird es sinnvoll sein - gleichzeitig könnte man dabei der Misere der Physik entkommen - auf das folgende neue Postulat zu bauen: **Alle Eigenschaften der Materie sind mechanisch erklärbar**. Außer diesem grundlegenden Postulat muß ich für quantitative Überlegungen noch einige spezielle zusätzliche Grundannahmen treffen, die sich auf das **Urphoton** beziehen. Das Urphoton definiere ich als ein Teilchen, das ein Wirkungsquantum enthält. Das Urphoton ist gleichzeitig das **Urgraviton**. Sofern beim Urphoton von der Geschwindigkeit abstrahiert werden kann, werde ich das Gebilde **Urphotonen-Kugel** nennen.

1. Das Urphoton ist ein **kugelförmiges** Teilchen,
2. das sich mit einer **Frequenz** von 1 Umdrehung/s um seine Symmetrieachse dreht.
Noch eine Zusatzbemerkung, die im folgenden allerdings nicht weiter benötigt wird:
Wenn man die Frequenz einer Schwingung angibt, muß dieser Wert mit 2 multipliziert werden, da sich eine Schwingung aus zwei gegenläufigen Kreisbewegungen zusammensetzt:

$$1 \text{ Schwingung/s} = 2 \text{ Umdrehungen/s.} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Ich erwähne das nur aus dem Grund, weil in der Physik öfter mal Schwierigkeiten mit dem Faktor 2 auftreten.

3. Das Urphoton ist genauso groß wie das Elektron, sein Radius ist kleiner oder gleich dem **klassischen Elektronenradius** ($2,8 \cdot 10^{-15}$ m). Dieser Radius ist zur Zeit noch nicht experimentell bestimmbar. Wer weiß, ob er jemals gemessen werden kann, da es doch gar kein kleineres Teilchen zum maßnehmenden Beschießen gibt.
4. Das Urphoton fliegt mit **Lichtgeschwindigkeit**. Es ist das energieärmste Photon (siehe das Photonenmodell des verstorbenen Physikers RÖSCHLAU 1981).
5. Diesen Punkt nur noch der Vollständigkeit halber: Die Gültigkeit des Bohrschen Atommodells wird angenommen. Deshalb bewegt sich das Urphoton/Urgraviton auf einer **Kreisbahn**.
6. **Wechselwirkungen** können nur eintreten, wenn sich zwei Teilchen auf ihren Bahnen treffen und überrollen (**durchdringen**). Denn die Physik der Ehrlichkeit muß endlich beginnen!
7. Für quantitative Aussagen wird Gleichung 2 zu Grunde gelegt

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} m_0 \cdot c^2, \quad (\text{Gleichung 2})$$

wobei h das Plancksche Wirkungsquantum, ν Frequenz, m_0 Ruhmasse und c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum bedeuten. Diese Gleichung ergibt sich beim Compton-Effekt aus dem maximalen Energieübertrag des Photons auf das Elektron (siehe z. B. HÖFLINGs Lexikon). Bis auf den Faktor $\frac{1}{2}$ hat RÖSCHLAU in seinem Buch diese Gleichung erfolgreich auf Photonen angewendet.

In Abb. 1 ist der Grenzfall des Compton-Effekts dargestellt, bei dem der Compton- in den Photoeffekt übergegangen ist.

Nun sind alle Vorbereitungen getroffen, die Definitionen für Masse, Ladung und Spin können beginnen.

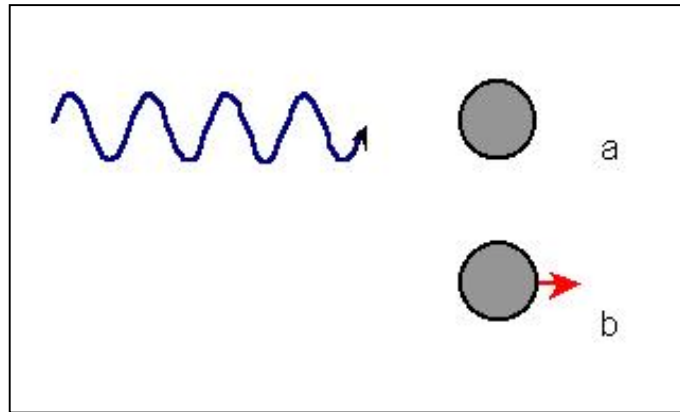


Abb. 1: Grenzfall beim Compton-Effekt
 a: Ein Photon mit gleichem Energieinhalt wie das Elektron trifft zentral auf das Elektron.
 b: Das Elektron schluckt das ganze Photon und nimmt dessen gesamten Impuls auf.

