



Garching, den 13. Juli 2005

Ein erster Schritt zur Atomkernuhr

Garchinger Wissenschaftler haben eine Laserquelle im extrem ultravioletten Spektralbereich erschlossen – diese verspricht außergewöhnliche Anwendungen

Mit so genannten modengekoppelte Lasern, die eine beliebig lange Kette aus extrem kurzen Lichtpulsen emittieren, konnten erstmals die Schwingungen von sichtbarem Licht direkt gezählt werden. Damit werden neue Perspektiven beispielsweise für hochgenaue Atomuhren eröffnet. Das Frequenzspektrum (die Farbzusammensetzung) eines solchen Lasers besteht aus einer langen gleichmäßigen Reihe von schmalen Linien, die mit den Zinken eines Kamms vergleichbar sind. Wissenschaftler aus den Gruppen von Theodor W. Hänsch und Ferenc Krausz am MPI für Quantenoptik in Garching haben jetzt eine Lichtquelle erschlossen, die einen solchen "Frequenzkamm" im extrem ultravioletten (XUV) Spektralbereich zur Verfügung stellt (diese Woche in Nature S. 234-237). Der Abstand zwischen den Linien "dieses Kamms" ist so groß, dass jede Linie für sich isoliert und für neue Präzisionsmessungen in einem diesbezüglich noch unerschlossenen Frequenzbereich genutzt werden kann (ein ähnliches Ergebnis wurde kürzlich auch von der Gruppe von Jun Ye am JILA in Boulder, USA publiziert: Physical Review Letters, Vol. 94, Nr. 193201). Die neue Lichtquelle ist nahezu punktförmig und bietet sich damit u.a. für die Materialbearbeitung auf einer Größenskala von einem milliardstel Meter (nm) an.

Optische Frequenzkämme, wie sie in den Labors in Garching entwickelt worden sind, haben die optische Frequenzmessung revolutioniert. Sie haben es erstmals ermöglicht, zuverlässig arbeitende Atomuhren zu konstruieren, die als Taktgeber einen atomaren Übergang mit optischer Frequenz einsetzen. Damit wird eine tausend mal präzisere Zeitbestimmung gegenüber den besten bisher existierenden Atomuhren (Cäsium) in Aussicht gestellt. Je schneller der Taktgeber einer Uhr schwingt, desto feiner ist die Unterteilung der Zeit und um so genauer kann eine Uhr arbeiten. In klassischen Pendeluhrn schwingt der Taktgeber etwa ein Mal pro Sekunde, in Quarz Armbanduhren etwa eine Millionen Mal, in modernen Cäsium Atomuhren, die die SI Einheit Sekunde definieren, zehn Milliarden Mal und in optischen Atomuhren noch hunderttausend Mal schneller. Eine weitere Steigerung der Taktgeberfrequenz durch Verwendung einer Atomkernschwingung anstatt einer Schwingung der Elektronenhülle des Atoms scheiterte bisher an der Möglichkeit, eine solche Schwingung mit ausreichender Präzision zu detektieren und zu zählen. Mit der neu entwickelten Laserquelle sind die Forscher in Garching diesem Ziel ein gutes Stück näher gekommen.

Bei der "nichtlinearen Konversion" von elektromagnetischen Wellen entsteht in einem geeigneten Medium Licht mit einer Frequenz, die ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz des ursprünglichen Lichtes beträgt. Dies ermöglicht im Prinzip die Erzeugung von XUV oder gar weicher Röntgenstrahlung aus sichtbarem oder nahinfrarotem Licht. Damit diese Konversion effizient abläuft, wird eine sehr hohe Lichtleistung benötigt, die durch Konzentration der mittleren Leistung aus einem Laser in wenige (meistens einige 1000 pro Sekunde) extrem kurze Lichtblitze erreicht wird. Auf diese Weise kann die Leistung in so einem Lichtblitz auf einige hundert Milliarden Watt gesteigert werden, ohne die im Mittel abgestrahlte Lichtleistung von einigen Watt zu erhöhen. Doch auch bei so hoher Leistung in einem Lichtblitz ist die Konversion in das XUV ineffizient. Es wird höchstens ein 100000stel der gesamten Leistung konvertiert und der Grossteil der eingestrahlenen Leistung geht verloren.

Die Forschergruppe aus Garching umgeht die auftretenden Schwierigkeiten mit einem Trick. Die Pulse aus einem Laser mit einer hohen Wiederholrate werden zwischen zwei (oder mehr) Spiegeln so gespeichert, dass sich jeder neu eintreffende Puls zu dem in der Spiegelanordnung umlaufenden Puls addiert und so die Leistung des umlaufenden Pulses viele hundert mal größer sein kann. Wird das nichtlineare Medium zur Frequenzkonversion nun innerhalb dieser Anordnung platziert, so kann die Konversion ins XUV bei sehr hoher Wiederholrate von über 100 Millionen Pulsen pro Sekunde stattfinden. Zudem ist das Licht, das nach einem Durchgang durch das Medium nicht konvertiert wurde, nicht verloren, sondern wird weiter zwischen den Spiegeln gespeichert und damit zu weiteren Durchläufen durch das Medium beitragen. Eine solche Quelle ist nicht nur für die Grundlagenforschung und die hochpräzise Spektroskopie von Interesse. Die Einfachheit und Kompaktheit der Quelle und die hohe Wiederholrate stellen auch Anwendungen in der Halbleiterherstellung oder der hochdichten holographischen Datenspeicherung in Aussicht.

