

## PHYSIK

## Silbertrichter erzeugt Salven aus extrem kurzen UV-Pulsen

Ein internationales Forscherteam um Seung-Woo Kim vom Korea Advanced Institute of Science and Technology (Daejeon, Südkorea) hat ultrakurze Lichtpulse im extremen Ultraviolett erzeugt, die sich 75 Millionen Mal in der Sekunde wiederholen. Die Wissenschaftler verwendeten dazu einen wenige Mikrometer langen Trichter aus Silber, durch den sie das Edelgas Xenon strömen ließen. Der Silbertrichter verstärkt das elektrische Feld eines eingestrahnten Infrarotlasers bis zu 350-fach, was die Xenonatome zur Aussendung von ultrakurzen UV-Blitzen anregt, die um zwei Größenordnungen intensiver sind als mit bisherigen Verfahren erzielbar. Man benötigt sie etwa, um die Bewegung von Elektronen in Molekülen oder Festkörpern zu erfassen.

Bei dem Verfahren erzeugt ein Laser durch Wechselwirkung mit Materie Licht vielfach höherer Frequenzen. Hierfür muss das elektrische Feld des Lasers extrem stark sein, wofür der Silbertrichter sorgt. Das eingestrahlte

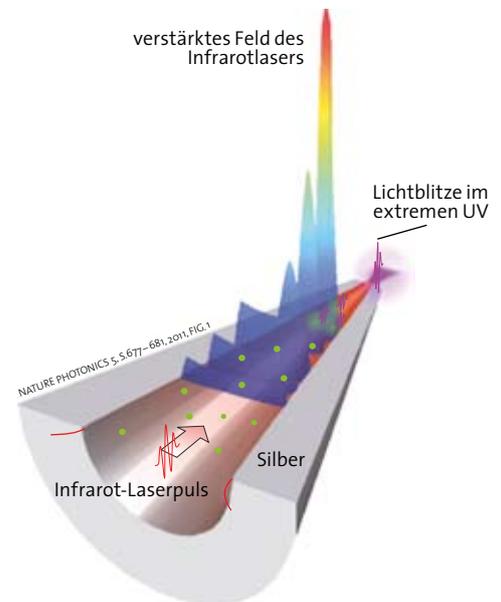
Laserlicht ruft in ihm Ladungsschwankungen hervor, quasi die Fortsetzung der Lichtwelle mit anderen Mitteln. Diese Oberflächenschwingungen laufen an der Innenseite des Trichters entlang auf sein verjüngtes Ende zu, bis sein Durchmesser eine halbe Wellenlänge unterschreitet. Hier werden die Schwingungen reflektiert und bilden zusammen mit den nachkommenden eine stehende Welle, deren elektrisches Feld nach Angaben der Forscher bis zu 350-fach intensiver ist als das des ursprünglichen Laserlichts.

Das elektrische Feld entrißt den Xenonatomen im Innern des Trichters Elektronen und beschleunigt sie. Sobald sich die Phase der Welle umkehrt, fliegen die Elektronen zu ihren Ursprungsatomen zurück, verbinden sich wieder mit ihnen und geben die

**Der mit Xenonatomen (grün) gefüllte Trichter verstärkt das Feld (Wellenstruktur) des einfallenden Infrarotlasers.**

dabei frei werdende Energie in Form höherfrequenter Strahlung ab – in diesem Fall extremes UV-Licht. Jeder Puls des Anregungslasers erzeugt einen zugehörigen UV-Blitz, so dass sich die Zahl der Blitze pro Sekunde auf bis zu 75 Millionen steigern lässt.

*Nature Photonics 5, S. 677–681, 2011*



## BOTANIK

## Wind diktiert Baumwachstum

Ein Baum wächst fast immer so, dass die Gesamtquerschnittsfläche der Zweige in jeder Höhe über dem Boden der Dicke des Stamms gleicht, stellte Leonardo da Vinci bereits vor 500 Jahren fest. Christophe Eloy von der Universität de Provence in Marseille (Frankreich) hat nun geklärt, warum das so ist: Bäume trotzen so dem Wind mit einem Minimum an Biomasse.