Was ist Ruhmasse?

Die Ruhmasse ist proportional zur Anzahl der Urphotonen-Kugeln, die in einem Stück Materie stecken, unabhängig von der Richtung des Drehsinns dieser Kugeln (s. Abb. 2).

Während beim Elektron alle Urphotonen-Kugeln am selben Ort gestapelt sind, können sich diese bei komplizierteren Teilchen wie einem Atom auch an verschiedenen Stellen aufhalten. Als Ruhmasse für das Urphoton ergibt sich ein Wert von $1.47 \cdot 10^{-50}$ kg (s. Tabelle, der doppelte Wert von RÖSCHLAUs Vorhersage.) Diese kleine Masse dürfte für die Schulphysik noch akzeptabel sein. Der Wert läßt sich aber zur Zeit nicht experimentell beweisen, wegen der Heisenbergschen Unschärferelation vielleicht später auch nicht.

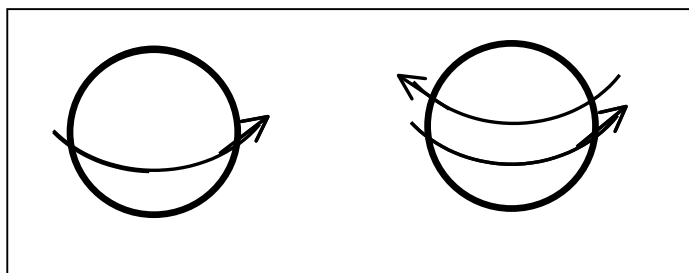


Abb. 2: Zur Massendefinition: Abzählen der vorhandenen Planckschen Wirkungsquanten (im Beispiel sind drei eingezeichnet).

Und was ist mit der bewegten Masse?

Hier noch schnell am Rande als Ergänzung erwähnt: Für die **bewegte Masse** $m(v)$, die eine Funktion der Geschwindigkeit v ist, wird die gängige Berechnungsformel aus der Schulphysik als gültig angenommen (s. Gleichung 3 bzw. Abb. 3):

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

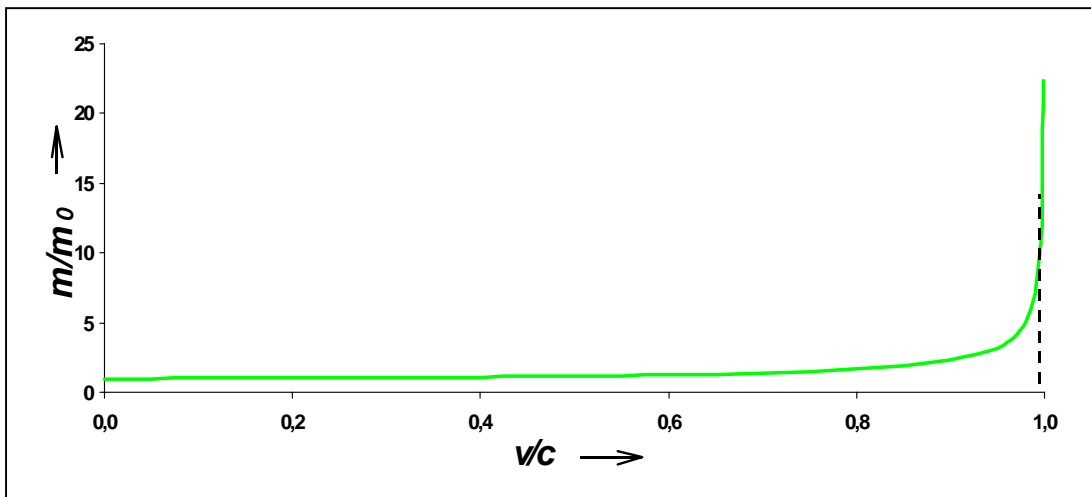


Abb. 3: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse

Diese Gleichung ist qualitativ mit meiner Massendefinition vereinbar. Denn ich habe indirekt schon gesagt, daß das Photon eine Ruhmasse tragen muß. (Den Zahlenwert liefere ich zum Schluß.) Wird ein ruhendes Teilchen von Photonen überrollt, dann werden Photonen absorbiert. Das führt zur Massenerhöhung, gleichzeitig bleibt der Bahnimpuls im Teilchen stecken. Drastisch wird der Effekt, wenn das Teilchen in die Nähe von Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden soll. Dann muß es sehr viele Photonen aufnehmen und erhält dadurch einen entsprechend starken Massenzuwachs.

