



Verleihung der Röntgenplakette 2019

Prof. Dr. Francesco Sette, Grenoble

**06. April 2019, 11-13 Uhr
Klosterkirche Remscheid-Lennep**



**STADT
REMSCHIED**



Am 06. April 2019 wird der italienische Physiker Francesco Sette mit der Röntgenplakette der Stadt Remscheid ausgezeichnet. Gewürdigt werden damit seine herausragenden Forschungen und Pionierleistungen auf dem Gebiet der inelastischen Röntgenstreuung. Sette entwickelte dabei vollkommen neue technische Lösungen zur hochenergetischen und hochauflösenden Spektroskopie weicher Röntgenstrahlung. Seine Forschung öffnete den Weg zu systematischen Untersuchungen der lokalen Bindung von praktisch jeder Atomart. Diese Untersuchungen ermöglichen zukünftig neue intelligente Materialien zu entwickeln, die helfen werden, die Nutzung der vorhandenen natürlichen Ressourcen besser zu verstehen und zu optimieren, eine bessere Produktion und Verwaltung sauberer Energie einzuführen und neue Medikamente und neue Diagnose- und Therapieprogramme einzuführen.



Francesco Sette wurde am 8. August 1957 in Rom geboren und wuchs auch dort auf. Er ist der älteste Sohn und hat drei Geschwister. Er besuchte ein klassisches Gymnasium und absolvierte Kurse in Griechisch, Latein und Geschichte. Sette promovierte in Physik *summa cum laude* an der Università di Roma "La Sapienza". Als Pionier in der Forschung mit Synchrotronstrahlung verbrachte er acht Jahre an den AT&T Bell Laboratories in Murray Hill (USA) und erhielt für seine Arbeit renommierte Auszeichnungen. Vor zwanzig Jahren war Sette an der Entwicklung der weltweit ersten hochauflösenden, hochintensiven weichen Röntgenquelle maßgeblich beteiligt. Diese innovative Technik fand schnell ihren Weg in viele Synchrotronanlagen auf der ganzen Welt. Später, als Gruppenleiter am European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), entwickelte er eine neue Generation von inelastischen Röntgenstreustrahlungen, die es ermöglichten, die atomaren Bewegungen und elektronischen Eigenschaften der kondensierten d.h. der festen und flüssigen Materie mit einer beispiellosen Energieauflösung zu untersuchen. Seit 2001 ist Francesco Sette Forschungsdirektor am ESRF und spielt eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung des ESRF unter den weltweit führenden Synchrotronstrahlungsquellen und bei der Erweiterung seiner Benutzerbasis, die heute mehr als 4000 Wissenschaftler umfasst. Sette ist darüber hinaus auch Mitglied der Advisory Committees von großen Forschungseinrichtungen wie DESY in Hamburg (Deutschland) und LCLS in Stanford (USA).



Physikinstitut Guglielmo Marconi in Rom

Das wissenschaftliche Interesse von Francesco Sette liegt in der Erforschung der grundlegenden Eigenschaften der kondensierten Materie und ihrer experimentellen Bestimmung. Mit dem Ziel, das Materialverhalten mit der atomaren Struktur und Dynamik des Materials und seiner chemischen Bindung in Beziehung zu setzen, führte er mit Hilfe von in Synchrotronen erzeugter Röntgenstrahlung experimentelle Studien an Halbleitern, Übergangsmetalloxiden sowie an Zuständen der Materie wie Oberflächen, Grenzflächen, molekularen Systemen und Flüssigkeiten durch. Unter Verwendung von Röntgenstreuungs- und Röntgenspektroskopietechniken konnte er lokale elektronische und magnetische Eigenschaften messen und dabei den Zusammenhang zwischen atomaren Strukturen und makroskopischen Eigenschaften wie Magnetismus, Supraleitung, Magnetwiderstand, Phasenumwandlungen, etc. untersuchen.



1979 schloss sich Sette dem damals bahnbrechenden Programm der Synchrotronstrahlungsforschung an, das in Italien am Laboratori Nazionali di Frascati des Italienischen Instituts für Kernphysik (INFN) des CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) begann.



Ansicht des ADONE-Speicherrings und der PULS-Beamlines (1982)

In seiner Diplomarbeit am PULS (**Programma Utilizzazione Luce di Sincrotrone**) beschäftigte er sich mit der Untersuchung der elektronischen Eigenschaften von Metall-Halbleiter-Grenzflächen und der Adsorption organischer Moleküle an Übergangsmetalloberflächen unter Verwendung von Photoemissions- und Elektronenenergieverlustspektroskopien. Seine Arbeit trug maßgeblich zum weiteren Ausbau und Betrieb der Synchrotronstrahlungslinien sowie der Photoemissionsstrahlführung bei.