Teilt sich ein Baumstamm mit dem Durchmesser  $D$  in  $n$  Äste mit den

Durchmessern  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , so muss die Summe ihrer quadrierten Durchmesser dem Stammdurchmesser zum Quadrat entsprechen:  $D^2 = \sum d_i^2$ , wobei  $i = 1, 2, \dots, n$ . Für Messungen an echten Bäumen ergibt sich ein Exponent (in der Gleichung: 2) zwischen 1,8 und 2,3.

Der Physiker simulierte nun einen Baum im Computer als einseitig – im Boden – fixierten Balken (Stamm) mit einem fraktalen Netzwerk (Geäst) darauf. Die simulierten Äste teilen sich darin stets in die gleiche Anzahl von Zweigen auf, mit etwa gleichen Winkeln und Ausrichtungen. Den Wind modellierte er als Kraft, die am oberen Ende des virtuellen Baums angreift.

**Wie sich das Geäst eines Baums formt, gehorcht mathematischen Regeln.**

Es zeigte sich, dass der virtuelle Baum dem Wind am besten widersteht, wenn er gemäß der Vincis Regel wächst. Zudem berechnete Eloy, welche Kräfte auf die Äste wirken und wie dick diese sein müssen, damit sie den Kräften standhalten. So konnte der Forscher bestätigen, dass der Exponent in der »Baumformel« etwa 2 beträgt.

Eloy schließt daraus, dass die Da-Vinci-Regel aus der selbstähnlichen Struktur von Bäumen folgt, wobei die Astdurchmesser ideal an die Beanspruchung durch den Wind angepasst sind – bei minimalem Materialeinsatz. Zugleich verwirft er die frühere These, die Regel resultiere daraus, dass der summierte Querschnitt aller Wasserleitenden Gefäße von den Wurzeln hin zur Baumkrone gleich bleiben müsse.

*arXiv:1105.2591v2*



FOTOLIA / MALENA UND PHELIPIK

## ANTHROPOLOGIE

## Homo sapiens kam früher nach Europa

Laut bisherigen Fossiliendatierungen wanderte der moderne Mensch vor etwa 40 000 Jahren, zu Beginn der jüngeren Altsteinzeit, nach Europa ein. Neue Untersuchungen zeigen nun, dass *Homo sapiens* schon einige Jahrtausende früher in Süd- und Westeuropa eintraf und sich zudem rasch auf dem ganzen Kontinent ausbreitete.

1964 hatten Archäologen Überreste von Muscheln, Steinwerkzeugen und zwei Milchzähnen in der süditalienischen Grotta del Cavallo entdeckt und der Uluzzien-Kultur des Neandertalers zugeordnet. Nun erstellten Forscher um Stefano Benazzi von der Universität Wien 3-D-Computermodelle der Zähne, basierend auf Schnittbildverfahren. Anschließend analysierten sie verschiedene Merkmale, etwa die Dicke des Zahnschmelzes und den Umriss der Krone, und schlossen daraus, dass die Überreste von modernen Menschen stammen und nicht von Neandertalern. Das entkräftete auch die These, der Neandertaler habe damals bereits Muschelschmuck und ausgereifte Steingeräte gefertigt. Überdies ordneten die Forscher die Milchzähne zeitlich genauer ein, auf ein Alter zwischen 43 000 und 45 000 Jahren. *Homo sapiens* ist somit offenbar schon vor dem Beginn der jüngeren Altsteinzeit in das von Neandertalern besiedelte Europa eingewandert.



STEFANO BENAZZI / UNIVERSITÄT WIEN

Milchzahn eines modernen Menschen, etwa 44 000 Jahre alt, gefunden in der süditalienischen Grotta del Cavallo

Untermauert wird dies von einer Arbeitsgruppe um den Archäologen Tom Higham von der University of Oxford. Die Wissenschaftler bestimmten das Alter eines Kieferfragments, das 1927 in der Höhle Kents Cavern beim englischen Torquay zum Vorschein gekommen war. Sie kamen auf 41 000 bis 44 000 Jahre, entgegen früheren Datierungen, die fälschlicherweise 35 000 Jahre ergeben hatten. Damit handelt es sich um die ältesten bekannten *Homo-sapiens*-Fossilien im nordwestlichen Europa.