Was ist elektrische Ladung? Was ist Spin?

Die elektrische Ladung ist proportional zur Anzahl der Urphotonen-Kugeln gleichen Drehsinns am selben Ort, die sich nicht neutralisiert haben, s. Abb. 4 a. Zwei gegensinnig drehende Urphotonen-Kugeln führen zur Ladungsneutralisierung, s. Abb. 4 b. Von elektrischer Ladung spricht man aber erst, wenn sich rund 10^{20} Urphotonen-Kugeln am selben Ort mit gleichem Drehsinn überlagern. Von der Frequenz her ist das bereits der Bereich der Gammastrahlung, also der harten Röntgenstrahlung. Diese Größenordnung geht aus der Tabelle hervor. Für die elektrische Ladung des Urphotons ergibt sich $2,59 \cdot 10^{-39}$ As. RÖSCHLAU hat den um den Faktor 2 kleineren Wert berechnet.

In der Elementarteilchenphysik müssen wegen der verwendeten hohen Energien für jedes Quark noch zusätzliche neue Ladungen definiert werden. Aber auf diesen Punkt möchte ich nicht weiter eingehen.



Abb. 4: Zur Spin- und Ladungsdefinition:
 a gleichgerichtete Spins verstärken sich,
 b entgegengesetzte Spins löschen sich aus.

Der absolute Spin ist proportional der Anzahl der Urphotonen-Kugeln gleichen Drehsinns, die sich nicht neutralisiert haben. Damit ist die Definition der elektrischen Ladung identisch mit der Definition des absoluten Spins. Das ist vielleicht zunächst etwas verwirrend. Durch den Größenunterschied zwischen Spin und Ladung führt das normalerweise nicht zu Konflikten.

Da die Ladung in der Schulphysik als Erhaltungsgröße gehandhabt wird, müssen sich die Änderungen der Umdrehungsgeschwindigkeit eines Teilchens in einer anderen Größe niederschlagen, in der Spinänderung. Diese Änderungen spielen sich, wenn nicht gerade Hochenergiephysik betrieben wird, i. a. bei Frequenzen ab, die sehr viel kleiner als 10^{20} Hz sind. Für die Elektronenspinresonanz sind z. B. rund 10^{10} Hz erforderlich, um die Spinrichtung des Elektrons umzukehren. Dramatische Spin- und Ladungsänderungen passieren in der Elementarteilchenphysik, weshalb die abstrakte Größe Isospin eingeführt wurde, ein Thema, das aber hier nicht weiter vertieft werden soll. Hier vielleicht nur so viel am Rande: Isospin und Ladung sind einander wohl proportional (WALOSCHEK 1991).

Vorsicht: Spinänderungen!

Spinänderungen normaler sowie hochenergetischer Teilchen sind in der Schulphysik abstrakt verbrämt. Und deshalb wird z. B. in der Molekülspektroskopie für gewisse erwartete **abstrakte Spinänderungen**, für die - egal, welcher Energiebedarf dahintersteckt - die Quantenzahländerung von $\Delta J = 1$ zu Grunde gelegt. Meine Meinung zu der Spinquantenzahländerung von $\Delta J = \pm 1$, die das Photon bei Rotations-Schwingungs-Übergängen an Hand von Auswahlregeln laut Schulphysik erleiden soll, habe ich an Beispielen 1997 auf der DPG-Tagung Didaktik der Physik dargelegt. Hier nur so viel: Wenn man es geschickt anstellt, wird man eines Tages ein Photon zerschreddern können: Wenn ein Photon aus dem sichtbaren Bereich nacheinander an vielen Molekülen vorsichtig vorbei streicht, dann kann es locker im Mikrowellenbereich diese vielen Moleküle nacheinander rotieren lassen, und dabei jedes Mal $\Delta J = 1$ übertragen. Das ist aber nur möglich, wenn das Photon eine Spinquantenzahl besitzt, die viel größer als 1 ist. Das sage ich nur als Ergänzung zu dem Beispiel der Frequenzverdopplung, das ich in der Einleitung erwähnt habe.

Um den absoluten Gesamtspin eines Teilchens zu ermitteln, müssen die Einzelspins vektoriell addiert werden. (Schwierig wird es allerdings, wenn der Gesamtdrehimpuls bestimmt werden soll, weil bekannt sein muß, welche Drehimpulse miteinander wechselwirken. Es kann nämlich durch ein unverdauliches Photon ein Stück Spin wegflattern).

