

Aus der Welt der Elementarteilchen:

Geisterfahrten in HERA

Von Petra Schulz

[Originaltext 2005 eingescannt aus *Physis* 2, S. 76-83 (1986), geringfügig geändert, Abbildungen verkleinert]

Um ins Innere des schweren positiven Teilchens des Atomkerns, also des Protons „hineinschauen“ zu können, wird im Bereich des Großforschungszentrums DESY (Deutsches Elektronensynchrotron) die größte Elektronen-Protonen-Beschleunigungsanlage der Welt gebaut: HERA, d. h. die Hadron-Elektron-Ring-Anlage.



Luftbildaufnahme von DESYs berühmten Teilchenrennbahnen PETRA und HERA. In HERA sollen die Atombausteine Proton und Elektron durch „Geisterfahrelei“ aufeinanderprallen.

Wozu Elementarteilchenphysik?

Wenn wir wissen wollen, wie wir aussehen, schauen wir in den Spiegel oder betrachten unsere Urlaubsfotos. Wollen wir Einzelheiten über unsere Zellen erkunden, benutzen wir ein Mikroskop. Und wenn wir die Materie noch um einige Größenordnungen detaillierter sehen wollen? Selbst das Mikroskop mit dem weltweit besten Auflösungsvermögen würde uns allenfalls ermöglichen, die Umrißschatten einiger Atome zu erkennen. Über das „Innenleben“ der Atome könnten wir jedoch nichts erfahren.

Einzelheiten über die Bausteine der Materie können wir nur feststellen, wenn wir die „Winzlinge“ mit hochenergetischem (kurzwelligem) Licht oder „lichtgetränkten“ Teilchen beschießen. Dies erfordert jedoch einen enormen apparativen Aufwand.

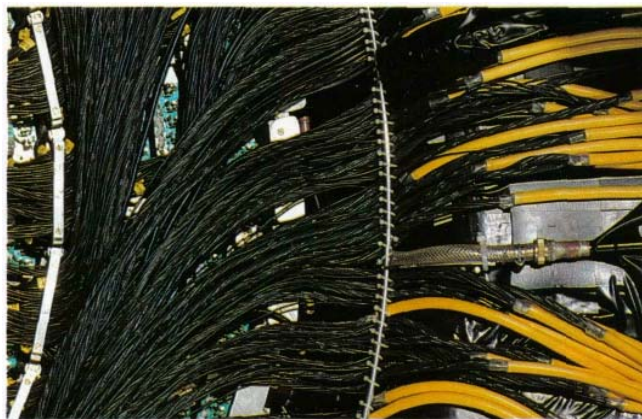
Zur Entdeckung, daß das Atom ein Gebilde ist, das aus den schweren Kernteilchen besteht, d. h. dem positiv geladenen Proton und dem neutralen Neutron, die von den leichten, negativ geladenen Elektronen umkreist werden, reichten die Versuchsgeräte, die einzelne Physiker betreiben konnten. Um jedoch die Elementarteilchen selbst zu „durchleuchten“, waren immer höhere Energien nötig; immer größere Beschleunigungsstrecken und Hochenergieapparate mußten gebaut werden. Dazu aber war es notwendig, daß sich die Forscher zu Gruppen zusammenschlossen.

Das Großforschungszentrum DESY (Deutsches Elektronensynchrotron) wurde 1959 in Hamburg gegründet. Inzwischen wird in diesem Zentrum Spitzenforschung betrieben: Wissenschaftler aus West und Ost arbeiten friedlich und erstaunlich kooperativ zusammen.

