



## Ein Käfig für Atome

### Atom als Haustier

**Sara:** Na, auf so ein Haustier könnte ich ja wohl verzichten! So weit ich das bis jetzt verstanden habe, ist das ein äußerst schwieriger Zeitgenosse: unsichtbar, rast durch die Gegend und lässt sich nur durch

saukalte Temperaturen, die kein Mensch mehr aushält, zur Ruhe bringen. Da muss ich mich dann entscheiden: das Atom oder ich... Klar, was ich da wähle!

**Anja:** Ich glaube, du bist heute sehr phantasievoll – das kann nicht schaden. Aber mal ganz nebenbei: ich will dir kein Atom andrehen, sondern nur zeigen, wie man Atome an einen Ort bringen kann, um mit ihnen zu experimentieren und letztendlich zur Bose-Einstein-Kondensation gelangt. Eine ganz wichtige Voraussetzung dafür ist nämlich, dass die Atome ganz dicht sind, also auf engen Raum zusammengepresst. Bis jetzt haben wir ja erreicht, dass sie sehr kalt sind, aber das hindert sie gar nicht, wenn auch sehr langsam, in der Zelle hin und her zu wandern. Deshalb müssen wir es jetzt noch schaffen, dass sie sich in einem Punkt der Vakuumzelle sammeln.



**Sara:** Ja, das leuchtet mir ein. Eigenwillig wie die Atome sind, machen sie das sicher nicht freiwillig. Wenn wir es schon geschafft haben, sie abzubremsen, dann wird es doch auch noch möglich sein, sie an einen Ort zu bringen; wie ist mir allerdings schleierhaft.

**Anja:** Wir müssen die Atome einer Kraft aussetzen, die sie zwingt, sich an einem Ort aufzuhalten. Bei der Laserkühlung hatten wir mit dem Doppler-Effekt eine geschwindigkeitsabhängige Kraft, denn sie ist mit der Geschwindigkeit des Atoms verknüpft. Waren die Atome langsam genug, dann wurden sie von ihr nicht mehr beeinträchtigt. Jetzt hätten wir noch gerne eine ortsabhängige Kraft, die also bewirkt, dass die Atome, die an dem ``falschen`` Ort sind, eine stärkere Kraft spüren, als die, die sich an dem gewünschten Ort befinden. Das kann man mit einer magneto-optischen Falle, kurz MOT, erreichen.

**Sara:** Oh je, dieser Name klingt ja reichlich kompliziert, aber er scheint was mit einem Magneten zu tun haben. Bei ``optisch`` muss ich immer an den Optiker denken, aber das hilft wohl nicht weiter...Wenigstens das Wort ``Falle`` ist mir klar, das klingt ja richtig heimtückisch.

**Anja:** Du liegst nicht ganz falsch mit deiner Vermutung. Bei dieser Falle wird ein Magnetfeld mit einem Lichtfeld gekoppelt, daher die Begriffe magneto- und optisch. Jetzt weißt du ja schon, dass unsere starken Laser durch den Strahlungsdruck eine Kraft auf die Atome ausüben können – erinnere dich an das Auto und die Tennisbälle. Hier hatten wir ja von allen Seiten Laserstrahlen – die brauchen wir jetzt wieder. Unser Ziel ist es, die Atome in die Mitte der Zelle zu bringen, das heißt auf ein Atom, das weiter rechts oder links ist, soll der rechte oder linke Laser eine stärkere Kraft ausüben, damit es sich zur Mitte hin bewegt.