*Nature* 479, S. 521–528, 2011

## ASTRONOMIE

## Riesige Eisvorkommen in entstehendem Planetensystem

Die protoplanetare Gas- und Staubscheibe, die sich um den jungen Stern TW Hydrae dreht, enthält in ihren äußeren Bereichen Wassermengen, die mehrere tausend Weltmeere füllen könnten. Das haben Astronomen um Michiel Hogerheijde von der Universität Leiden (Niederlande) belegt, indem sie dort mit Hilfe des Weltraumteleskops Herschel kalten Wasserdampf nachwiesen. Zuvor war nur in den inneren, heißen Regionen von protoplanetaren Scheiben Wasserdampf entdeckt worden.

TW Hydrae ist 175 Lichtjahre von der Erde entfernt und mit seinen zehn Millionen Jahren nur rund ein 500-stel so alt wie die Sonne. Umrundet wird er von einer ausgedehnten Gas- und Staubscheibe und, wie seit 2008 bekannt, auch von mindestens einem

Riesenplaneten. In den äußeren Regionen der protoplanetaren Scheibe, in denen Temperaturen um minus 250 Grad Celsius herrschen, gefriert Wasserdampf an Staubkörnern. Die ultraviolette Strahlung des Sterns lässt einen kleinen Teil des Wassers jedoch wieder verdampfen.

Die spektralen Fingerabdrücke dieses Wasserdampfs haben die Forscher um Hogerheijde nun am Rand der protoplanetaren Scheibe aufgespürt. Den Beobachtungsdaten und computergestützten Simulationen zufolge entspricht die Masse des nachgewiesenen Wasserdampfs rund fünf Tausendstel der Masse aller

Künstlerische Darstellung der protoplanetaren Scheibe um den Stern TW Hydrae

irdischen Ozeane. Damit diese Dampfmenge entstehen kann, muss die Scheibe laut den Berechnungen der Forscher ein Eisreservoir enthalten, das die Masse der Weltmeere mehrtausendfach übersteigt. Die Forscher hoffen, mit Hilfe dieser Ergebnisse genauer nachvollziehen zu können, wie sich Planeten bilden und zu ihren Wasservorräten kommen.

*Science* 334, S. 338–340, 2011



ESA/NASA/JPL/CALTECH/LEIDEN OBSERVATORY

## QUANTENPHYSIK

## Licht aus Vakuum hervorgezaubert

Der Quantenfeldtheorie zufolge ist das Vakuum nicht leer: Ständig bilden sich dort aus dem Nichts so genannte virtuelle Teilchen, die kurz darauf wieder spurlos verschwinden. Nur bei Wechselwirkung mit der Umgebung können sie sich in reale Partikel verwandeln. Wissenschaftler um Christopher Wilson von der Technischen Hochschule Chalmers im schwedischen Göteborg haben nun erstmals virtuelle Photonen in reale umgewandelt, also in messbares Licht.

Der amerikanische Physiker Gerald Moore hatte bereits 1970 die These aufgestellt, dass ein Spiegel, der sich nahezu lichtschnell bewegt, virtuelle in echte Photonen überführen könne. Allerdings lassen sich solche relativistischen Geschwindigkeiten im Labor nicht erreichen. Deshalb wählten die Forscher um Christopher Wilson eine

alternative Vorgehensweise: Sie montierten an ein Ende eines Wellenleiters ein quantenelektronisches Bauteil namens SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). Das Gerät reagiert hochempfindlich auf Änderungen des Magnetfelds und wirkt so wie ein Spiegel auf das Brodeln im Vakuum. Indem die Wissenschaftler ein Magnetfeld anlegten, das mehrere Milliarden Schwingungen pro Sekunde durchlief, zitterte der »Spiegel« mit bis zu 25 Prozent der Lichtgeschwindigkeit hin und her. Dabei antwortet er auf virtuelle Photonen, indem er reale Photonen aussendet – er materialisiert die Teilchen gewissermaßen.

Am offenen Ende des Wellenleiters konnten die Forscher die produzierten Photonen in Form von Mikrowellenstrahlung messen. Die Frequenz der Photonen entsprach etwa der Hälfte



MEHR WISSEN BEI  
Spektrum.de



Aktuelle Spektrogramme  
finden Sie täglich unter

[www.spektrum.de/spektrogramm](http://www.spektrum.de/spektrogramm)

der Schwingungsfrequenz des Spiegels, so wie von der Quantentheorie vorhergesagt. In verschiedenen Tests schlossen die Autoren mögliche andere Quellen für die nachgewiesenen Photonen aus.

