

Elektronenoptik

Hauptseminar im Winter-Semester 2015 / 16

Montags 14:00-16:15 Uhr, Gebäude 30.22, Raum 229.3

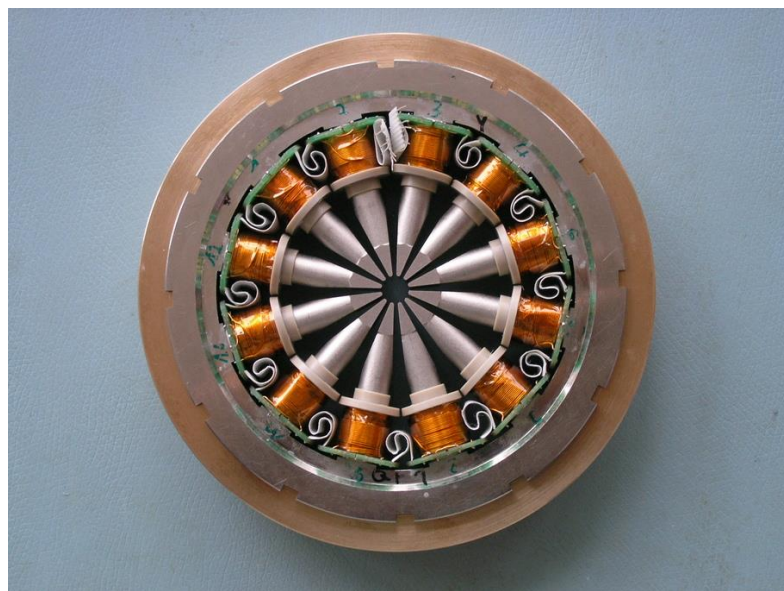
M. Haider, R. Janzen

Im Hauptseminar Elektronenoptik wird interessierten Studenten die Möglichkeit gegeben, sich in die Theorie des Elektronenmikroskops einzuarbeiten und das Gelernte selbst in einem Vortrag anderen Studenten zu vermitteln. Im letzten Drittel der sechswöchigen Vorbereitungszeit für den eigenen Vortrag werden im Rahmen zweier Pflicht-Termine mit dem Betreuer, der außerdem jeweils montags und dienstags für weitere Fragen und Gespräche zur Verfügung steht, das Konzept erarbeitet und der Vortrag vorbereitet.

Die Themen der Vorträge bauen teilweise aufeinander auf. Daher wird um Verständnis dafür gebeten, dass bestimmte Vorträge nur vergeben werden können, wenn die zugehörigen Aufbau-Vorträge auch bereits vergeben wurden.

0) Einführungsvortrag

Theoretisch könnte ein Elektronenmikroskop ausgehend von der Wellenlänge der Elektronen ein Auflösungsvermögen von einigen pm erreichen. In der Praxis tut man sich dagegen schwer, nur das Hundertfache davon zu unterbieten, was im wesentlichen an den Gesetzmäßigkeiten der zur Abbildung verwendeten elektromagnetischen Felder liegt. Die Elektronenoptik hat eine höchst effektive, sukzessive Methodik zur Lösung der Problematik entwickelt. Ende des letzten Jahrhunderts hat deren erfolgreiche Umsetzung in die Praxis begonnen.



Das Repertoire moderner elektronenoptischer Geräte-Entwicklung umfasst Korrekturen für Öffnungs- und Farbfehler, dank derer inzwischen atomare Auflösung keine Zauberei mehr ist, ebenso wie Monochromatoren und abbildende Energiefilter.



Weltklasse-Technologie aus Heidelberg: Der TEAM-Korrektor der CEOS GmbH zur Korrektur von Farb- und Öffnungsfehler.

1) Das Elektron: Teilchen oder Welle?

Obwohl das Elektron mit seiner Ruhemasse und seiner Ladung die typischen Eigenschaften eines Teilchens aufweist, ist die Wechselwirkung von Elektronenstrahlen mit Materie im Elektronenmikroskop durch die Wellen-Natur der Elektronen dominiert. In diesem Vortrag wird eine Übersicht über die Eigenschaften des Elektrons vermittelt mit besonderem Augenmerk darauf, wann man es als Teilchen und wann als Welle behandeln muss.

2) Bildentstehung im (Raster-) Elektronenmikroskop

Aufgrund der Vielfalt der durch Elektronenstrahlen in Materie bewirkten Prozesse gibt es mannigfaltige Möglichkeiten, durch Elektronenbeschuss Informationen über das Objekt zu erhalten. Prinzipiell unterschiedlich sind dabei die Techniken der sequentiellen (rasternden) und der Ruhbild-Mikroskopie sowie der durchstrahlenden und der Oberflächen-Mikroskopie. In diesem Vortrag wird ein Überblick über die Funktionsweise und die bildgebenden Verfahren der Elektronen-Mikroskopie mit dem Schwerpunkt Raster-Elektronenmikroskopie gegeben.

3) Relativistik und Lagrangefunktion in der Elektronenoptik

Relativistische Effekte lassen sich unter den besonderen Gegebenheiten im Elektronenmikroskop auf eine vergleichsweise einfache Korrektur in Form des sog. relativistisch modifizierten Beschleunigungspotentials reduzieren. Diese relativistische Korrektur und die aus einer Erweiterung der klassischen Mechanik auf Geschwindigkeits-abhängige Potentiale hervorgehende Lagrangefunktion geladener Teilchen im elektromagnetischen Feld sind zwei wichtige Aspekte in der Elektronenoptik, die in diesem Vortrag beleuchtet werden sollen.

