

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 6 (1951)
Heft: 10

Artikel: Materie oder Welle? : Elementarteilchen, die grossen Unbekannten der Physik
Autor: Nabl, Helmut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-654407>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Materie oder Welle? Elementarteilchen, die großen Unbekannten der Physik

Von Dr. Helmut Nabl

DK 539.152 : 530.145.65

Protonen, Elektronen — und wie alle die Urbausteine der Materie sonst heißen mögen — gehören heute beinahe zum täglichen Brot des Physikers. So erscheint es wenigstens dem Laien, der sich unter all den Namen auch gern etwas vorstellen möchte und dabei einigermaßen in Verlegenheit gerät. Freilich — der Physiker weiß allerlei von diesen Elementarteilchen zu erzählen: Das mit einer positiven elektrischen Ladung versehene *Proton* hat etwa die gleiche Masse wie das elektrisch ungeladene *Neutron* und eine etwa 1800mal größere als das *Elektron*, das seinerseits negativ geladen ist. Protonen und Neutronen können zu einem „Kern“ zusammentreten, der von Elektronen umkreist wird wie die Sonne von den Planeten. Dann sprechen wir von einem *Atom*. Diese Elementarteilchen — und jetzt beginnt die Erzählung für den Laien einigermaßen verworren zu klingen — sind aber gar nicht immer Teilchen. Schießt man etwa Elektronen durch eine dünne Schicht Kristallpulver, so zeigen sie die gleichen Erscheinungen, die man beobachten würde, wenn man kurzwelliges Licht, z. B. Röntgenstrahlen, durchschickte: sie werden abgelenkt und erzeugen, wenn man sie auf einer photographischen Platte auffängt, Interferenzringe. Diese Beugungs- und Interferenzerscheinungen lassen sich aber nur dadurch erklären, daß unsere „Teilchen“ in diesem Fall gar nicht den Charakter von *Teilchen*, sondern eben *Wellennatur* besitzen. Diese Doppelnatur der Elementarteilchen verwirrt den Laien. Hat man ihm nicht eben noch versichert, das Atom sei eine Art Sonnensystem und die Elektronen seien die Planeten?

Planeten mit Welleneigenschaft — man muß nicht einmal Nichtphysiker sein, um so etwas befremdend zu finden!

Was ist also ein Elementarteilchen?

Wenn wir uns von der Existenz eines bestimmten Gegenstandes — etwa eines Apfels, überzeugen wollen, so stellen wir erst einmal durch Augenschein fest, daß er überhaupt da ist, und bestimmen dann an Hand seiner Merkmale, daß es sich um einen *bestimmten* Apfel — sagen wir: um eine Reinette und keine Calville — handelt. So hat man uns in unserer

Kindheit die Umwelt kennen gelehrt, und wir haben dabei erfahren, daß die meisten Gegenstände, die ihr angehören, feste, individuelle Merkmale aufweisen: Wir haben noch nie erlebt, daß aus einer Reinette eine Calville geworden wäre — und umgekehrt.

Man hat uns damals freilich auch von anderen Dingen erzählt, die uns nie durch Augenschein evident wurden, z. B. vom schwarzen Mann. Dadurch sind wir mit der Zeit etwas skeptisch geworden, und wir müssen es bekennen, die seltsamen Dinge, die uns der Physiker von der Natur der Elementarteilchen erzählt, erinnern uns stark an den schwarzen Mann.

Wir wollen ihn zur Rede stellen: „Du hast uns da allerhand erzählt, z. B. von einem Atom, das aus einem Kern und einem Umlaufelektron besteht. Zeig es uns doch! Und zeig uns auch gleich diese sonderbaren Dinge, die einmal Teilchen und einmal Welle sind.“

Damit kommen wir dem Physiker allerdings etwas zu früh, der Bau eines Mikroskops, das auch Elektronen sichtbar machen kann, stößt einstweilen noch auf erhebliche Schwierigkeiten. Aber grundsätzlich ist solch ein Übermikroskop nicht unmöglich, und so dürfen wir uns ohne weiteres vorstellen, wir hätten ein solches schon und wollten dadurch ein Wasserstoffatom betrachten.

