



Doctoral Thesis

A laser based mercury co-magnetometer for the neutron electric dipole moment search

Author(s):

Fertl, Martin

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010049897> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NR. 21638

A laser based mercury co-magnetometer for
the neutron electric dipole moment search

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH

vorgelegt von

Martin Christoph Fertl

Diplom-Physiker Univ., Technische Universität München

geboren am 01.02.1984

Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Klaus Kirch

Prof. Dr. Antoine Weis

2013

Abstract

This work introduces a laser-based ^{199}Hg co-magnetometer into the experiment searching for a permanent neutron electric dipole moment (nEDM) at the Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland.

The work discusses in detail the advantages of an ultraviolet (UV) laser light source for the ^{199}Hg co-magnetometer in comparison to the ^{204}Hg discharge bulbs used so far.

A UV laser system has been commissioned and frequency stabilized with the necessary accuracy. The Doppler- and frequency-modulation-free technique of *Sub-Doppler Dichroic Atomic Vapor Laser Lock* used to frequency stabilize the UV laser light and the experimental setup are described and discussed in detail.

The laser-based ^{199}Hg co-magnetometer showed a more than five times increased signal-to-noise-ratio in a direct comparison measurement. The laser-based ^{199}Hg co-magnetometer satisfies the sensitivity requirements for the next generation nEDM experiment (n2EDM).

Two models for the signal generation in the ^{199}Hg co-magnetometer are developed to explain the increased magnetometry signal. These models are used to identify possibilities for increasing the magnetometer sensitivity even further.

A detailed model of the optical pumping process used to spin polarize the ^{199}Hg atoms in the nEDM setup is presented. It turns out that the achievable spin polarization seems not to be limited by light-induced depolarization of ^{199}Hg atoms.

The measurement of paramagnetic rotation as an alternative to light absorption to generate the ^{199}Hg co-magnetometry signal in the nEDM geometry is discussed. Furthermore, possible benefits of using several even Hg isotopes on the magnetometry signal decay time are considered.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Realisierung eines laserbasierten ^{199}Hg Komagnetometers für die Suche nach einem permanenten elektrischen Dipolmoment des Neutrons (nEDM) am Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz.

Die Vorteile eines ultravioletten (UV) Lasers gegenüber den bisher als Lichtquelle verwendeten ^{204}Hg Entladungslampen werden detailliert diskutiert.

Ein UV Lasersystem wurde in Betrieb genommen und dessen Lichtfrequenz mit der für das ^{199}Hg Komagnetometer erforderlichen Genauigkeit stabilisiert. Die Frequenzstabilisierung erfolgt mit einer Doppler-freien Methode, ohne zusätzliche Frequenzmodulation des Lichts. Das Konzept und die experimentelle Umsetzung werden im Detail beschrieben und erklärt.

In einer ersten, direkten Vergleichsmessung zeigte das laserbasierte ^{199}Hg Komagnetometer ein um mehr als das Fünffache höheres Signal-Rausch-Verhältnis. Es konnte gezeigt werden, dass das laserbasierte ^{199}Hg Komagnetometer die Sensitivitätsanforderungen für ein nEDM Experiment der nächsten Generation (n2EDM) erfüllt.

Zwei Modelle der Signalentstehung im ^{199}Hg Komagnetometer werden ausgearbeitet, um das vergrößerte Messsignal zu erklären. Aus diesen Modellen werden zusätzliche Möglichkeiten abgeleitet, um die Magnetometersensitivität in Zukunft weiter zu erhöhen.

Der Aufbau der Spinpolarisation der ^{199}Hg Atome erfolgt durch optisches Pumpen. Der Vorgang wird für die Anordnung des nEDM Experiments modelliert. Dabei stellt sich heraus, dass die erreichbare Gleichgewichtspolarisation nicht durch lichtinduzierte Depolarisation beschränkt zu sein scheint.

Der Effekt der paramagnetischen Drehung wird als Alternative zur Messung von Lichtabsorption zur Erzeugung des Magnetometersignals diskutiert. Weiterhin wird die Möglichkeit diskutiert durch Zugabe von Hg Isotopen mit gerader Nukleonenzahl die charakteristische Signalzerfallszeit zu verlängern.