

# Elektronen – eingefangen aus dem Vakuum

Ein aktueller Anwendungsbereich relativistischer Atomphysik / Von Ulrich Becker

Auf der Suche nach einer vereinheitlichten Beschreibung der fundamentalen Wechselwirkungen, fordern moderne Elementarteilchenphysiker den Bau von immer größeren Teilchenbeschleunigern. In solchen Anlagen werden auch Atomkerne, vom Proton bis zum Urankern, mit annähernd Lichtgeschwindigkeit mit Atomkernen zur Kollision gebracht. Aus den dabei hervorgerufenen Reaktionen lassen sich Rückschlüsse sowohl auf die Struktur der Atomkerne selbst, als auch auf den inneren Aufbau der Nukleonen ziehen. Für die Planung solcher Anlagen ist die genaue Kenntnis einer ganzen Reihe von atomphysikalischen Effekten von größter Bedeutung. Zum Teil sind diese Effekte selbst wegen der extremen physikalischen Bedingungen im Inneren der Beschleuniger noch unvollständig erforscht. Mit einem dieser Effekte beschäftigt man sich unter anderem am Institut für Theoretische Physik II der Universität Gießen

Bei der Kollision von hochgeladenen, schweren, positiven Ionen mit Geschwindigkeiten, die sich nur sehr wenig von der Lichtgeschwindigkeit unterscheiden, treten sehr starke elektromagnetische Felder während extrem kurzer Zeiten ( $10^{-20}$  s) auf. Diese Felder sind in ihrer Struktur einem elektromagnetischen Strahlungsimpuls sehr ähnlich und lassen sich in guter Näherung durch Photonen (virtuelle Photonenmethode) beschreiben. Man spricht in diesem Zusammenhang von virtuellen Photonen, da hier die Photonen nicht als reale physikalische Teilchen in Erscheinung treten, sondern als Vermittler der elektromagnetischen Wechselwirkung zwischen den Ionen und dem Vakuum.

Photonen können, wie man aus der Theorie der Wechselwirkung von Licht mit Materie (Quantenelektrodynamik) weiß, in Teilchen-Antiteilchen-Paare zerfallen. Am leichtesten werden dabei Paare von Elektronen und Positronen erzeugt. Es können aber auch, bei entsprechend hoher Energie der Photonen, Muon-Antimuon oder sogar Tau-Antitau-Paare (weitere Elementarteilchen aus der Familie der Leptonen) erzeugt werden. Dabei sind die hochgeladenen Ionen selbst ständig präsent. Diese Ionen, die vollständig ihrer Hüllenelektronen beraubt sind, haben nun auf Grund ihrer positiven Ladung die Möglichkeit, die erzeugten Elektronen an sich zu binden. Für die Bindung stehen auf Grund quantenmechanischer Gesetzmäßigkeiten nur gewisse „diskrete“ Zustände (sog. gebundene Zustände) zur Verfügung, in welche die Elektronen eingefangen werden können. Diese Zustände dürfen auf Grund des Pauli-Prinzips vor dem Einfang nicht von Elektronen besetzt gewesen sein.

Der Einfang kann durch zwei verschiedene Mechanismen geschehen: Zum einen wird zunächst ein freies Elektron-Positron-Paar erzeugt und in einem weiteren Schritt wird das freie Elektron in einen gebundenen Zustand eingefangen. Dieser Vorgang ist unwahrscheinlich, da hierbei ganz bestimmte kinematische Bedingungen eingehalten werden müssen.

Viel wahrscheinlicher ist dagegen, daß die virtuellen Photonen direkt in ein freies Positron und ein gebundenes Elektron zerfallen. Hier wird dem Vakuum direkt ein Elektron entrissen und in einen gebundenen Zustand eingebaut. Auf diesen Vorgang bezieht sich auch der Titel dieses Beitrags. Für den Fall einer Schwerionenkollision mit relativistischen Einschußenergien (im Bereich der Lichtgeschwindigkeit) wurde dieser sogenannte Elektroneneinfang aus dem Vakuum bislang in der Literatur nicht behandelt. In Zusammenarbeit mit den Professoren Norbert Grün und Werner Scheid konnten wir die ersten detaillierten Vorhersagen zur Größenordnung des Wirkungsquerschnitts machen. Der Wirkungsquerschnitt ist ein Maß für die Häufigkeit, mit der ein Prozeß bei einem Stoß auftritt. Inzwischen liegen auch genaue Vorhersagen zur Energie und Winkelverteilung der erzeugten Positronen vor.

