

Vom Licht karussellfahrender Elektronen: Synchrotronstrahlung

Von Petra Schulz

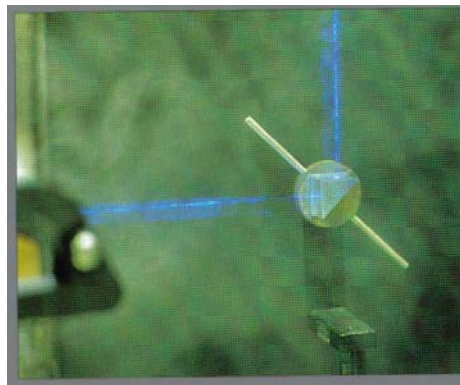
[Originaltext 2005 eingescannt aus *Physis* 8, S. 58-64 (1986), geringfügig geändert, Abbildungen verkleinert]

Elektronen, die in „Kurven“ beschleunigt werden, geben Licht ab, d.h. Synchrotronstrahlung. Die Eigenschaften dieser für die Naturwissenschaften sowie auch für die Medizin wichtigen Strahlung werden im Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB untersucht.

Wenn sich Elektronen „übergeben“

Karussellfahren oder eine Autofahrt durch das Gebirge mit vielen Kurven können schön sein. Oder auch nicht. Das kommt darauf an, wie empfindlich der Magen der Fahrgäste ist und mit welcher Geschwindigkeit das Karussell sich dreht bzw. das Fahrzeug durch die Kurven saust. Da kann es schon mal passieren, daß sich einer der Mitfahrer erbrechen muß.

Den Elektronen, den negativ geladenen Elementarteilchen in den Außenhüllen der Atome, ergeht es manchmal ähnlich. Sobald sie in einem Großforschungszentrum wie DESY, dem Deutschen Elektronensynchrotron in Hamburg, durch starke Magneten im luftleeren Raum auf Kreisbahnen zum Schnellerfliegen gezwungen werden, wird es den Elektronen „schlecht“, und sie müssen sich dann tatsächlich „übergeben“. Das dabei freiwerdende Licht strahlt in die Richtung, in die ein Autoscheinwerfer beim Durchfahren einer Kurve leuchten würde. Diese Synchrotronstrahlung besitzt eine Reihe bemerkenswerter Eigenschaften. Physiker, Chemiker, Biologen, Mediziner und Techniker konnten damit vielfach Forschungsprojekte beginnen, die bisher unmöglich oder zumindest nicht so bequem durchzuführen waren.



Experiment mit dem Laser: Blaues Laserlicht wird am Prisma umgelenkt.

Laser, heller als die Sonne

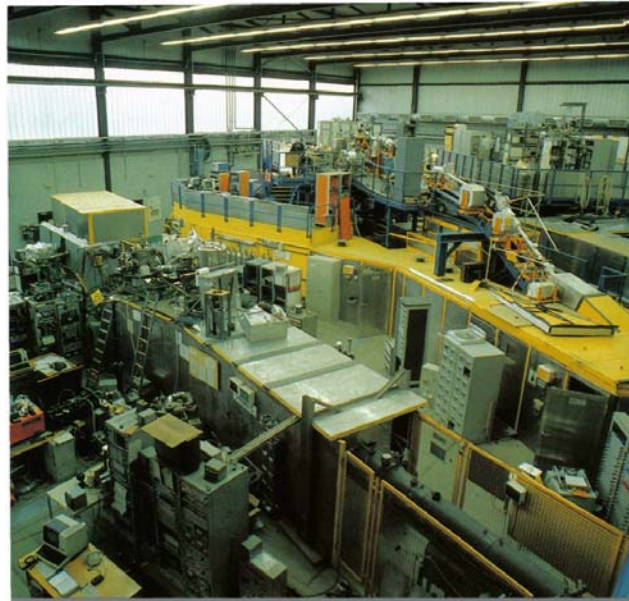
Je nach dem Energiereichtum der Elektronen umfaßt die Synchrotronstrahlung einen Wellenlängenbereich, der vom wärmenden Infrarot über das für uns sichtbare Licht bis hin zum Röntgenlicht reicht. Das Synchrotronlicht ist fast als „bunt“ zu bezeichnen, denn es enthält neben der niederenergetischen Grundfrequenz noch diverse andere Farben, die als ganzzahlige Vielfache dieser Frequenz anzusehen sind und Oberschwingungen genannt werden. Blaues Licht ist gewöhnlich immer dabei.

Der Synchrotronstrahl ähnelt einem Laserstrahl, denn er ist eng gebündelt, und sein Strahlenkegel besitzt nur einen winzigen Öffnungswinkel. Solch ein Strahl enthält fast parallele Teilstrahlen. Das Licht, das sich somit auf engem Raum sammelt, ist entsprechend intensiv, also hell. Seine Intensität läßt sich noch verstärken, wenn man die Elektronen quasi

in Schlangenlinien durch die Kurven „torkeln“ läßt. Das Synchrotronlicht aus dem Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB bei DESY strahlt kräftiger als eine Röntgenröhre und ist sogar heller als die Sonne.