Der Trick der Physiker

Um den „Blick“ ins Innere der Elementarteilchen zu ermöglichen, hat sich in der Praxis der Physiker folgende Vorgehensweise als brauchbar herausgestellt: Die Elementarteilchen werden „gemästet“ und zugleich „sportlich fit“ gemacht, d. h. sie werden durch elektromagnetische Felder beschleunigt. Dadurch nehmen die Partikel an Masse (= Energie) beträchtlich zu, und sie werden zudem auf Höchstgeschwindigkeiten gebracht. Damit die Teilchen nicht durch „Fremdmoleküle“ gebremst werden, muß diese Beschleunigung im sauberen Vakuum stattfinden. Am Ende ihres „Trainings“ sind die Teilchen nahezu so schnell wie das Licht, d. h. sie „flitzen“ mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern pro Sekunde. Diese Geschwindigkeit würde der einer noch nicht existierenden Superrakete entsprechen, die pro Stunde 1,08 Milliarden Kilometer zurücklegt.

Was die Teilchen während ihrer Beschleunigungsfahrt „tanken“, ist hauptsächlich Licht. Diese Energie wird wieder freigesetzt, sobald die Teilchen auf Hindernisse wie „fremde“ Teilchen stoßen bzw. wenn sie in die eigens für sie aufgestellte Teilchenfallen (Detektoren) „tappen“.



Die Endstation jeder rasanten Fahrt eines „gemästeten“ Elementarteilchens sind die Strippen im Detektor, wo die Teilchen eingefangen, gezählt, „gewogen“ werden und ihre Geschwindigkeit gemessen wird.

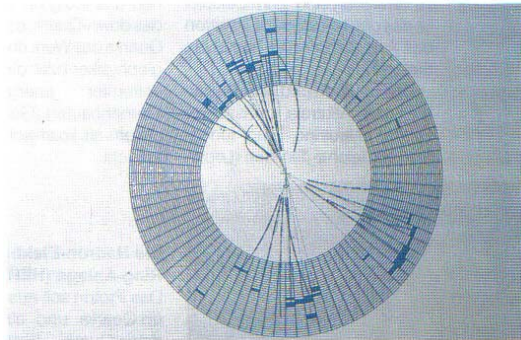
Elektronen haben nun die Eigenschaft, zu viel Licht auf einmal zu „schlucken“, weshalb sie sich regelmäßig „übergeben“ müssen. Das geschieht ihnen immer in den Kurven der „Rennstrecke“. Dieses von ihnen „erbrochene“ Licht (Synchrotronstrahlung) wird gesondert aufgefangen und interdisziplinär erforscht, auch seitens der Medizin.

Die nahezu lichtschnellen, „gemästeten“ Teilchen läßt man schließlich wie „Geisterfahrer“ frontal aufeinanderprallen, um die bei diesen „Verkehrsunfällen“ vielen herumfliegenden Trümmer in den zahlreichen Meßfallen großer Detektoren aufzufangen und zu vermessen. Die Vielzahl der dabei gewonnenen Informationen - in einen Großrechner eingespeist - ermöglicht es sodann, weitestgehend exakt zu rekonstruieren, wie die Teilchen vor ihrem Zerfall beschaffen waren, und daraus wiederum rückzuschließen, wie die Teilchen „ungemästet“ aufgebaut sein müssen.

Die zwölf Fundamentarteilchen

So ganz unbekannt sind die Bestandteile der Materie nicht mehr. Aufgrund bisheriger Forschungen weiß man, daß es Teilchen und genauso viele Antiteilchen gibt, wobei die Antiteilchen als „Spiegelbilder“ der Teilchen zu verstehen sind. Zum Beispiel ist das positiv geladene Positron das Antiteilchen zum negativen Elektron.

Das Elektron und sein Begleiter, das neutrale, masselose Elektron-Neutrino, sind fundamentale leichte Teilchen (Leptonen), die auch in der uns umgebenden Natur vorkommen, das Elektron quasi in der Steckdose und sein Neutrino (genauer: sein Antiteilchen) beim radioaktiven Zerfall. Das schwere Elektron, das als Müon bezeichnet wird, und dessen Begleiter, das Müon-Neutrino, konnten durch „Züchtungen“ im Hochenergielabor „gezeugt“ werden. Weitere „Retortenbabies“ konnten in neuerer Zeit erzeugt werden. Diese Elementarteilchen, das überschwere Elektron Tauon und sein Kompagnon, das Tau-Neutrino, sind jedoch sehr kurzlebig.



