

Design, construction and first commissioning of the ArDM detector

Doctoral Thesis

Author(s):

Epprecht, Lukas

Publication date:

2012

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009759662>

Rights / license:

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

Diss. ETH No. 20921

Design, construction and first commissioning of the ArDM detector

A dissertation submitted to

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Lukas Epprecht

Dipl. Phys. ETH

born May 1 1981

citizen of Zürich

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. André Rubbia, examiner
Prof. Dr. Rainer Wallny, co-examiner

2012

Abstract

With today's understanding of the Universe, a large quantity of non luminous matter is necessary to describe several cosmological effects. This so called Dark Matter (DM) is hunted, among others, with the Argon Dark Matter experiment (ArDM). ArDM aims at a direct detection of the nuclear recoil from a collision of a (hypothetical) DM particle with an argon nucleus.

ArDM is a liquid argon double phase time projection chamber (TPC) with calorimetric capabilities. The detector has a fiducial volume of about 800 l of highly purified liquid argon, combined with a charge readout system in the argon vapor above the liquid surface. Besides the detection of the ionization charge, ArDM also has a highly sensitive light readout system. It is capable of reading out single photoelectrons and, therefore, to quantify the emitted argon scintillation light from the interaction between an entering particle and the argon atoms. This allows to measure the recoil energy and to discriminate between electron and nuclear recoils, yielding a clue to the nature of the interacting particle and allowing to suppress background events.

The topic of this thesis is the design, construction and commissioning of the ArDM detector at CERN. It describes the development of the different sub-detectors and the technical and physics challenges faced in their construction.

Having a good knowledge of the electric drift field is important for the operation of a TPC. It has to be uniform and constant, with a known field strength, in order to be able to evaluate the drift distance from the primary interaction to the readout of the ionization electrons. The high voltage needed in ArDM to maintain the electric field over a drift distance of more than one meter is rather big and providing the source for this HV is a major challenge. Instead of a standard power supply, a Greinacher high voltage generator was developed. First results of a 210 stages Greinacher circuit, operated in liquid argon, are discussed.

Also essential for the operation of a cryogenic experiment are the facilities to keep the liquid gas at stable pressure and temperature. Different topics like the insulation vacuum and cooling of the experiment are described. For safety reasons, the experiment is built as a zero loss experiment, which means there is no argon nor other gas escaping from the closed system. For this purpose, two cryocoolers are installed and a constant liquefaction of the argon vapor has to be maintained.

An efficient operation of the TPC can only be achieved if the contamination of the liquid argon with electronegative molecules, like oxygen or water, is very well controlled and kept below one part per billion (1 ppb). For this reason, the detector material has to be cleaned of the above mentioned molecules. This calls for an initial evacuation of the setup for several months to reduce the outgassing of these molecules to an acceptable level. A detailed look on the outgassing properties of different materials is given in this work. Also, the active recirculation and purification of the liquid, and the argon vapor are discussed.

Because ArDM is aiming for the detection of very rare events, the control of the background is essential. To reduce the unwanted interactions of cosmic muons with the argon atoms, the experiment has to be installed in a low background environment. This was found in the underground laboratory of Canfranc, Spain (LSC). After several commissioning runs on the surface at CERN, the experiment was dismantled and the cryogenic facilities were moved to this underground laboratory. In this thesis, the installation and first results from the commissioning of the insulation vacuums and the cryogenic facilities are discussed.

Zusammenfassung

Nach heutiger Erkenntnis können gewisse kosmologische Beobachtungen nur erklärt werden, indem neben der bekannten Materie zusätzliche, unbekannte Materie vorhanden ist. Neben anderen Experimenten ist auch das Argon Dark Matter Experiment (ArDM) an der Suche nach dieser, so genannt Dunklen Materie (DM), beteiligt. ArDM zielt darauf ab, den Rückstoss eines Argon Nukleus, ausgelöst durch einen elastischen Stoss mit diesem (hypothetischen) Teilchen, zu messen.

ArDM ist eine Spurendriftkammer (Time Projection Chamber, kurz TPC) mit kalorimetrischen Eigenschaften. Das Detektormedium sind 800 l hochreines, flüssiges Argon. Die durch Ionisation des Argons frei werdenden Elektronen driften, den Feldlinien eines elektrischen Feldes folgend, zur Argonoberfläche und werden im Argongas ausgelesen. Neben dem Nachweis der Ionisationsladung hat ArDM auch einen empfindlichen Photonendetektor mit der Möglichkeit einzelne Photonen nach zu weisen. Damit können Rückstöße am Argonkern und an den Atomelektronen unterschieden werden, was es möglich macht, den Streupartner des Atoms zu identifizieren und ungewollte Signale (Hintergrund) heraus zu filtern.

Diese Doktorarbeit beschäftigt sich mit dem Design, der Konstruktion und der Inbetriebnahme von ArDM am CERN. Sie beschreibt die Entwicklung und die technischen, wie auch physikalischen Herausforderungen, bei der Konstruktion und Betreuung des Detektors.

Ein wichtiger Punkt beim Betrieb einer TPC ist die genaue Kenntnis des elektrischen Feldes. Es muss im gesamten Detektor eine gleichmässige, genau definierte, Feldstärke haben, damit der Vertex des Rückstosses exakt lokalisiert werden kann.

Damit das elektrische Feld des ArDM Detektors aufrechterhalten werden kann wurde ein Greinacher Hochspannungsgenerator entwickelt. Erste Resultate für den Betrieb einer 210-Stufen-Greinacherschaltung in flüssigem Argon sind in dieser Arbeit rapportiert.

Damit ein Tieftemperatur-Experiment betrieben werden kann, sind neben dem eigentlichen Detektor auch zusätzliche Betriebsanlagen für die Kryogenik nötig. Unterschiedliche Themen wie die Vakuumisolation und der Kühlvorgang werden in dieser Arbeit behandelt. Dazu ist auch die Weiterentwicklung, vom ersten Prototyp zu einem komplett geschlossenen Argonkreislauf, für den Betrieb in einem Untergrund-Labor beschrieben.

Damit eine Flüssigargon-TPC effizient funktioniert ist es wichtig, dass das Argon nicht mit elektronegativen Molekülen wie Sauerstoff (O_2) und Wasser (H_2O) verunreinigt ist. Dazu sind Filter und eine konstante Umwälzung des Detektor-Mediums nötig. Deshalb muss vor dem eigentlichen Betrieb der Detektor über längere Zeit evakuiert werden. Mögliche Verunreinigungen im Detektor-Material haben Zeit um aus zu gasen und können abgepumpt werden.

Die vorliegende Doktorarbeit gibt einen detaillierten Einblick in die Ausgaseigenschaften der unterschiedlichen Detektormaterialien sowie in die Reinigung des flüssigen, wie auch gasförmigen Argons. Da ArDM sehr seltene Ereignisse nachweisen will, muss die Hintergrundstrahlung (z.B. Myonen) minimiert werden. Dazu wurde das Experiment im Untergrund-Labor von Canfranc (LSC) in den spanischen Pyrenäen installiert. Die Installation der Kryogenik und erste Erkenntnisse zu derer Inbetriebnahme in seiner neuen Umgebung sind in dieser Doktorarbeit erklärt.