Die herkömmlichen alten Quantenzahlen sind – mit einiger Vorsicht angewendet – brauchbar, wenn es darum geht, eine Vielzahl von spektroskopischen Linien zu identifizieren oder wenn gleichnamige Elementarteilchen sinnvoll klassifiziert werden sollen. Für eine gute neue theoretische Jahrhundertphysik sind die alten Quantenzahlen jedoch nicht mehr zu gebrauchen.

Quantitativer Überblick

| Physikalische Größe | Urphoton | Ruhendes Elektron | Umrechnungs-Formel | Rechenbeispiel |
|-----------------------------------|--|--|---|--|
| Frequenz ν (Umdrehungen/s) | 1 Definition | $0,62 \cdot 10^{20}$ | $\nu = \frac{m_0 \cdot c^2}{2 \cdot h}$ | $\frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}$ |
| Ruhmasse m_0 (in kg) | $1,47 \cdot 10^{-50}$ | $9,11 \cdot 10^{-31}$ | $m_0 = \frac{2 \cdot h \cdot \nu}{c^2}$ | $\frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1 \text{ Umdrehung/s}}{(3 \cdot 10^8)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}$ |
| Ladung q (in As) | $2,59 \cdot 10^{-39}$ Schulphysik: $q=0$ | $1,602 \cdot 10^{-19}$ | $q(h) = \frac{q(e) \cdot \nu(h)}{\nu(e)}$ | $\frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1 \text{ Umdrehung/s}}{0,62 \cdot 10^{20} \text{ Umdrehungen/s}}$ |
| Ladungs-quantenzahl | 0 | -1 | | |
| Absoluter Spin (Umdrehungen/s) | 1 | $0,62 \cdot 10^{20}$ | | |
| Spinquantenzahl | | $\pm 1/2$ | | |

Tabelle 1: Vergleich der wichtigsten Eigenschaften vom Urphoton und Elektron (die neuen von der Schulphysik abweichenden Werte wurden grau unterlegt und fett gedruckt)

Ausblick:

1. Wenn alle Eigenschaften der Materie mechanisch erklärbar sind, dann wird das einige Folgen für die Zukunft haben, z. B. werden alle Kräfte durch das gleiche Modell beschreibbar sein. Eine qualitative Darstellung nach einem Strömungsmodell habe ich für die elektromagnetische Wechselwirkung auf der DPG-Tagung in Jena bereits 1996 erbracht. Sehr verwandte Ideen befinden sich in den Büchern von BAER (1996, 1997).
2. Haftet man z. B. bei einem Einzelteilchen wie dem Elektron gedanklich einen Markierungspunkt an seinen Äquator, dann ist der Verlauf dieses Punktes in Raum und Zeit die Wellenfunktion für ein einzelnes Teilchen.
3. Somit sind alle Teilchen samt den Photonen **Welle und Teilchen zugleich**.

Zu dem Welle-Teilchen-Bild noch ein symbolisches Bild aus dem Menschenbereich, ein Vexierbild (Abb. 5). Einige Anwesende sehen hierin die alte Frau, andere die junge und einige wenige unter uns erkennen sowohl die junge als auch die alte Frau.



Abb. 5: Vexierbild: Alte Frau oder junge Frau? (aus BLOCK und YUKER)

Literatur

- BAER, G.: *Logik eines Jahrhundertirrtums*. Dresden: Spur-Verlag, 1996, 3. Auflage.
 BAER, G.: *Spur eines Jahrhundertirrtums*. Dresden: Spur-Verlag, 1997, 3. Auflage.
 BLOCK, J. R.; YUKER, H. E.: *Ich sehe was, was Du nicht siehst*. Goldmann Verlag, 1996, S. 17
Meyers Physik-Lexikon. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut, 1973
 HÖFLING, O.: *Mehr Wissen über Physik*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG, 1970, S. 71-72
 RÖSCHLAU, H.: $h \cdot \nu = m \cdot c^2$, *Energie – Masse – Teilchen*. Kappeln: Eigenverlag, 1981
 SCHULZ, P.: *Elektromagnetismus endlich anschaulich*, in: DPG-Vortragsband Didaktik der Physik,
 Jena 1996, S.309-312
 SCHULZ, P.: *Kurioses zum Photon*, in: DPG-Vortragsband Didaktik der Physik, Berlin 1997,
 S. 624-629
 SPEICHER, C.: *Aufruhr im Teilchenzoo*, Bild der Wissenschaft 7/1996, S. 116-118
 WALOSCHEK, P.: *Neuere Teilchenphysik – einfach dargestellt*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG,
 1991, 4. Auflage, S. 74