Nach seiner Promotion und einer mehrmonatigen Tätigkeit zur Unterstützung der Beamline-Aktivitäten in Frascati wurde Sette Post-Doctoral Fellow an der National Synchrotron Light Source (NSLS) im Brookhaven National Laboratory (BNL) in Upton (NY - USA). Hier machte er die Bekanntschaft mit dem deutschen Experimentalphysiker Joachim Stöhr, der sich speziell mit der Untersuchung von Oberflächen mit Röntgenstrahlen befasst. Unter Stöhrs Anleitung begann er, sich hier für die Röntgenabsorptionsspektroskopie zu interessieren.

Exkurs Röntgenabsorptionsspektroskopie

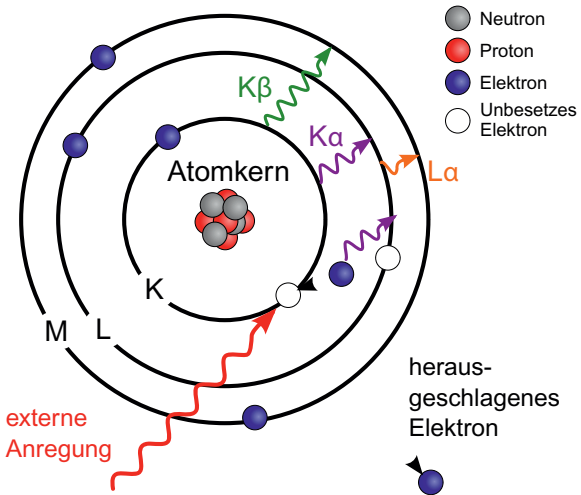
Unter dem Begriff Röntgenabsorptionsspektroskopie werden verschiedene röntgenspektroskopische Messverfahren verstanden. Bei allen diesen Methoden wird die Schwächung der Röntgenstrahlung im Bereich einer Absorptionskante gemessen. Als Absorptionskante wird allgemein ein sprunghafter Übergang von schwacher zu stärkerer Schwächung oder Absorption bezeichnet, der an einer bestimmten Stelle im Röntgenspektrum auftritt. Die Absorptionskanten können zur Untersuchung von Feinstrukturen, d.h. zur Bestimmung der Energieniveaus einzelner Elektronen in Atomen kondensierter Materie benutzt werden.

Physikalische Grundlagen

Die Absorption von Röntgenstrahlung in Materialien unterliegt gewissen Gesetzmäßigkeiten. Ein in Materie eindringendes Röntgenquant kann nur dann ein Elektron aus einer kernnahen Elektronenbahn eines



Atome in diesem Material herausgeschlagen, wenn die Energie ausreicht, damit das Elektron einen unbesetzten Zustand in diesem Atom einnimmt oder ganz aus dem Atom herausgeschleudert wird. Erhöht man die Energie der Röntgenstrahlung von einem Wert, bei dem das (noch) nicht möglich ist, zu einem Wert, bei dem so ein Prozess möglich ist, steigt schlagartig die Absorption der Röntgenstrahlung in diesem Material. Sobald die Energie hoch genug ist, damit das gebundene Elektron aus dem Atom herausgeschleudert wird, bleibt die Absorption auf einem hohen Wert, der nur langsam bei weiter zunehmender Energie sinkt.

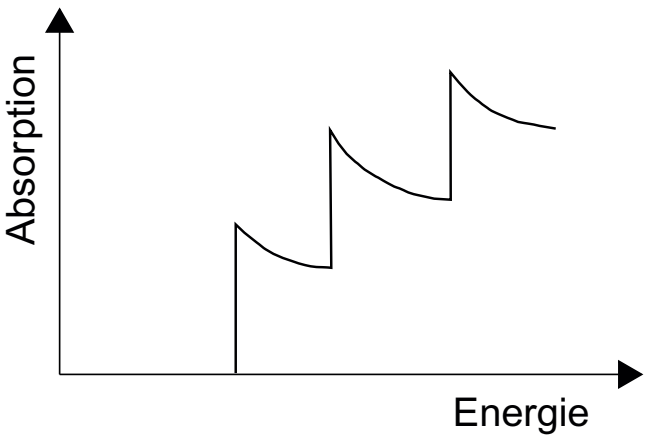


Modell eines Atoms mit Strahlungsübergängen

Quelle: Von Cepheiden - Rainer Ziel w:de:Bild:EDX-Atommodell.gif, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5200995>



Diese plötzliche Zunahme der Absorption wird als Absorptionskante bezeichnet. Im Bereich der Absorptionskante hängt die Absorption davon ab, wie viele unbesetzte Zustände einer bestimmten Energie für das Elektron zur Verfügung stehen.