**Sara:** Das ist ja schön und gut, aber wozu ist dann das Magnetfeld nötig? Das erscheint mir ja vollkommen unnötig.

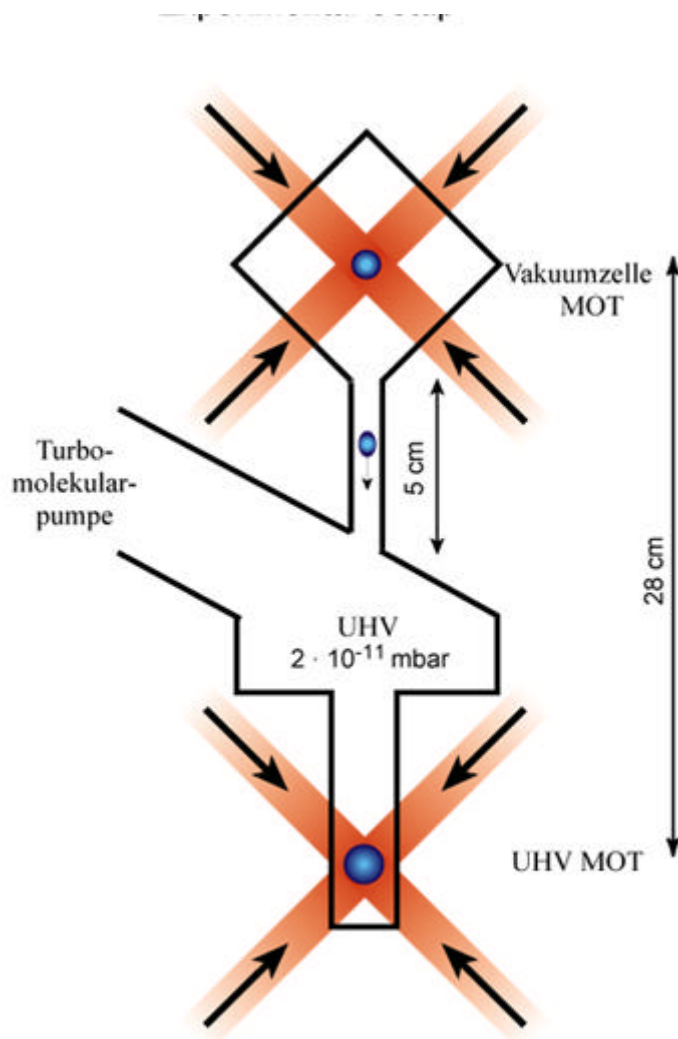
**Anja:** Vereinfacht kann man sagen, dass es dazu dient, die Energiestufen des Atoms so zu beeinflussen, dass die Laser mit ihrer Frequenz oben genannte Wirkung auf das Atom haben, wenn es sich an dem ``falschen`` Ort befindet. Wir haben bei der Kühlung bereits gelernt, dass Atome nur bestimmte Energien aufnehmen und die Farbe der Laser einen Zusammenhang zur Energie der Photonen hat. In diesem Fall ist das Magnetfeld nicht dazu da, eine Kraft auf die Atome auszuüben.

**Sara:** Das ist ja faszinierend, dass das möglich ist. Da steckt aber sicher noch tiefere Physik dahinter, aber ich glaube, mir reicht diese Erklärung. Nur erscheint mir das System immer aufwendiger und komplizierter: erst diese vielen Laserstrahlen zum Kühlen, dann jetzt noch die für diese Falle, dazu das Magnetfeld und dann noch das Verdampfungskühlen... Wie soll man denn das auf die Reihe bekommen?

**Anja:** Da kann ich dich beruhigen. Man hat da eine ganz besonders wichtige Tatsache herausgefunden; ohne sie wäre die Bose-Einstein Kondensation nicht möglich. Die Laserstrahlen, die man für das Kühlen benötigt, kann man auch für die magneto-optische Falle verwenden. Das heißt, dass Kühlen und Fangen an einem Ort stattfindet. Die gekühlten Atome werden also gleichzeitig in das Zentrum der Vakuumzelle gebracht.

**Sara:** Da haben die Wissenschaftler ja noch mal Glück gehabt! Man hat also jetzt einen Haufen Atome im Zentrum der Falle, die sehr kalt sind – aber noch nicht kalt genug, oder? Oder hat das Verdampfungskühlen auch schon eingesetzt?