Die Bedeutung des Elektroneneinfangs aus dem Vakuum für den Bau von Schwerionenbeschleunigern und -speicheranlagen liegt in der Umladung der beteiligten Ionen durch den Einfang des Elektrons. Um die Ionen auf die geforderten Energien zu beschleunigen, werden sie mehrmals in einer kreisförmigen Bahn der Wirkung eines elektromagnetischen Feldes ausgesetzt. Durch große Magnete erreicht man, daß die Ionen als Strahl gebündelt werden und auf der vorgegebenen Kreisbahn bleiben. Ändert sich nun der Ladungszustand der Ionen, etwa durch Kollisionen untereinander oder bei Stößen mit den im Strahlführungssystem vorhandenen Restgasatomen, so gehen diese Ionen dem Gesamtstrahl verloren, da sie von den Magneten weniger stark abgelenkt werden und so die vorgeschriebe-

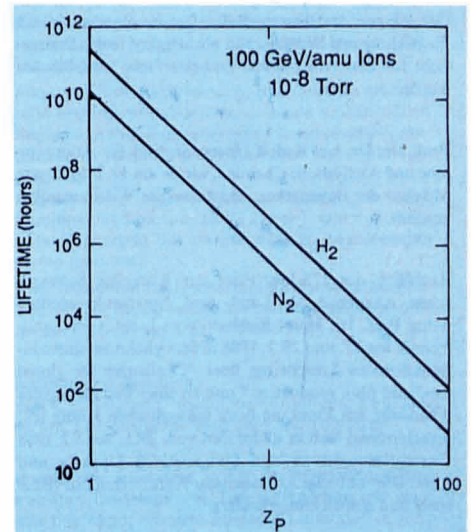


Abb. 1: Lebensdauer eines Schwerionenstrahls in Stunden als Funktion der Ladung  $Z_p$  der Strahlionen bei einem Restgasdruck von  $10^{-8}$  Torr und einer Strahlenergie von 100 Gigaelektronenvolt pro atomarer Masseneinheit.

ne Kreisbahn nicht einhalten können. Falls diese Umladung während eines Umlaufes bei einer großen Anzahl von Ionen geschieht, ergibt sich eine unter Umständen drastische Einschränkung der Lebensdauer des Schwerionenstrahls.

In Abb. 1 wird die Lebensdauer eines Schwerionenstrahls als Funktion der Ionenladung dargestellt. Dabei wurden als Verlustmechanismen Stöße mit verschiedenen Restgasatomen (H,N) angenommen. Der Ionenstrahl hat eine Energie von  $10^{11}$  Elektronenvolt pro atomarer Masseneinheit. Der Restgasdruck wurde mit  $10^{-8}$  Torr angenommen. Als Elektroneneinfangmechanismen wurden der Einfang aus dem Vakuum sowie der Einfang aus den Hüllen der Restgasatome zugrunde gelegt. Wie man sieht, sinkt die Lebensdauer bei der Verwendung von sehr schweren Ionen wie Uran auf etwa 10 Stunden ab. Dabei sind jedoch noch keinerlei Verluste auf Grund von elektromagnetisch induzierten nuklearen Reaktionen berücksichtigt. Ebenso unberücksichtigt blieben Stöße zwischen den Strahlionen selbst.

Abschließend sei noch bemerkt, daß der Elektroneneinfang aus dem Vakuum bislang noch nicht experimentell untersucht wurde. Alle bisherigen Aussagen beruhen auf theoretischen Vorhersagen. Eine experimentelle Überprüfung dieser Aussagen ist im Hinblick auf die Bedeutung des Prozesses für die Grundlagenforschung und Anwendung dringend erforderlich.

**Zum Autor:** Dr. Ulrich Becker erhielt für seine Arbeit im vergangenen Jahr in der Sektion Naturwissenschaften den *Dissertationspreis der Justus-Liebig-Universität*. Ulrich Becker ist heute im *Technischen Zentrum Forschung der Robert-Bosch GmbH in Stuttgart* beschäftigt.

## Kurz und bündig

**Prof. Dr. Odo Marquard**, Zentrum für Philosophie und Grundlagen der Wissenschaft, ist vom Bundesminister für Bildung und Wissenschaft als Mitglied in das Preisgericht für den Heinz-Maier-Leibnitz-Preis 1988 berufen worden.

**Prof. Dr. Dr. h.c. Rudolf Hoppe**, Institut für Anorganische und Analytische Chemie I, wurde am 19. 2. 1988 zum Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften gewählt.