Um das Bild eines so kleinen Gebildes überhaupt in seine Bestandteile auflösen zu können, müssen wir zu seiner Beleuchtung das kurzwelligste Licht, das wir besitzen — nämlich Gammastrahlen — verwenden. Da müssen wir freilich unser Auge durch eine photographische Platte ersetzen. Wir werden unser Atom also photographieren müssen. Machen wir nun durch unser Mikroskop eine Momentaufnahme, so sehen wir auf der Platte tatsächlich die Bilder zweier Elementarteilchen — wir wollen sie von jetzt ab kurz „Teilchen“ nennen — des Protons, das den Kern darstellt, und des Umlaufelektrons. Damit ist uns aber wenig geholfen — wir wollten doch den Umlauf des Elektrons um den Kern beobachten. Wir beschließen, unser Atom zu filmen — und hier stoßen wir auf eine unüberwindliche Barriere.

Um dies zu verstehen, wollen wir uns klar machen, daß jede Beobachtung eines Gegen-

standes einen Eingriff vorstellt, der den augenblicklichen Zustand dieses Gegenstandes stört. Will man etwa einen Apfel scharf sehen, so muß er beleuchtet sein, und dabei werden die Lichtstrahlen einen gewissen Druck auf ihn ausüben, der den Apfel etwas aus seiner Lage rücken wird — eine Verschiebung, die in unserem Falle allerdings so klein ist, daß sie sich jeder Meßmöglichkeit entzieht.

Anders im Atomaren! Wollen wir hier von unserem Elektron ein scharfes Bild seiner augenblicklichen Lage erhalten, so müssen wir sehr kurzwelliges, d. h. sehr energiereiches Licht verwenden. Prallen aber die Quanten dieses Lichtes auf das Elektron auf, so ist das wie die Karambolage zweier Billardkugeln: Das Elektron wird aus dem Atomverband herausgeschossen, das Atom zerstört. Unser Versuch, die Bahn des Elektrons zu filmen, scheitert sofort nach der ersten Aufnahme.

Wir hätten freilich langwelligeres Licht verwenden und damit eine sanftere Einwirkung auf das Elektron erzielen können. Aber dann hätten wir kein scharfes Bild seines jeweiligen Ortes — und damit auch nicht seiner Bahn — bekommen. Hinsichtlich atomarer Beobachtungen müssen wir grundsätzlich feststellen:

Es ist unmöglich, gleichzeitig Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens mit absoluter Genauigkeit festzustellen. Stets wird eine genaue Ortsbestimmung die Geschwindigkeit in unkontrollierbarer Weise stören und umgekehrt. Das ist die berühmte *Unschärferelation* Heisenbergs.

Wie sollen wir nun die Bahn unseres Elektrons feststellen? Da bleibt uns nichts anderes übrig, als von möglichst vielen Wasserstoffatomen der gleichen Art Momentaufnahmen zu machen. Nach jeder Aufnahme wird das Atom zwar zerstört sein, aber jede Aufnahme wird uns dafür auch ein Bild der augenblicklichen Lage des Elektrons — bald hier, bald dort — bald in größerer, bald in kleinerer Entfernung vom Kern — hier häufiger, dort seltener — liefern.

Legen wir alle diese Bilder übereinander und betrachten sie dann, so erhalten wir ein einziges Bild: das Bild der Wahrscheinlichkeit, unser Elektron an diesem oder jenem Ort in der Umgebung des Kernes anzutreffen. Eine solche „Wahrscheinlichkeitsverteilung“ läßt sich aber mathematisch durch eine Wellenfunktion beschreiben, eine Welle, die uns eine symbolische Darstellung all dessen, was wir über das fragliche Teilchen — seinen Ort und seine Geschwindigkeit — wissen können, gibt.