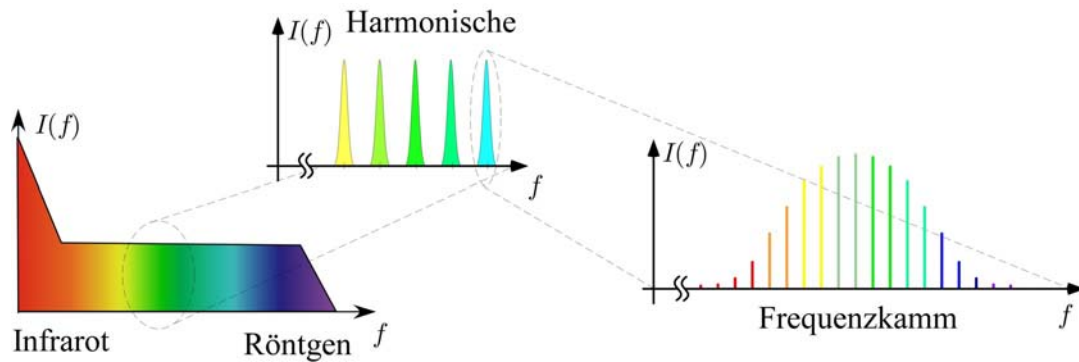


Abb.1

Die Abbildung zeigt das Spektrum der erzeugten Harmonischen XUV Strahlung gegen die Frequenz f . In der Grobansicht wird jede Farbe angefangen von der Nahinfraroten Laser Strahlung bis zu einer sog. Abschneidefrequenz die meist im XUV oder weichen Röntgenbereich liegt erzeugt. Bei genauerem hinsehen erkennt man das dieses breite Strahlungsspektrum schmalere Spitzen bei Frequenzen aufweist, die ein ungeradzahliges vielfaches der Nahinfraroten Laserfrequenz ist. Wird eine solche sog. Harmonische noch genauer unter die Lupe genommen und aufgefächert, findet man einen sog. Frequenzkamm aus nahezu unendlich scharfen äquidistanten Linien, die als Lineal im Frequenzraum dienen können.

Bild: Max-Planck-Institut für Quantenoptik

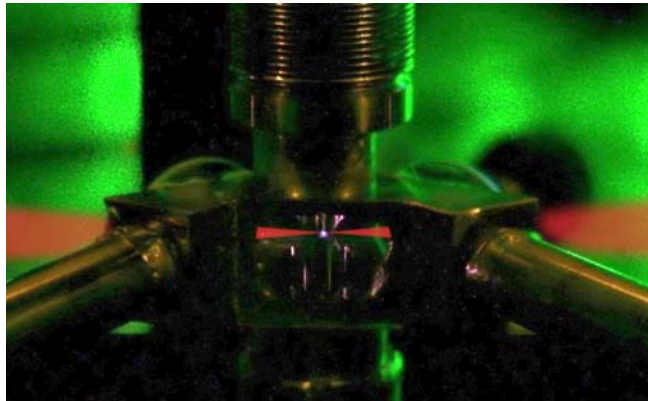


Abb.2

Foto der Vakuummutter, die das nichtlineare Medium (ein Strahl aus Xenon Atomen) enthält, während des Betriebes. Der helle weiße Punkt hinter dem Sichtfenster unten in der Mitte des Bildes wird durch Xenon Atome hervorgerufen, die durch das infrarote Laserlicht (symbolisiert durch die rote Fläche, da normalerweise unsichtbar) ionisiert wurden. Die erzeugte XUV Strahlung entweicht durch das Rohr, das im Bild nach rechts unten führt. Die Abmessungen dieser Kammer sind etwa 2x1x1 cm.

Bild: Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Originalveröffentlichung:

Christoph Gohle, Thomas Udem, Jens Rauschenberger, Ronald Holzwarth, Maximilian Herrmann, Hans A. Schuessler, Ferenc Krausz and Theodor W. Hänsch

A frequency comb in the extreme ultraviolet

Nature, 14 July 2005

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Christoph Gohle

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching

Tel.: 089 32905-266

Fax: 089 32905-200

E-Mail: christoph.gohle@mpq.mpg.de

Prof. Theodor W. Hänsch

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching

Tel.: 089 32905-712

Fax: 089 32905-200

E-Mail: t.w.haensch@mpq.mpg.de