

Laser-Spektroskopie

Vitaly Wirthl, ehemaliger Teilnehmer der PhysikOlympiade in Deutschland und aktuell Doktorand am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching

Vortrag im Rahmen der Online-Vortragsreihe „Was macht eigentlich ...?“ am 06.09.2021

Abstract zum Vortrag

Das Wasserstoffatom als Test für fundamentale Physik und Quelle von Naturkonstanten.

Das Wasserstoffatom besteht nur aus zwei Teilchen und eignet sich daher bestens, um die fundamentalen Naturgesetze zu erforschen. Im Jahr 1947 hat man im Wasserstoffatom den winzigen Beitrag von Vakuumfluktuationen erstmals entdeckt („Lamb-Verschiebung“). Dies war der „Startschuss“ für die Entwicklung der Quantenelektrodynamik, mit deren Hilfe man die verschiedenen Beiträge der Vakuumfluktuationen im Wasserstoffatom berechnen kann. Da wir wissen, dass die fundamentale Physik viele ungelöste Rätsel hat (z.B. dunkle Materie, dunkle Energie, Materie-Antimaterie-Asymmetrie), ist es wichtig, unser fundamentales Naturverständnis immer genauer zu testen. Zudem kann man aus dem Vergleich von Theorie und Experiment vom Wasserstoffatom die Naturkonstanten extrahieren, wie die Rydberg-Konstante oder den Protonenradius. Das Elektron „spürt“ nämlich auch einen winzigen Energie-Beitrag von der Größe des Protons, da es eine kleine Aufenthalts-Wahrscheinlichkeit im Kern aufweist. Das faszinierende ist, dass man genauso bei Vakuumfluktuationen diesen winzigen Energie-Beitrag genau berechnen kann.

Präzisionsspektroskopie von Wasserstoff.

Um die Energieniveaus im Wasserstoffatom zu messen, brauchen wir zunächst bestimmtes Laserlicht für den entsprechenden Übergang (z.B. 410nm für den Übergang zwischen den Niveaus mit den Hauptquantenzahlen $n=2$ und $n=6$). Mit dem Laserlicht leuchten wir auf die Atome und messen, wie viele Atome angeregt werden, wenn wir die Frequenz vom Laserlicht „durchstimmen“ (also leicht verändern) und so die Resonanzlinie messen. Die Zentral-Frequenz der Resonanzlinie entspricht mit der Umrechnung der Planckschen Konstante h der Energiedifferenz zwischen den Niveaus. Dabei muss man verschiedene Effekte berücksichtigen, die die Resonanzlinie verschieben, wie z.B. den Doppler-Effekt. Um die Doppler-Verschiebung zu minimieren kühlen wir die Atome mit einem Flüssig-Helium-Kryostaten auf eine Temperatur von ca. 5K und richten den Laserstrahl so gut wie möglich unter einem Winkel von 90 Grad zu dem Atomstrahl aus. Außerdem muss für die Präzisionsspektroskopie zum einen das Laserlicht sehr präzise sein („schmalbandiger Laser“), und zum anderen muss man die sehr hohe Laserfrequenz genau messen können. Die Methode zur Messung der Laserlicht-Frequenz hat zur Entwicklung des Frequenzkamms geführt, für den T. W. Hänsch im Jahr 2005 den Nobelpreis bekam.