4) Extremal-Prinzipien in Optik und Mechanik

Das Prinzip des extremalen Lichtwegs beschreibt die Strahlenoptik ebenso umfassend wie das Hamilton'sche Prinzip die klassische Mechanik. Der Vergleich dieser Prinzipien liefert den elektronenoptischen Brechungsindex, der für elektronenoptische Anwendungen sehr hilfreich ist und einen Ausdruck für die Wellenlänge von Elektronen.

5) Erhaltungssätze und Konstanten der Bewegung

Erhaltungssätze spielen in der Physik eine wichtige Rolle. Beispielsweise ist bei Abwesenheit einer generalisierten Kraft der zugeordnete kanonische Impuls eine Konstante der Bewegung. In der Elektronenoptik kommt die Energieerhaltung (wie in vielen Bereichen der Mechanik) zur Eliminierung der Zeit als Parameter beim Übergang von einer Bewegungs- zu einer Bahngleichung zum Tragen. Weiterhin liefert der Satz von der Erhaltung des Phasenraumvolumens aus der Vielteilchen-Physik ein wichtiges Kriterium zur Klassifizierung von Teilchen-Quellen.

6) Die Multipolentwicklung des elektromagnetischen Feldes

Die Maxwellgleichungen der Elektrodynamik führen unter den im Elektronenmikroskop herrschenden besonderen Bedingungen, insbesondere der Rotations-Symmetrie zu einer Verknüpfung der für die Elektronen-Bewegung relevanten Felder mit den Werten der Potentiale und ihrer Ableitungen auf der Symmetrie-Achse, die die Basis einer besonderen Potenzreihenentwicklung liefert.

7) Gauß'sche Dioptrik und Larmortransformation

Durch Einsetzen der Multipolentwicklung in den elektronenoptischen Brechungsindex und Anwendung der Euler-Lagrange-Gleichungen gelangt man zu einer (Zeit-unabhängigen) Bahngleichung zur Beschreibung der Sachverhalte in einer Elektronenmikroskop-Säule. Durch einen Störungs-theoretischen Ansatz gelangt man in der niedrigsten relevanten Ordnung zu linearen Differentialgleichungen, die die ideale Abbildung beschreiben. Daher ist diese auch als Gauß'sche Dioptrik bezeichnete Linearisierung zur Untersuchung und Charakterisierung elektronenoptischer Elemente prädestiniert. Durch Koordinatentransformationen kann man die linearisierte Bahngleichung im Fall einer geraden Achse auf eine einfache Form bringen, die weitere Parallelen zur Strahlen-Optik offenbart.

8) Die Fouriertransformation in der (Elektronen-) Optik

Die Wellenausbreitung von der vorderen in die hintere Brennebene einer Linse wird mathematisch durch eine zweidimensionale Fouriertransformation beschrieben. Außer mit Hilfe der formalen (mathematisch motivierten) Beschreibung kann man den Vorgang auch anschaulich durch Analyse von Lichtstrahlen, bzw. Elektronen-Bahnen verstehen. Der Rollentausch von Orts- und Winkel-Information, auf den sich der Sachverhalt sprachlich reduzieren lässt, hat insbesondere in der Elektronenoptik ein breites Anwendungsspektrum.

9) Der Aufbau eines Transmissions-Elektronenmikroskops

Ruhbild-Elektronenmikroskope, wie man Transmissions-Elektronenmikroskope im nicht rasternden Betrieb gerne nennt, nutzen die durch eine Probe hindurch gehenden Elektronen zur vergrößernden Abbildung und zeigen somit eine Verwandtschaft zu Lichtmikroskopen. In diesem Vortrag wird das Funktionsprinzip eines Ruhbild-Elektronenmikroskops erläutert und die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Licht- und Ruhbild-Elektronenmikroskopen dargelegt.

10) Die Bildfehlertheorie in der Elektronenoptik

Durch einen Störungs-theoretischen Ansatz bei der Analyse der Bahngleichung (s. Vortrag 7) gelangt man in der niedrigsten relevanten Ordnung zu linearen Differentialgleichungen, die die ideale Abbildung beschreiben. Eine sukzessive Berücksichtigung der Nichtlinearitäten nach der Methode der Variation der Konstanten liefert die sog. Aberrationstheorie. Der Vortrag beschreibt neben der Vorgehensweise auch das Resultat für die niedrigste nicht lineare Ordnung in rotationssymmetrischen Systemen, die Rundlinsenfehler dritter Ordnung.

Bei Interesse melden Sie sich bitte verbindlich entweder montags bis mittwochs bei Ihrem zukünftigen Betreuer, Herrn Dr. Janzen, (Raum FE-14, Gebäude 30.22, Engesserstr. 7, Tel. 0721 608 44889, e-Mail: info@dr-janzen.de), oder im Sekretariat bei Frau Sauter (Raum F2-28, Gebäude 30.22, Engesserstr. 7) an. Ein mindestens wöchentlich aktualisiertes ‚read-only‘-Exemplar der Anmeldeliste finden Sie im Internet unter <http://www.lem.kit.edu>.