Diese Strahlung ist darüber hinaus besonders „gedrillt“, d.h. in ihr schwingen die Lichtteilchen nicht in beliebiger Richtung auf und ab wie beim Sonnen- oder Lampenlicht, sondern „hüpfen“ nur in Richtung der Kreisbahnebene des Elektrons: Die Physiker sprechen von linear polarisiertem Licht. Ober- und unterhalb der Ringebene aufgefangene Strahlung enthält hingegen kreisende Lichtteilchen, also zirkular polarisiertes Licht.

Besonders exotisch scheint Synchrotronlicht aber gar nicht zu sein: Es gibt Sterne, die Synchrotronstrahlung aussenden.



Das mit 25 Meßstationen vollgestopfte HASYLAB platzt bald aus allen Nähten.

Viele Anwendungsmöglichkeiten

Synchrotronlicht ermöglicht es, Atome zu „durchleuchten“ und dabei in ihren Elektronenschalen Einzelheiten aufzuspüren. Es eignet sich aber auch, um in einzelne Moleküle oder größere Gebilde wie Kristalle, Proteine, Viren und Zellen „hineinzublicken“. Und schließlich ist Synchrotronstrahlung zum gezielten Zerstören von Materie anwendbar.

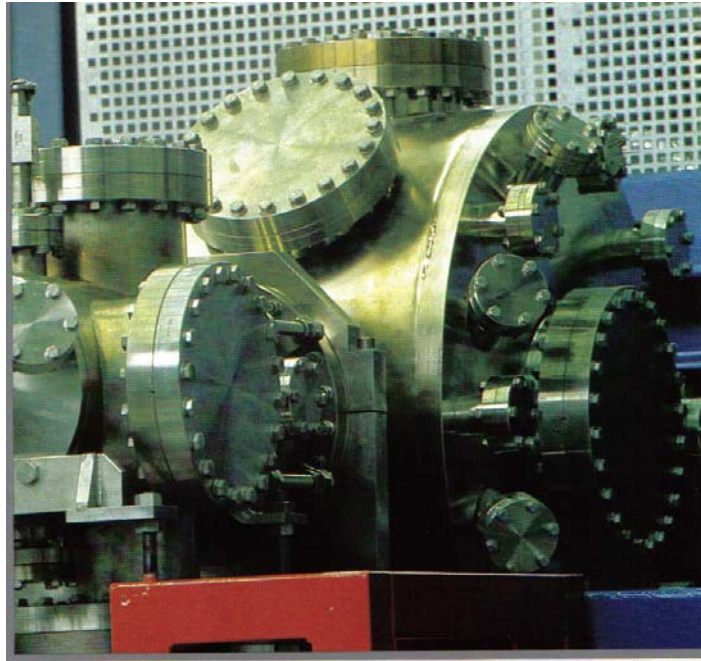
Nennen wir einige Beispiele: Die Anordnung von Atomen im Innern und sogar an der Oberfläche eines Kristalls läßt sich leicht erkennen. Die Physikochemiker entdeckten dabei, wie aus dem Halbleiter Samariumsulfid beim Zusammenpressen plötzlich ein metallischer Leiter wurde. Die Physiker können zudem beobachten, wie Schallwellen die Atome an der Oberfläche eines Kristalls erzittern lassen. Solche Untersuchungen sind für die Beurteilung elektronischer Bauteile, zum Beispiel eines Fernsehers, sehr wichtig.

Mit Synchrotronlicht lassen sich aber auch Elektronen aus Molekülen herausschießen. Wird die Geschwindigkeit dieser Elektronen bestimmt, kann anhand dieser Methode (der Photoelektronenspektroskopie) geschlossen werden, mit welcher Energie das Elektron ursprünglich ans Molekül gebunden war. So wird das „Innenleben“ von Isolatoren, Halbleitern, Metallen erkundet und die Art und Stärke der Bindung ermittelt, mit der fremde Stoffe an der Oberfläche von Festkörpern haften, d. h. adsorbiert sind. Diese Adsorptionsvorgänge spielen bei vielen Katalysatoren in der Technik eine Rolle: beispielsweise bei der Benzingewinnung und bei der Abgasreinigung.

Biophysiker studieren, bei welcher Energie Eisenatome im roten Blutfarbstoff Hämoglobin oder Zinkatome im Insulin das Synchrotronlicht schlucken. Chemiker analysieren die komplizierte Struktur von Riesenmolekülen wie bestimmten Eiweißen und Kunststoffen. Anwen

dungschemiker interessieren sich zum Beispiel für das Aussehen einer Kunstfaser aus der Sicht eines Elektronenmikroskops. Prof. Dr. Christof Kunz, der leitende Physiker von HASYLAB: „Bei der Verwendung der Synchrotronstrahlung beträgt die Zeit für die Aufnahme 20 Sekunden. Mit konventionellen Röntgenapparaturen würde man hierfür drei Tage brauchen.“ Je besser der Bau eines Bestandteils oder Moleküls aufgeklärt ist, um so gezielter kann die Herstellung von Stoffen mit ganz bestimmten Eigenschaften in Angriff genommen werden.