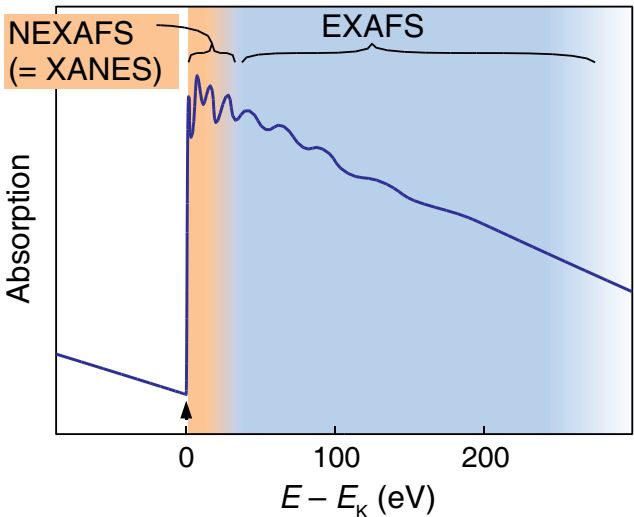
Schwächung der Röntgenstrahlung als Funktion der Energie. Deutlich sind bei bestimmten Energien sprunghafte Änderungen, die sogenannten Absorptionskanten zu erkennen.

Quelle: Von LarsOliverLutsch - Eigenes Werk (Originaltext: selbst gezeichnet), Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10255667>

Zur Untersuchung von Materialien können verschiedene Verfahren eingesetzt werden. Die Röntgen-Nahkanten-Absorptions-Spektroskopie NEXAFS (Near-Edge x-Ray Absorption Fine Structure) ist ein Verfahren zur Untersuchung von Festkörperoberflächen. NEXAFS liefert Auskunft über unbesetzte Elektronenzustände in den Atomorbitalen eines untersuchten chemischen Elements. Mit dieser Technik kann die Häufigkeit und räumliche Lage von Atomen oder Molekülen auf der Oberfläche der Probe



untersucht werden. Bei der NEXAFS werden mit Röntgenstrahlung kernnahe, stark gebundene Elektronen in einen unbesetzten Zustand im Valenzband (das höchste besetzte Elektronenenergieband) oder in ein unbesetztes Atom- oder Molekülorbital angehoben. So gibt die EXAFS-Spektroskopie Auskunft über unbesetzte Elektronenzustände in den Atomorbitalen des untersuchten chemischen Elements und somit über die chemische Zusammensetzung einer Probe. NEXAFS wird gerne dazu verwendet, Reaktionen von Molekülen auf Oberflächen zu untersuchen, z.B. für Grundlagenuntersuchungen der Katalysatortechnik. Die EXAFS-Spektroskopie (Extended X-ray Absorption Fine Structure) dient zur Analyse der kantennahen Feinstruktur eines Röntgenspektrums. Feinstruktur bezeichnet in der Physik die Zusammensetzung einer Spektrallinie aus mehreren unterscheidbaren Linien oder eines Energieniveaus aus mehreren unterscheidbaren Energiewerten. Die EXAFS-Spektroskopie gibt Auskunft über die Bindungsabstände in einer Probe. Sie gibt Auskunft über die Art, Anzahl und Entfernung von Nachbaratomen eines bestimmten chemischen Elements in Molekülen, einer Flüssigkeit oder einem Festkörper.



Röntgenspektrum an einer Absorptionskante (schematisch).
Der bei EXAFS untersuchte Energiebereich ist hellblau hinterlegt.

Quelle: Von Michael Schmid - drawing: Eigenes Werk, CC BY 2.5,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=832879>

Für Messungen in der Röntgenabsorptionsspektroskopie wird normalerweise Synchrotronstrahlung eines Elektronenspeicherrings verwendet. Dabei wird zunächst aus dem kontinuierlichen bunten Spektrum der Synchrotronstrahlung eine Wellenlänge herausgefiltert. Diese einfarbige (monochromatische) Röntgenstrahlung tritt in die Probe ein und wird dort (teilweise oder vollständig) absorbiert. Mit Hilfe von Ionisationszählern wird das Verhältnis der Röntgenintensität vor und nach der Wechselwirkung mit der Probe gemessen und so die Absorption bestimmt. Bei niedrigen Röntgenenergien (Absorptionskanten von Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff) müssten die Proben dafür extrem dünn im Bereich eines Mikrometers sein.



