

Experimental Techniques in Quantum Optics 2017-2018

PhD School in Experimental Physics – Class XXXIII

From Atoms to Submarines – Atomic Magnetometry and Its Application to Electromagnetic Induction Imaging

Dr Luca Marmugi

Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, United Kingdom

l.marmugi@ucl.ac.uk

Siena, 12/06/2018

In this lecture, we will provide an introduction to atomic magnetometry and its recent application to electromagnetic induction imaging. In the first part, the fundamental principles of atomic magnetometry will be outlined, as well as its most common experimental techniques. Particular attention will be dedicated to the design, implementation, and characterisation of radio-frequency atomic magnetometers. In the second part, the concept of magnetic induction tomography will be introduced, as opposed to conventional “passive” magnetometry. The recent demonstration of imaging with atomic magnetometers in electromagnetic induction configuration will be presented. Applications of the technique to numerous fields, from security screening to biomedical imaging, will be presented in detail.

Lecture plan

Part I

1. Introduction to Magnetometry

- Definition of magnetometry and its domains
- Overview of current technologies for measuring magnetic fields

2. Fundamentals of Atomic Magnetometers

- Overview of the operating principles
- Physics of atomic magnetometry
 - Atomic spins in external fields
 - Larmor precession
 - Faraday rotation
 - Sensitivity, bandwidth, and tunability
- Experimental techniques for atomic magnetometry
 - Optical pumping
 - Off-resonant probing
 - Polarimetry
 - Phase-sensitive detection

3. Radio-frequency Atomic Magnetometers – An Experimental Perspective

- Operational principles of radio-frequency atomic magnetometers
- Typical experimental setups
- Experimental characterisation of a radio-frequency atomic magnetometer

Part II

1. Passive versus Active Measurements

2. Magnetic Induction Tomography

- Principles of magnetic induction tomography
- Possible uses and applications of magnetic induction tomography

3. Electromagnetic Induction Imaging with Atomic Magnetometers

- Magnetic induction tomography-based detection and imaging
 - Examples of on-going experiments
- Examples of quantum imaging:
 - Security screening and surveillance
 - Non-destructive evaluation
 - Materials' characterisation
 - Biomedical imaging
- Advanced image analysis:
 - Inverse problem
 - Machine Learning-based localisation and classification

Tecniche Sperimentali in Ottica Quantistica 2017-2018

Scuola di Dottorato in Fisica sperimentale – Ciclo XXXIII

Dagli atomi ai sottomarini – Magnetometria atomica e sue applicazioni per imaging ad induzione elettromagnetica

Dr Luca Marmugi

Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, United Kingdom

l.marmugi@ucl.ac.uk

Siena, 12/06/2018

In questa lezione sarà fornita un'introduzione alla magnetometria atomica ed alla sua recente applicazione a imaging basato su induzione elettromagnetica. Nella prima parte saranno presentati i principi fondamentali della magnetometria atomica, insieme alle relative tecniche sperimentali più diffuse. Particolare attenzione sarà dedicata al disegno, alla realizzazione e alla caratterizzazione di magnetometri atomici a radio-frequenza. Nella seconda parte sarà introdotto il concetto di tomografia a induzione magnetica, opposto di magnetometria "passiva" più convenzionale. La recente dimostrazione sperimentale di imaging con magnetometri atomici in configurazione di imaging elettromagnetico sarà discussa. Applicazioni di questa tecnica in vari campi, dallo screening per la sicurezza all'imaging biomedico, saranno presentate in dettaglio.

Programma della lezione

Parte I

1. Introduzione alla magnetometria

- Definizione di magnetometria e dei suoi ambiti
- Panoramica delle tecnologie attuali per la misura di campi magnetici

2. Fondamenti di magnetometria atomica

- Principi fondamentali
- Fisica della magnetometria atomica
 - Spin atomici in campi esterni
 - Precessione di Larmor
 - Rotazione di Faraday
 - Sensibilità, banda e sintonizzabilità
- Tecniche sperimentali per magnetometria atomica
 - Pompaggio ottico
 - Sonde non risonanti
 - Polarimetria
 - Detezione in fase

3. Magnetometri atomici a radio-frequenza – Una visione sperimentale

- Principi di funzionamento dei magnetometri a radio-frequenza
- Apparatii sperimentali tipici
- Caratterizzazione sperimentale di magnetometri atomici a radio-frequenza

Parte II

1. Misure passive e attive

2. Tomografia a induzione magnetica

- Principi della tomografia a induzione magnetica
- Possibili usi e applicazioni della tomografia a induzione magnetica

3. Imaging ad induzione elettromagnetica con magnetometri atomici

- Uso di magnetometri atomici per misure basate su induzione elettromagnetica
- Detezione e imaging basati su tomografia a induzione
 - Esempi da esperimenti in corso
- Esempi di imaging quantistico
 - Screening per sicurezza e sorveglianza
 - Non-destructive evaluation
 - Caratterizzazione di materiali
 - Imaging biomedico
- Analisi avanzata delle immagini
 - Problema inverso
 - Localizzazione e classificazione con machine learning