Biologen verfolgen, wie sich Fasern in Muskeln verschieben, führen also Versuche an lebenden Tieren und Menschen durch.



Jeder Teil der Apparaturen ist in der hauseigenen Werkstatt „handgefertigt“ worden. Bei diesem Versuch müssen dicke Metallwände das Vakuum stabil halten.

Manche Stoffe zerreißen, wenn sie von Synchrotronlicht getroffen werden. Das ist bei den Fluorkohlenwasserstoffen der Fall, die in Spraydosen als Treibgas enthalten sind. Durch die Versuche mit Synchrotronstrahlung soll endlich die Frage geklärt werden, ob und wie diese Treibgase die Ozonschicht in der oberen Erdatmosphäre zerstören können.

Ein Synchrotronstrahl kann auch feinste Muster in den lichtempfindlichen Lack eines entsprechend beschichteten (maskierten) Siliziumkristalls brennen. Dadurch ist es möglich, immer winzigere Chips, die „Gehirnlappen“ von elektronischen Rechnern, mit noch größerem Speicherplatz für Informationen zu erzeugen.

Synchrotronlicht in der Medizin

In HASYLAB laufen Vorversuche, um Synchrotronstrahlung auch für medizinische Zwecke zu nutzen. In Zukunft sollen vor allem Herzkranzgefäße, Arterien in Leber und Nieren mit hoher Auflösung sichtbar gemacht werden, wobei der Patient viel geringer als heute durch Strahlung belastet wird. In das zu untersuchende Organ wird wenig Kontrastmittel injiziert. Dessen Ausbreitung wird dann mit Hilfe von Synchrotronlicht ähnlich wie bei der Computertomographie auf einem Fernsehschirm verfolgt. Dieses zukunftssträchtige Verfahren, das mit einem die Diagnose erleichternden farbigen Bildschirm arbeitet, nennt man Computer-Angiographie. Mit ihm lassen sich somit Durchblutungsstörungen feststellen. Schwieriger wird es sein, später einmal das fließende Blut in Gehirn und Lunge zu beobachten.

Leider wird die sehr aufwendige Synchrotrondiagnostik in absehbarer Zukunft nicht zur Routinemethode für Arztpraxen entwickelt werden können. Sie wird an die wenigen Meßplätze der großen Elektronenbeschleunigungsringe gebunden sein.

Weltweite Forschung

Daß ausgerechnet bei DESY eine riesige Experimentierhalle für Versuche mit Synchrotronlicht aufgestellt wurde, ist kein Zufall. Denn dank der vorausahnenden Weitsicht und Initiative des Schweizer Physikers Prof. Dr. Peter Stäehelin vom II. Institut für Experimentalphysik in Hamburg baute man bereits 1963 Deutschlands erstes Synchrotronlabor bei DESY. Nach den ersten gelungenen Versuchen erwies sich dieses Synchrotronlabor jedoch bald als zu klein.



Abgeschirmt durch Folien, ist das Synchrotronlicht bei diesem Experiment nur für die Meßgeräte „sichtbar“.

Und so entstand nach zweijähriger Bauzeit für 14,4 Millionen Mark das größere HASYLAB, das 1980 mit ersten Experimenten eingeweiht wurde. Elektronen aus dem ovalen Beschleunigerring DORIS liefern das Synchrotronlicht für die Versuchshalle. Heute stehen in HASYLAB 25 meßbereite Arbeitsplätze zur Verfügung, die von Wissenschaftlern aus aller Welt belegt werden.

Eine etwas kleinere Anlage errichtete man ein Jahr nach HASYLAB in Berlin: BESSY, der Berliner Elektronenspeicherring für Synchrotronstrahlung. BESSY ist auf ultraviolettes Licht spezialisiert.

Weitere wichtige Synchrotron-Strahlungsquellen befinden sich in Frankreich, England, den USA, Japan und in der Sowjetunion. Weltweit wird bereits in mehr als 20 Labors aktiv mit Synchrotronlicht geforscht. Vor zehn Jahren waren es noch weniger als fünf.

Synchrotronlabors auch in Zukunft?

Dank der vielseitigen Verwendbarkeit von Synchrotronstrahlung sieht es günstig für den Weiterbestand aus, obwohl Synchrotronlabors an riesige Beschleunigungsanlagen für Elementarteilchen gekoppelt und daher sehr aufwendig und kostspielig sind. Sollte eines Tages der „Geldhahn“ für die Weiterentwicklung großer Beschleunigungsringe zugekehrt werden, so wird er sicher jedoch nicht vollends geschlossen: Falls die Erforschung der Elementarteilchen keine neuen wichtigen Erkenntnisse mehr liefern sollte, so werden die Anlagen doch aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten für Synchrotronstrahlung überdauern. Auch die Medizin wird daraus praktische Vorteile ziehen können.