Der Computer registriert nach einer „Geisterfahrt“ von Elementarteilchen die auseinanderfliegenden Trümmer, hier am Speicherring PETRA. Experten interpretieren das Bild als Quark-Antiquark-Erzeugung.



Alles o. k. im Speicherring PETRA? Letzter Check vor dem Experiment.

Insgesamt sind somit sechs Leptonen bekannt, wobei davon ausgegangen wird, daß es keine weiteren Leptonen gibt. Auch über die Organe der schweren Kernteilchen (Hadronen) haben die Hochenergiephysiker bereits gewisse Vorstellungen. Bekannt sind sechs Hadronen, wobei ebenfalls vermutet wird, daß es keine weiteren schweren Teilchenorgane gibt.

Diese Teilchenorgane werden Quarks genannt und sind einzeln nicht „lebensfähig“, d. h. sie treten selbständig nur paarweise oder zu dritt auf. Unterschieden wird das up-, down-, charm-, strange-, beauty- oder bottom- sowie truth- oder top-Quark. In der alltäglichen Umwelt begegnen uns lediglich das up- und das down-Quark, da die übrigen Quarks das Werk der Hochenergiephysiker bzw. die Flugasche entfernter energiereicherer Sternenhaufen (Galaxien) sind, die uns als kosmische Strahlung erreicht.

Die Hadron-Elektron-Ring-Anlage (HERA)

Das Proton soll aus zwei harten up-Quarks und einem harten down-Quark bestehen, die durch bewegliche, „herumgeisternde“ Klebeteilchen (Gluonen) zusammengehalten werden. Die exakte Erforschung der Struktur dieses allgegenwärtigen Kernbausteins wird von den Wissenschaftlern bei DESY als für so wichtig angesehen, daß seit 1984 voraussichtlich eine Milliarde Mark in das gigantische Projekt HERA investiert wird mit dem Ziel, die bereits bestehenden Teilchenbeschleunigungsringe umfangreich zu erweitern. In HERA sollen dann Elektronen in „Geisterfahrt“ auf Protonen prallen, um auf diese Weise die Struktur dieses Hadrons zu erforschen.



Modell des 6,3 Kilometer langen HERA-Tunnels (oben).

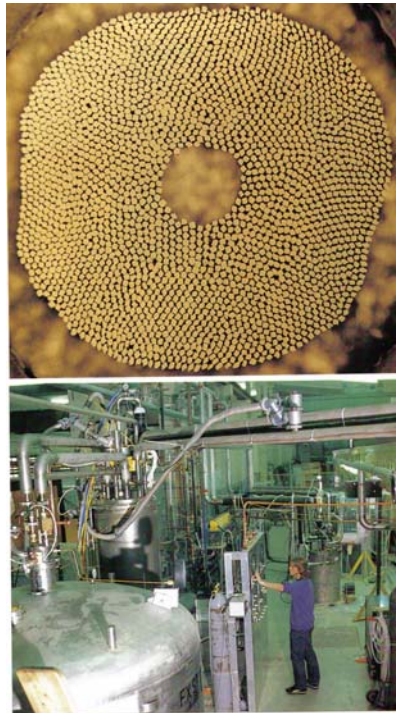
Die Elementarteilchen werden in HERA durch zahlreiche vierpolige Magnete ferngesteuert (unten).

Und so wird der Kurs der Teilchen aussehen: Im Geradeausflug werden sie zunächst nur leicht „angeschubst“, um dann auf dem ältesten bereits vorhandenen Beschleunigungsring DESY schon ein wenig mehr beschleunigt zu werden. Auf dem ovalen Doppel-Ring-Speicher DORIS sollen sie sodann weiter „gedrillt“ werden, um in der Folge in der berühmten Positron-Elektron-Tandem-Ringbeschleunigungs-Anlage PETRA, die beinahe das ganze DESY-Gelände umfaßt, gehörig an Energie zu gewinnen. Weiter soll dann die Teilchen-„Rennfahrt“ in einem großen Ring unter den Straßen und unter dem Volksparkstadion von Hamburg gehen, in HERA.