**Anja:** Nein, nein, nur keine Hektik, so weit sind wir in unserem chronologischen Ablauf noch nicht. Das Problem ist, dass der Haufen Atome, wie du es nennst, noch zu gering ist, es sind erst  $10^7$ , wir brauchen aber  $10^9$ . Da liegt die Grenze unseres kombinierten Systems. Die Schwierigkeit ist auch, dass um die kalten gefangenen Atome herum noch sehr viele heiße umherfliegen, die zum Teil bewirken, dass so manch kaltes Atom aus der Falle heraus fliegt. Diese



Störfaktoren wollen wir aus der Falle entfernen. Wir haben also noch nicht genügend Atome und wollen die heißen verschwinden lassen. Deswegen lassen wir jetzt den Knäuel kalte Atome durch ein ganz schmales Rohr, 5 mm Durchmesser und 5 cm lang, in eine weitere Glaszelle fallen, in der wieder eine magneto-optische Falle wirkt. Die heißen Atome, die noch sehr schnell in dem oberen Teil der Glaszelle umherflitzen, finden diese schmale Öffnung nicht und bleiben also oben. Nun sind wir die erst einmal los.

**Sara:** Das ist ja wirklich sehr geschickt! Aber nützen die Atome nicht die Chance und entweichen, wenn sie außerhalb der Falle sind und dieses Röhrchen durchqueren? Oder halt mal, kalt wie die jetzt sind, können sie sich ja kaum mehr bewegen, nicht wahr? Da haben sie ja praktisch keine Fluchtmöglichkeit.

**Anja:** Da hast du ganz Recht. Sie fliegen wie ein Ball zum Boden, der durch die Gravitation beschleunigt wird. Wenn man diesen Vorgang nun mehrmals wiederholt, kann man erreichen, dass die Atome sich in der unteren Vakuumpzelle ansammeln, bis man die  $10^9$  erreicht hat. Man sagt deshalb, dass man eine Doppel-MOT hat, weil in der oberen und unteren Vakuumpzelle je eine magneto-optische Falle ist.

**Sara:** Heißt das jetzt, dass unser einziges Problem noch darin besteht, die Atome noch weiter abzukühlen? Dann kommt wohl jetzt das Verdampfungskühlen!

**Anja:** Es wäre schön, wenn das jetzt schon so weit wäre, aber wir haben da noch ein kleines Problem: die magneto-optische Falle schafft es noch nicht, die Atome so dicht zusammenzupressen, wie wir das brauchen. Dadurch, dass ständig Photonen emittiert werden, findet eine leichte Abstoßung zwischen den Atomen statt. Deshalb müssen nun bei unserer neuen Falle die Laser abgeschaltet werden, damit dieser Absorptions- und Emissionszyklus endlich aufhört. Außerdem muss

dieser neue Fallentyp die Atome auf engeren Raum zusammenbringen. Aber dieses Mal ist es ganz einfach: es wird ein magnetisches Feld außerhalb der Vakuumzelle mit zwei stromdurchflossenen Spulen erzeugt, das so auf die Atome wirkt, dass sie auf noch engeren Raum zusammengepresst werden. Du hast vielleicht schon mal davon gehört, dass sich um jeden stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld aufbaut.

**Sara:** Nur so vage, ich glaube das kommt erst noch im Physikunterricht. Ist das Magnetfeld dann aus, wenn kein Strom mehr fließt? Das wäre ja praktisch, dann könnte man es an- und ausschalten.

**Anja:** Genau, das ist ein Vorteil – gut überlegt! Du musst aber noch wissen, dass du dir jedes Atom wie einen winzigen Stabmagneten vorstellen kannst, der sich im Magnetfeld ausrichtet. Aber jetzt sind wir wirklich fast am Ende, es kommt nur noch das Verdampfungskühlen, aber das kennst du ja schon.

**Sara:** Ja, zum Glück, denn nun bin ich nicht mehr aufnahmefähig, aber dafür weiß ich jetzt viel mehr über den Ablauf des Experimentes.

[\[BEC-Home\]](#) [\[Bose\]](#) [\[Einstein\]](#) [\[1924-Story\]](#) [\[1995-Story\]](#) [\[Kondensat\]](#)