Institute for Experimental Quantum Metrology

Medizinische Hochschule Hannover

Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin

Leibniz Universität Hannover

Freiwilliges Jahr in der Wissenschaft am QUEST-Institut

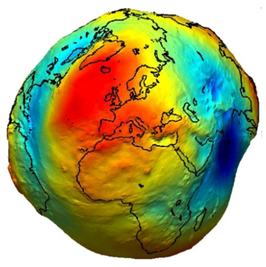
Michel Wolf

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Motivation

Persönlich

- zur Orientierung zwischen Schule und Studium
- etwas praktische Erfahrung sammeln vor dem Studium
- Einblicke in ein Forschungsinstitut erhalten (Etwas das bis zum Bachelor nicht passieren wird)
- Vorstellung der Arbeit eines Physikers mit Realität abgleichen
- arbeiten in einer Gruppe



Geoid

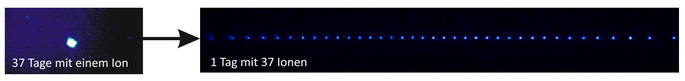
QUEST

Herausforderung:

- Einzel-Ionen-Uhren besitzen sehr gute Unsicherheiten von bis zu 10^{-18}, besitzen aber eine schlechte Kurzzeitstabilität. Um diese Unsicherheiten von bis zu 10^{-18} zu erreichen, braucht es lange Mittelungszeiten im Bereich von mehreren Tagen bis Wochen.
- Der fundamentale Zusammenhang zwischen der Unsicherheit Sigma, der Teilchenanzahl N und der Mittelungszeit Tau ist folgender: $\sigma \propto \frac{1}{\sqrt{N\tau}}$

Ansatz:

- Bau einer Multi-Ionen-Uhr um die Teilchenanzahl zu erhöhen und somit die Mittelungszeit verkürzen zu können
- außerdem soll die Ungenauigkeit auf 10^{-19} erhöht werden



Wozu braucht man noch genauere Uhren?

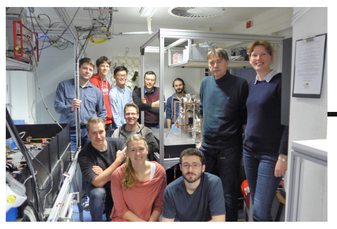
- Anwendung in der Gravitationsgeodesie (Vermessung des Gravitationspotenzials)
- genauere Navigationssysteme
- Tests fundamentaler Größen oder Theorien (z.B: Relativitätstheorie)

Quantenoptiklabor Essentials...

...zum Ionenfangen

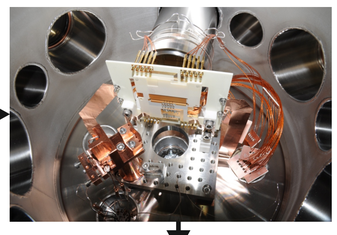
Physiker:

- Post-Docs, Doktoranden, Masterstudenten, FWJler



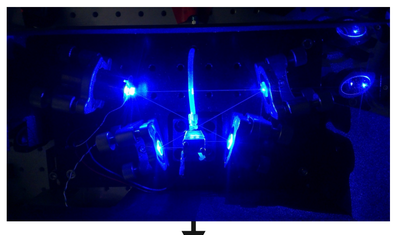
Vakuumkammer:

- zum Abschirmen der Atome/ Ionen von der Umgebung



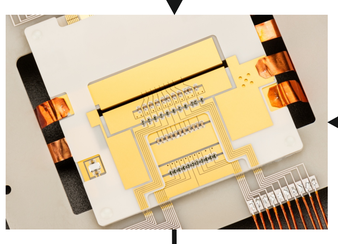
Laser:

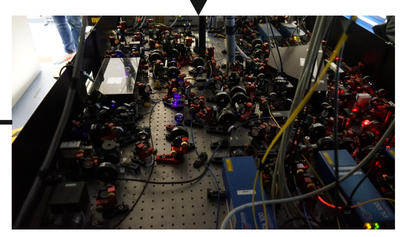
- zum Ionisieren der Atome
- zum Kühlen der Ionen
- zur Interaktion mit den Ionen



Ionenfalle:

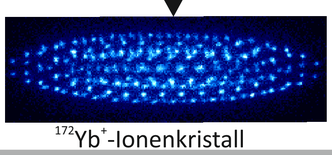
- zum Fangen und Speichern der Ionen
- durch RF- und Gleichspannungspotential





EMCCD-Kamera:

- zur Detektion der von den Ionen emittierten Photonen



$^{172}Yb^{+}$-Ionenkristall

Optiktisch:

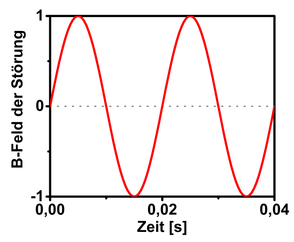
- zur Präparation der Laserstrahlen

Projekt Beispiele

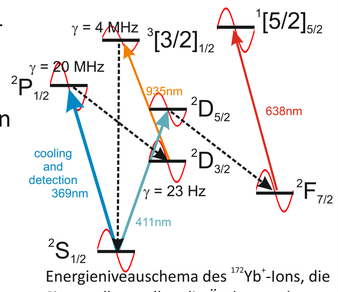
Feedforward- Magnetfeld Kompensation

Problem:

- am Ort des Ions gibt es magnetische Störfelder mit der Frequenz des Stromnetzes und deren Harmonischen
- die Netzfrequenz ist nicht konstant
- (DC-Felder)



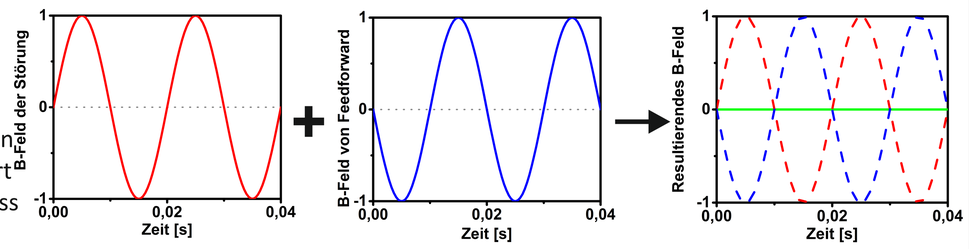
- Energieniveaus des $^{172}Yb^{+}$-Ions besitzen verschieden starke Magnetfeldabhängigkeiten
- die Energiedifferenzen zwischen verschiedenen Niveaus ändern sich periodisch
- die Laser sind nur noch teilweise Resonant



Energieniveauschema des $^{172}Yb^{+}$-Ions, die Sinuswellen stellen die Änderung der Energieniveaus dar

Idee:

- die Netzspannung als Signal benutzen
- Phase und Amplitude regulieren
- ein der Störung entgegengerichtetes Signal am Ort des Ions erzeugen, sodass sich die Felder zu Null addieren



Realisierung:

1. Schaltplan erstellen

- Netzspannung in ein Signal umwandeln
- Frequenz multiplizieren um Harmonische zu erhalten
- Phase und Amplitude Regelschaltkreis

2. PCB entwerfen am PC

- alle Bauteile auf der Platine platzieren
- jedes Bauteil nach Vorgaben des Schaltplan verbinden
- übrigen Leiterbahnen „routen“ (z.B.: Versorgungsspannung)

3. Platinenfertigung

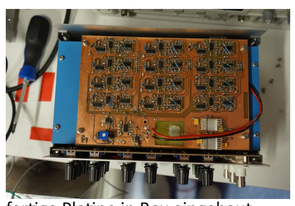
- Platinenlayout auf Leiterplatte übertragen
- Platine im Säurebad ätzen
- Imperfektionen vom Ätzen verbssern
- alle Bauteile auf ihrem vorgesehenen Platz verlöten

4. Fehler beheben

- noch mehr Imperfektionen vom Ätzen verbessern
- Fehler vom Schaltplan beheben
- Fehler vom Layout beheben
- alle Funktionen der Platine testen

5. in Experiment implementieren

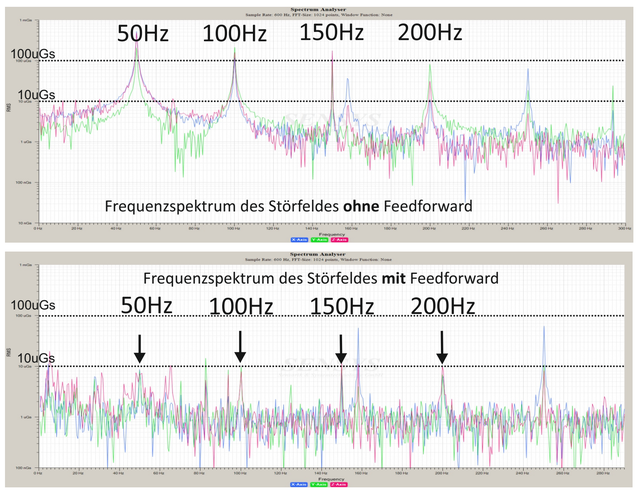
- Platine in solide Box einbauen
- Störungen mit anderen Geräten ausschließen
- Funktion testen
- benutzen:)



fertige Platine in Box eingebaut

Ergebnis:

- ohne Feedforward sieht man auf dem Frequenzspektrum des Magnetfeldrauschens Amplituden von bis zu 1mG
- mit Feedforward können diese Amplituden um bis zu zwei Größenordnungen unterdrückt werden



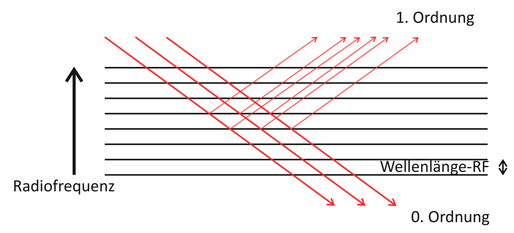
Doppelpass AOM (Akustooptischer Modulator)

AOM - Was ist das?