Exkurs Synchrotronstrahlung

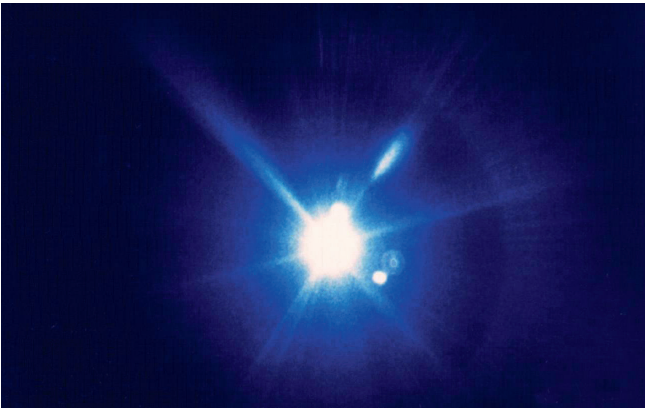
Alle elektrisch geladenen Teilchen senden Strahlung aus, wenn sie gebremst oder beschleunigt werden oder wenn sie ihre Flugrichtung ändern. Wenn in einer Röntgenröhre ein Elektron in eine Wolframanode rast, wird es dort von Atomkernen „ausgebremst“. Die elektromagnetische Strahlung, die es dabei abgibt, heißt Bremsstrahlung.

Ein anderer Fall ist ein Elektron, das sich recht langsam auf einer Kreisbahn bewegt. Es behält zwar seine Geschwindigkeit bei, seine Richtung ändert sich aber ständig. Es strahlt deshalb andauernd elektromagnetische Wellen ab, und zwar nach vorne wie nach hinten. Die Frequenz dieser von Heinrich Hertz entdeckten Dipolstrahlung entspricht der Umlauffrequenz des Elektrons auf seiner Kreisbahn. Die Intensität ist umso größer, je enger die Bahn im Verhältnis zur Geschwindigkeit ist.

Nun lässt man das Elektron nicht mehr in gemütlichem Tempo auf seiner Bahn kreisen, sondern beschleunigt es auf sehr große Geschwindigkeiten. Nach wie vor hängt dann die Strahlungsleistung davon ab, wie sehr das Elektron auf eine Kreisbahn gezwungen wird, wie eng die Kurven sind. Das Elektron sendet die elektromagnetischen Wellen aber nicht mehr gleichmäßig in alle Richtungen aus. Stattdessen wird der bei weitem größte Teil der Strahlung in Fahrtrichtung abgegeben, fast nichts mehr nach hinten, oben oder unten. Dies ist ein Effekt, der mit der klassischen Physik allein nicht erklärt werden kann, sondern nur zusammen mit Einsteins spezieller Relativitätstheorie.



Diese intensive Vorwärtsstrahlung heißt Synchrotronstrahlung, denn sie wurde 1947 zuerst in einem Teilchenbeschleuniger des gleichnamigen Typs entdeckt.



Sichtbarer Anteil der Synchrotronstrahlung

Zwei Eigenschaften zeichnen die Synchrotronstrahlung aus: das breite Frequenzspektrum von Infrarot bis in den Röntgenbereich und die hohe Intensität dieses Lichts.

Keine Strahlung, die über einen breiten Frequenzbereich reicht (zum Beispiel die Sonne oder eine Glühbirne), ist heller als die Synchrotronstrahlung. Zwar kann Laserlicht noch intensiver sein, dafür handelt es sich dann aber um eine einzelne Farbe. Besonders im Röntgenbereich ist die Synchrotronstrahlung noch ungeschlagen. Die Intensität kann mehr als eine Milliarden Mal größer sein als die stärksten traditionellen Röntgenstrahler. (Quelle DESY)



Die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle ESRF



Blick auf das ESRF

Die **European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)** ist eine multinationale Großforschungseinrichtung mit Sitz in Grenoble (Frankreich). Sie betreibt das größte eigens für die Forschung mit Synchrotronstrahlung errichtete Synchrotron in Europa, und weltweit das drittgrößte dieser Art. Der Umfang des ESRF-Elektronenspeicherrings beträgt 844 m. Sie wird von einem Konsortium aus 22 Partnerstaaten finanziert. Unter den 13 Mitgliedstaaten tragen Frankreich und Deutschland mit 27,5 % bzw. 24 % des Gesamtbudgets den größten Anteil bei. Die Hauptaufgabe der ESRF ist es, Messstationen zu errichten und zu betreiben und diese Forschungsgruppen aus öffentlichen Instituten und privaten Unternehmen für deren Zwecke zugänglich zu machen.