Der 6,3 Kilometer lange Ring-Tunnel von HERA mit dem geräumigen Innendurchmesser von 5 Metern wird zur Zeit unterirdisch vorgetrieben. An diesen Ring angebaut werden vier Experimentierhallen, in denen Protonen und Elektronen aufeinanderprallen sollen.

Die Protonen und Elektronen sollen schubweise als „Pakete“ (Teilchenschar) ins „Rennen“ geschickt werden. Durch die „Mast“ sollen die Elektronen jeweils die Energiebrisanz von 30 Gigaelektronenvolt und die Protonen jeweils gar von 820 Gigaelektronenvolt gewinnen. Ein HERA-Elektron würde damit 59 000mal schwerer als ein normales Elektron und ein HERA-Proton 874mal schwerer als ein gewöhnliches Proton sein (Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron oder Proton erhält, wenn es durch eine Spannung von einem Volt beschleunigt wird; Giga steht für Milliarde). Stoßen diese beiden Energiegiganten in HERA aufeinander, so werden Teilchen produziert, die über 300mal schwerer sind als ein Wasserstoffatom oder ein natürliches Proton.

Derartig ungeheure Energien erhalten die Teilchen infolge Steuerung und „Mästung“ durch supraleitende Magnete. Um aber ungebremste superstarke Magnetstrudel zu erzeugen, müssen die Magnete auf minus 269 Grad Celsius gekühlt werden, und zwar auf der gesamten Strecke von 6,3 Kilometern. Die Kühlanlage von HERA dürfte damit der größte „Eisschrank“ der Welt werden. (Kernspintomographen sind übrigens auch bereits mit supraleitenden Spulen ausgerüstet.)



Der starke Strom, der durch die 2460 Fasern eines 0,8 Millimeter dünnen supraleitenden Kabels fließt, „mästet“ die Elementarteilchen in HERA auf.

Der „Superkühlschrank“ (unten) bei HERA muß ständig kontrolliert werden, damit extrem starke Magnetfelder zum „Mästen“ der Elementarteilchen erzielt werden

Die ersten Experimente in HERA können ab 1990 anlaufen. Bis dahin erscheint bei DESY alle Vierteljahre ein HERA-Bulletin, das über den Fortgang der Baumaßnahmen berichtet.

Zu erwarten ist, daß Einzelheiten bis zu einem Zehntausendstel des Protonen-Durchmessers (10^{-17} Zentimeter) erforscht werden können. Auch erhofft man sich Aufschlüsse darüber, ob die Quarks noch aus Untereinheiten bestehen, sowie darüber, wie sie zusammengehalten werden.

Die bohrende Endfrage

Ob HERA auf die Frage von Goethes Faust, was die Welt im Innersten zusammenhält, wirklich zufriedenstellende Antwort geben kann, ist selbstverständlich noch offen. Was aber käme dann danach? Sehr viel größere Hochenergiezentren dürften kaum machbar sein. Bevor man sich jedenfalls einen Beschleunigungsring rund um den Erdball erträumt, wird man sich hoffentlich auf den „anderen“ Goethe besinnen: „In der Beschränkung zeigt sich erst der Meister“?!

Buchempfehlung: Wer sich genauer über den heutigen Stand der Elementarteilchenphysik informieren will, dem kann das informative Buch von Oskar Höfling und Pedro Waloschek: „Die Welt der kleinsten Teilchen“, Rowohlt-Verlag Reinbek 1984, empfohlen werden. Professor Waloschek arbeitete von 1968 bis 1994 bei DESY und leitete übrigens dort die Öffentlichkeitsarbeit.