Eine derartige Welle hat nun allerdings nicht mehr sehr viel mit dem gemein, was wir gewöhnlich als Welle anzusehen pflegen, aber gerade diese „symbolische“ Welle meint der Physiker, wenn er von der Wellennatur der Teilchen spricht.

Die Unschärferelation hat eine sehr merkwürdige Tatsache zur Folge: Sie verhindert uns, ein Elementarteilchen mit Sicherheit von anderen Teilchen der gleichen Art zu unterscheiden. Ein Teilchen hat keine individuellen Eigenschaften, es läßt sich nicht identifizieren.

Machen wir uns dies klar!

Wenn wir eine Aufnahme eines Schwarmes von Teilchen der gleichen Art — etwa eines Elektronenstrahls — machen, so werden alle Elektronen einander zum Verwechseln ähnlich sein. Das ist verständlich: bei Elektronen handelt es sich ja um letzte Bausteine der Materie. Die können wir auf keine Weise mehr in Bestandteile zerlegen, wir können daher auch keine Merkmale an ihnen finden, durch die sich ein Elektron vom anderen unterscheiden ließe wie eine Calville von einer ReINETTE.

Nun ist es allerdings nicht unbedingt notwendig, Gegenstände durch Merkmale ihrer Gestalt voneinander zu unterscheiden. Stellen wir uns vor, wir hätten zwei beliebige Kugeln, die einander aufs Haar glichen, und wir besäßen keinerlei Möglichkeit, diese Kugeln durch Anbringen von Marken voneinander zu unterscheiden. Bedeutet das, daß wir die Kugeln jetzt überhaupt nicht auseinanderhalten können?

Gewiß nicht!

Wir brauchten nur festzustellen, an welchem Ort sich eine Kugel in jedem Augenblick befindet und wüßten dann sofort, mit welcher Kugel wir es zu tun hätten.

Nehmen wir beispielshalber an, beide Kugeln bewegten sich, dann müßten wir bloß zwei Beobachter mit Uhren und Visiergeräten ausrüsten und jeden von ihnen beauftragen, eine bestimmte Kugel im Auge zu behalten.

Haben wir es aber statt mit Kugeln mit Elementarteilchen zu tun, so macht uns hier wiederum die Unschärferelation einen Strich durch die Rechnung.

Wir müssen ja in jedem Augenblick eine genaue Ortsbestimmung jedes Teilchens vornehmen, die aber verändert die Position des Teilchens in derart unkontrollierbarer Weise, daß wir nicht wissen, welches Teilchen wir im nächsten Moment vor Augen haben. Wollten wir aber diese Störung vermeiden, so müßten wir wieder langwelliges Licht verwenden, und dann kann es uns passieren, daß die Bilder

beider Teilchen so unscharf werden, daß sie überhaupt zu einem einzigen Fleck verschwimmen und wir die Teilchen erst recht nicht auseinanderhalten könnten.

Bei unseren Elementarteilchen versagt also jede Möglichkeit, sie zu identifizieren. Ein

Elementarteilchen ist eben kein Individuum: wir können ihm auf keine Weise einen Steckbrief anhängen, der uns gestattet, es wiederzuerkennen und ihm auf den Kopf zuzusagen: „Dich haben wir da und dort schon einmal gesehen.“

Kalksteinzauber in Anatolien

DK 551.312.11(562) : 553.556 : 915.62

Travertin, d. i. Kalksinter oder auch Kalktuff genannt, bildet sich häufig als Absatzprodukt kalkreicher Süßwasserquellen, besonders an Wasserfällen, wo infolge stärkerer Verdunstung das Wasser nicht mehr die gleiche Kalkmenge in Lösung halten kann wie früher. Da diese Gesteinsart nun ziemlich porös ist, so stellt Travertin ein leicht zu bearbeitendes und sehr schlecht wärmeleitendes Material dar. So ist er ein günstiger Baustein für Gegenden mit starken Temperaturschwankungen, hält im Sommer Gebäude kühl und schützt sie im Winter vor raschem Wärmeverlust. Mit Vorliebe wurde er in Rom verwendet, so sind das Kolosseum sowohl wie auch die Peterskirche daraus erbaut.