Bei der ESRF wurde Sette mit der Aufgabe betraut, eine sehr energieauflösende Röntgenstrahlführung zu konstruieren, um die Spektroskopie der Inelastischen Röntgenstreuung (IXS) durchzuführen. Die von ihm mitentwickelte Technik der Inelastischen Röntgenstreuung mit einer Energieauflösung im meV-Bereich erlaubt es, kollektive atomare Anregungen bei Energie- und Impulsüberträgen zu studieren. Insbesondere bei Untersuchungen an ungeordneten Systemen wie Flüssigkeiten und Gläsern hat sich diese neue Technik als sehr erfolgreich erwiesen.

Sette entwickelte dazu vollkommen neue Technologien für perfekte Kristalloptiken, um die Energieauflösung in IXS-Experimenten drastisch zu verbessern. Mit seiner kleinen Gruppe von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern und Studenten konzipierte und realisierte er ein neues IXS-Instrument mit beispiellosen Leistungen, das auf perfekter Kristalloptik und Milli-Kelvin-Temperaturstabilität und Steuerung der gesamten Anordnung bei Raumtemperatur basiert. Das noch funktionsfähige ESRF-Instrument hat fast identische Instrumente inspiriert, die in den USA und Japan entwickelt wurden, sowie ähnliche Programme, die sich in der Entwicklung bei den neuen Röntgenlaser-Quellen befinden.

2001 wurde Sette zum Forschungsdirektor der ESRF berufen. Während dieser Zeit war er für die Bereiche Physik der kondensierten Materie, Chemie, Materialwissenschaft und Röntgenoptik verantwortlich. 2009 zum Generaldirektor berufen engagierte er sich für den Bau eines neuen Speicherrings für eine beispiellose Röntgenquelle, die er als ESRF EBS (Extremely



Brilliant Source) bezeichnet. Dazu sagt Sette: „Die neuen Möglichkeiten in der Röntgenforschung, die andere fortschrittliche Analyseinstrumente für Material und lebende Materie ergänzen und erweitern, werden zu Schlüsselentdeckungen für das nachhaltige Wohlergehen unserer Gesellschaft beitragen: Neue intelligente Materialien werden die Nutzung der vorhandenen natürlichen Ressourcen optimieren und eine bessere Produktion und Verwaltung sauberer Energie ermöglichen, ein neues Verständnis biologischer Prozesse auf mesoskopischer und zellulärer Ebene wird neue Medikamente einführen und neue Diagnose- und Therapieprogramme schaffen, und Studien exotischer natürlicher thermodynamischer Zustände werden uns helfen, unseren Planeten, seine Ressourcen und seine Entwicklung besser zu verstehen. Diese weitsichtigen Pläne werden eine neue Generation von Wissenschaftlern anziehen, die mit Hilfe einer neuen Generation von Röntgensonden in der Lage sein werden, viele der Geheimnisse der uns umgebenden Welt besser zu erforschen und zu verstehen als heute.“



Impressum

Herausgeber

Deutsches Röntgen-Museum Remscheid
Schwelmer Straße 41, 42897 Remscheid
Tel.: 02191 16-3384
Fax: 02191 16-3145
E-mail: info@roentgenmuseum.de

Museumsleiter

Dr. Uwe Busch

Träger

Stadt Remscheid, Der Oberbürgermeister,
Theodor-Heuss-Platz 1, 42853 Remscheid

Redaktion

Dr. Uwe Busch, Christina Falkenberg

Gestaltung

Fachdienst Bauen, Vermessung und Kataster,
Stadt Remscheid

Quellen

Joachim Stöhr: „NEXAFS Spectroscopy“, Springer 1992
<http://www.chemie.de/lexikon/Röntgen-Nahkanten-Absorptions-Spektroskopie.html>, entnommen 24.01.2019
http://www.desy.de/expo2000/deutsch/dhtmlbrowser/webthemen/07_hasylab/synchrotronstrahlung.htm,
entnommen 24.01.2019
http://www.esrf.eu/Apache_files/Upgrade/ESRF-orange-book.pdf