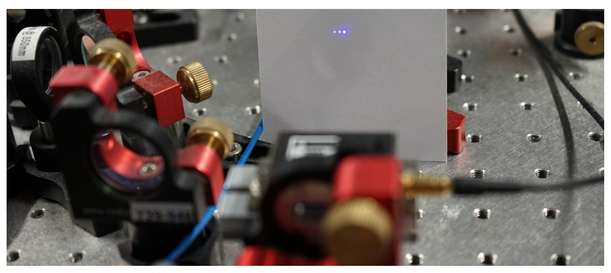
- Ein AOM bietet die Möglichkeit Laserstrahlen schnell an- und auszuschalten und die Frequenz eines Laserstrahls zu verstimmen.

Funktionsweise:

- Eine Radiofrequenz (RF)-Spannung überträgt mittels Piezoelement eine Schwingung in einen optisch transparenten Kristall. Die so erzeugten Schallwellen führen zu Dichteschwankungen im Kristall, an denen sich der Brechungsindex periodisch ändert. An diesem sich bewegenden optischen Gitter interferiert der Laserstrahl und die Frequenz der RF-Spannung wird zu der des Laser addiert (+1. Ordnung) bzw. subtrahiert (-1. Ordnung).



Funktionsweise AOM



AOM mit erzeugten Beugungsordnungen

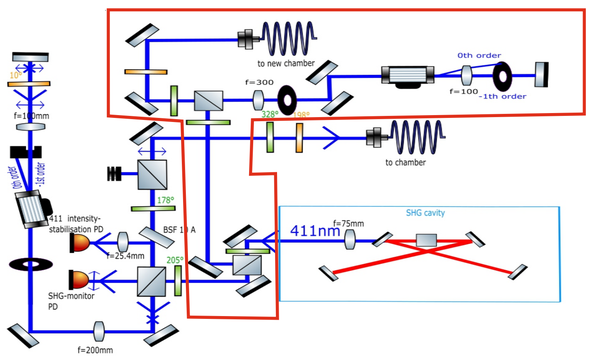
Wieso ein DOPPELPASS-Aufbau?

PROBLEM: Enstehende Beugungsordnungen treten bei Änderung der RF unter anderen Winkeln aus.

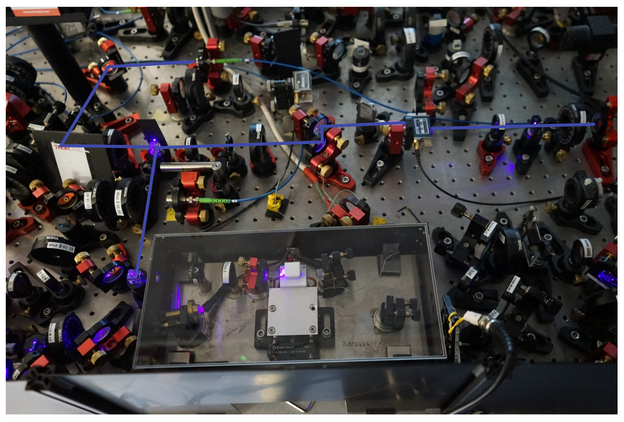
➔ Scannen mit Frequenzänderung ohne Nachjustage **nicht möglich**

ANSATZ: Durch doppelten Durchlauf des Strahles durch den AOM, wird die Winkeländerung bei Änderung der RF-Frequenz kompensiert.

➔ Scannen mit Frequenzänderung ohne Nachjustage **möglich**



Aufbau:



1. Durchgang:

- Strahl mit Strahlteiler zu AOM leiten
- Strahl in AOM fokussieren
- maximale Effizienz in gewünschter Beugungsordnung einstellen

2. Durchgang:

- unerwünschte Beugungsordnungen eliminieren
- Beugungsordnung in sich zurück reflektieren
- überlagerte Strahlen mit Strahlteiler trennen
- maximale Effizienz in gewünschter Beugungsordnung einstellen

Ergebnis: frequenzverstimmbarer Laser für einen Multi-Ionen-Uhren Aufbau

Zusammenfassung

Erkenntnisse:

- Auch Physiker kochen nur mit Wasser, wenn auch bei anderem Druck
- im Labor wird es nie langweilig

Was ich lernen durfte:

- Computerprogramme: Eagle zum Erstellen von Schaltplänen und Platinen; Origin zum Auswerten von Daten; Corel zum Erstellen von Postern; und vieles mehr
- Grundideen der Atomphysik und der Spektroskopie geladener Teilchen
- viele Hands-On Erfahrungen

Ausblick:

- FWJ hat bei der Konkretisierung meiner Studienwahl geholfen
- nach diesem Jahr Beginn eines Physikstudiums
- durfte viele neue Leute kennen lernen