Neben Photonen existieren noch andere virtuelle Teilchen im Vakuum, etwa Elektronen oder Protonen. Da Lichtquanten keine Masse besitzen, sei relativ wenig Energie erforderlich, um sie aus ihrer virtuellen Existenz heraus in einen realen, messbaren Zustand zu überführen, berichten die Forscher. Im Prinzip könne man aber durch entsprechende Energiezufuhr auch andere Partikel aus dem Vakuum erzeugen.

*Nature 479, S. 376–379, 2011*

## MEDIZIN

## Blutplättchen entscheiden über Immunreaktion

Seit Langem sind die Blutplättchen als Teil des Blutgerinnungssystems bekannt, das Wunden rasch verschließt. Nun berichten Forscher um Dirk Busch von der TU München, dass Blutplätt-

chen auch die Immunreaktion regulieren: Sie bestimmen mit darüber, ob eingedrungene Keime möglichst schnell oder besonders nachhaltig bekämpft werden.

Wenn Bakterien in den Körper gelangen, etwa das bei Lebensmittelvergiftungen beteiligte *Listeria monocytogenes*, kann der Organismus die Keime rasch und gründlich vernichten oder aber eine langsamere, riskantere Abwehrstrategie wählen. Diese erlaubt es dem Immunsystem, die Bakterien kennen zu lernen, um für spätere Attacken besser gerüstet zu sein. Eine wichtige Rolle beim Austarieren der beiden Reaktionen spielen die Blutplättchen. Ohne sie können die Bakterien nicht in bestimmte Bereiche der Milz gelangen, wo dendritische Zellen als Immunsystemwächter auf Eindringlinge warten. Diese Zellen helfen, Erinnerungen an Keime zu speichern, mit denen sie Kontakt hatten. Dabei

werden spezifische T-Zellen aktiv, die den Feind bei späteren Infektionen gezielt angreifen und somit eine langfristige Immunität gewährleisten. Die Bakterien bleiben aber offenbar nur dann in der Milz hängen, wenn die Blutplättchen zusammen mit dem so genannten Komplementsystem die Keime mit einer Hülle umgeben.

Den Bakterien Zugang zu den dendritischen Zellen in der Milz zu verschaffen, sei für den Organismus allerdings ein zweischneidiges Schwert, schreiben die Wissenschaftler. Denn für *L. monocytogenes* sind diese Zellen ein Lebensraum, von dem aus sie sich im Körper ausbreiten können. Das Risiko muss der Organismus aber wohl eingehen, um eine langfristige Immunisierung zu erreichen. Auch für andere grampositive Bakterien scheint dieser Zusammenhang zu gelten.

*Nature Immunology 12,*

*S. 1194–1201, 2011*



FOTO: ALEXANDER MITUC

Neben Erythrozyten (rote Scheiben) finden sich im Blut unter anderem T-Zellen (violette Kugeln) und Blutplättchen (unregelmäßig geformte Partikel).

## LUFTIG, LUFTIG

Ein neues, poröses Material aus Nickelröhrchen hat eine so geringe Dichte, dass es auf einer Pusteblume schwebt. Zudem zeigt es eine für Metalle ungewöhnliche Elastizität: Selbst wenn es auf über die Hälfte seiner Dicke zusammengepresst wird, nimmt es nach Entlastung wieder seine ursprüngliche Form an. Damit könnte es breite Anwendung in Wärmeisolierungen, Schalldämmungen oder auch zum Dämpfen von Stößen und Vibrationen finden.

Tobias Schaedler von HRL Laboratories in Kalifornien und seine Kollegen fertigten zunächst ein Polymergerüst aus sich kreuzenden Säulen. Auf dieses brachten sie einen rund 100 Nanometer dünnen Nickelfilm auf und ätzten anschließend das Gerüst wieder weg. Übrig blieb eine Gitterstruktur aus wenige Millimeter langen und einige hundert Mikrometer dicken, hohlen Metallröhrchen. Insgesamt macht das Nickel aber nur 0,01 Prozent des Materials aus – der Rest ist Luft. Diese nicht mitgerechnet, beträgt die Dichte sogar nur 0,9 Milligramm pro Kubikzentimeter, also weniger als jene von Luft auf Meeresspiegellhöhe.

*Science 334, S. 962–965, 2011*



MEHR WISSEN BEI  
**Spektrum.de**



Weitere faszinierende  
Bilder aus der Forschung unter

[www.spektrum.de/bilder](http://www.spektrum.de/bilder)