Anlässlich der 175-Jahr-Feier der Königlich Schwedischen Akademie für Land- und Forstwissenschaften nahm **Prof. Dr. Horst Eichhorn** vom Institut für Landtechnik am 27. und 28. 1. 1988 in Stockholm an einem internationalen Symposium über "Challenges for global food and fibre production" und an einer Festsitzung der Akademie mit Empfang beim schwedischen König teil. Anschließend hielt er in der Zeit vom 29. 1. bis 2. 2. 1988 Gastvorlesungen an den Universitäten Uppsala und Lund über aktuelle Aufgaben der Agrartechnik in Industrie- und Entwicklungsländern.

**Prof. Dr. Dr. h.c. Rudolf Rott**, Institut für Virologie, wurde vom Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft für 6 Jahre zum Mitglied des Deutsch-Israelischen Komitees für das Projektprogramm der MINERVA Gesellschaft berufen.

**Prof. Dr. Konrad Mengel**, Fachbereich Ernährungs- und Haushaltswissenschaften, wurde vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für weitere fünf Jahre in den wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen berufen.

**Prof. Dr. Claus Leitzmann**, Fachbereich Ernährungs- und Haushaltswissenschaften, hat in Berlin den Werner-Zabel-Preis der Gesellschaft zur Förderung der Ganzheitsmedizin erhalten. Der mit 5000 DM dotierte Preis wurde anlässlich des 25jährigen Bestehens der Gesellschaft verliehen.

**Prof. Dr. Josef Breburda** wird im Auftrag der EG-Kommission, Generaldirektion Wissenschaft, Forschung und Entwicklung, als Vertreter der Bundesrepublik Deutschland an einem sino-europäischen bodenwissenschaftlichen Workshop Ende April in Kanton/China teilnehmen. Insgesamt werden 10 Professoren aus den EG-Ländern und 10 Professoren aus der VR China über künftige gemeinsame bodenkundliche Forschungsprojekte beraten.

**Prof. Dr. Arthur Kreuzer**, Fachbereich Rechtswissenschaften, wurde in die unabhängige Regierungskommission zur Verhinderung und Bekämpfung von Gewalt (Gewaltkommission) berufen. Diese Kommission soll bis zum 1. Februar 1990 ein Endgutachten für ein kriminalpolitisches und sozialpräventives Programm erarbeiten.

**Prof. Dr. Klaus Fritzsche**, Fachbereich Gesellschaftswissenschaften, erhielt von der KMK den Auftrag, im Rahmen des Kulturabkommens mit der DDR einen Hochschullehreraustausch mit der Akademie der Wissenschaften der DDR im Jahre 1989 zu organisieren, an dem die Universitäten Essen und Gießen sowie das Institut für Zeitgeschichte in München beteiligt sind.

**Prof. Dr. Ulrich Mosel**, Fachbereich Physik, wurde zum Fellow of the American Physical Society gewählt.

**Dr. phil. Ludwig Knöll** erhielt vom Fachbereich Mathematik sein Goldenes Doktordiplom. Er wurde 1936 mit der Dissertation „Krümmungsverhältnisse von Niveaulinien in der Kreisabbildung einfach-zusammenhängender schlichter Gebiete“ promoviert.

**Prof. Dr. Dr. h.c. Karl-August Bettermann** erhielt vom Fachbereich Rechtswissenschaften das Goldene Doktordiplom. Er wurde 1938 mit der Dissertation „Vom stellvertretendem Handeln“ promoviert.

**Prof. Dr. Jürgen Kranz**, Tropeninstitut, wurde auf der Mitgliederversammlung des Dachverbandes wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung e.V. vom 23. Oktober 1987 zum Mitglied des Vorstandes für Dauer von vier Jahren ab dem 1. 1. 1988 gewählt.

## Spiegel der Forschung

Wissenschaftsmagazin der Universität Gießen

### Herausgeber:

Der Präsident der Justus-Liebig-Universität Gießen

### Redaktion:

Dr. Wolfgang Faust, Referent für Wissenschaftsberichterstattung, Red.-Sekr.: Gabi Jäger, Ludwigstr. 23  
6300 Gießen, Tel.: (0641) 7022035, Telex: 482856

### Anzeigenverwaltung:

Anzeigenagentur Alpha, Bürstädter Straße 48,  
6840 Lampertheim 1, Tel.: (06206) 57021, Telex:  
465749

### Druck:

„brühl druck + pressehaus giessen“,  
Am Urnenfeld 12, 6300 Gießen-Wieseck