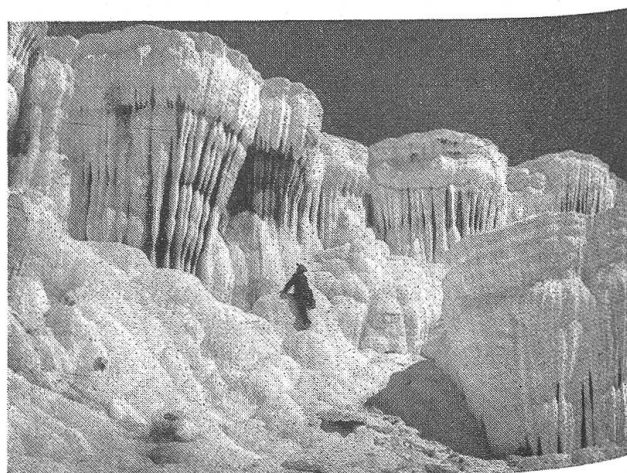
Besonders reich an Kalksinterbildungen ist Anatolien. Am berühmtesten sind die wunderschönen gletscherartigen Sinterterrassen des sogenannten Baumwollschlosses Pamukkale von Denizli mit ihren orgelpfeifenähnlichen Stalaktiten in Südwestanatolien, südöstlich von Irmir. Auch ein Teil der Stadt Brussa steht auf Kalksinter.

Am Ausgedehntesten sind diese Ablagerungen jedoch in der Gegend von Antalya (Südwestanatolien), wo die Sinterterrassen eine Höhe von etwa 30 m erreichen und oft ganz senkrecht gegen das Meer zu abbrechen. Die ganze Stadt Antalya steht auf einer Sinterplattform. Sie braucht keine Kanalisation, die Abwässer verschwinden spurlos im Untergrund. Wir haben es hier, wie so vielfach in Anatolien, mit Karsterscheinungen zu tun. Die mächtigen Kalksteinablagerungen sind

von einem ganzen System von Höhlen durchsetzt, und der größte Teil der Gewässer nimmt einen unterirdischen Lauf. Die Flüsse des lykischen Taurus, dort wo sie in die Kalksinterlandschaft eintreten, verschwinden in großen Schwundlöchern, „Düden“ (im krainischen Karst Ponore genannt), und kommen erst nach längerem Lauf in großartigen Felstoren wieder zum Vorschein. So tritt nördlich der Stadt Antalya ein starker Bach ganz plötzlich unter einer Felswand zutage, bildet einen See, verschwindet aber nach wenigen hundert Schritten neuerlich. Wiederum einige Kilometer südlich kommt er erneut zum Vorschein, diesmal mit größerer Wassermenge, da er vermutlich unterirdische Zuflüsse empfängt. Er bricht aus einem Felstor hervor, fließt über die Sinterterrasse, wo er in künstliche Bewässerungskanäle aufgeteilt ist und stürzt schließlich bei Antalya selbst über den erwähnten 30 m hohen Küstenabbruch in zahlreichen Wasserfällen ins Meer.

Das während des Sommers und Herbstes trockene und heiße Klima Anatoliens begünstigt infolge der starken Verdunstung die Kalksinterbildung außerordentlich, so finden sich z. B. an antiken Aquädukten meterlange Sinterstalaktiten, die also weniger als 2000 Jahre zu ihrer Bildung brauchten, eine geologisch genommen winzige Zeitspanne. Auf diese Art verhehlen seine klimatischen Bedingungen dem Lande zu einer Reihe von für dasselbe besonders charakteristischen Naturdenkmälern.

Arthur E. Urschitz-Dr. Kurt Turnovsky



Links: Teilansicht der Kaskaden bei Antalya. — Rechts: Orgelpfeifenähnlicher Kalksinter im Pamukkale (Baumwollschloß) bei Denizli in Südanatolien (Photo: B. Y. G. M.)