

Diss. ETH No. 20966

# Measurement of the Electronic Recoil Contamination and Development of the Control System for the ArDM Experiment

A dissertation submitted to

**ETH Zurich**

for the degree of

**Doctor of Sciences**

presented by

**Ursina Lucretia Degunda**

Dipl. Phys. ETH

born 18.01.1984

citizen of  
Tujetsch GR

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. André Rubbia, examiner

Prof. Dr. Klaus Kirch, co-examiner

2013

# Abstract

The Standard Model of particle physics describes very accurately the visible matter surrounding us. However, astrophysical observations indicate the existence of additional invisible matter, commonly known as dark matter, which can not be explained by the Standard Model of particle physics. Dark matter is supposed to consist of massive, non-baryonic particles forming halos around galaxies. Promising candidates for these dark matter particles are the so-called WIMPs (weakly interacting massive particles). Although numerous experiments are searching for dark matter, a conclusive detection of dark matter particles is still missing.

The ArDM (Argon Dark Matter) experiment aims at the direct detection of dark matter using 850 kg of liquid argon as target. WIMPs are assumed to interact with ordinary matter by elastic scattering on the nuclei, causing a recoil of the nuclei. The goal of the ArDM experiment is to measure the recoil energies of the target nuclei. The recoil of the argon nuclei leads to ionisation and excitation of the argon atoms and thus produces free electrons and scintillation light. The design of the ArDM detector allows to detect both signals, the ionisation charge and the scintillation light, simultaneously.

Due to the small WIMP-nucleon cross section a good shielding from cosmic muons is essential for direct dark matter detection experiments. Thus, the ArDM experiment will be operated in the Canfranc Underground Laboratory in the Pyrenees. Underground operation necessitates a control system for the ArDM experiment, which monitors and regulates actively the different subsystems of the experiment. The ArDM control system is based on a programmable logic controller (PLC) and allows for process control. The first part of this work describes the development, installation and commissioning of this control system. The ArDM control system monitors all the pressures, temperatures and liquid argon levels in the ArDM detector and its cryogenic system. It also regulates the vacuum system, the cooling of the liquid argon, the argon purification and the power supply of the high voltage generator. In February 2012 the ArDM control system has been installed in the Canfranc Underground Laboratory, together with the cryogenic system of ArDM. Since then it is operated remotely without any difficulty.

The second part of this work focusses on the analysis of the scintillation light signals. The scintillation light of liquid argon is emitted by two excited molecular states with lifetimes of 7 ns and 1.6  $\mu$ s, respectively [1]. The significant difference in lifetime allows to separate the two components of the scintillation light produced by the two excited molecular states. The relative intensities of these two components depend on the interacting particle and thus allow to distinguish between electronic recoil background from  $\beta$  or  $\gamma$  radiation and nuclear recoil signals from neutrons or WIMPs using pulse shape discrimination. In this work the electronic recoil contamination of nuclear recoil events, i.e. the probability of incorrectly identifying an electronic recoil event as a nuclear recoil event, is determined by applying pulse shape discrimination on data recorded with the light readout system of the ArDM detector, while the detector

was irradiated by  $\gamma$ s emitted by a  $^{22}\text{Na}$  source. The measured electronic recoil contamination is  $(9.8 \pm 4.9) \times 10^{-5}$  for events with 59 – 97 detected photoelectrons (p.e.) and  $(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-3}$  for events with 36 – 59 detected p.e.. A Monte Carlo simulation of the fraction of electronic recoil events, which are misidentified due to photoelectron statistics, allows to estimate the rejection power for  $\beta$  and  $\gamma$  background events, which can be achieved by pulse shape discrimination for dark matter runs in the Canfranc Underground Laboratory. For a light collection yield of 2.8 p.e. per keV of electronic-equivalent recoil energy (keVee) a rejection power of  $(9.5 \pm 0.3) \times 10^{-5}$  is expected for events with a nuclear recoil energy of 30 keV.

# Zusammenfassung

Das Standardmodell der Teilchenphysik vermag die sichtbare Materie, die uns umgibt, sehr genau zu beschreiben. Astrophysikalische Beobachtungen deuten jedoch auf die Existenz von zusätzlicher, unsichtbarer Materie hin, die nicht mit dem Standardmodell erklärt werden kann. Diese unsichtbare Materie wird Dunkle Materie genannt. Dunkle Materie besteht vermutlich aus massereichen, nicht baryonischen Teilchen, die Halos um Galaxien bilden. Vielversprechende Kandidaten für diese Teilchen sind die sogenannten WIMPs (weakly interacting massive particles). Obwohl zahlreiche Experimente nach den Teilchen suchen, die die Dunkle Materie bilden, ist es noch nicht gelungen, diese eindeutig nachzuweisen.

Das ArDM (Argon Dark Matter) Experiment nutzt 850 kg flüssiges Argon als Target zum direkten Nachweis von Dunkler Materie. Es wird angenommen, dass WIMPs mit gewöhnlicher Materie wechselwirken, indem sie elastisch an den Kernen streuen und dabei Rückstossenergie an die Kerne abgeben. Der Rückstoss der Argonkerne führt zu Ionisation und Anregung der Argonatome und erzeugt so freie Elektronen und Szintillationslicht. Der Aufbau des ArDM Detektors erlaubt es, beide Signale, die Ionisationsladung und das Szintillationslicht, gleichzeitig zu messen.

Bedingt durch den kleinen WIMP-Nukleon-Wirkungsquerschnitt ist eine gute Abschirmung der kosmischen Myonen unerlässlich für Experimente zum direkten Nachweis von Dunkler Materie. Das ArDM Experiment wird deshalb im Untergrundlabor von Canfranc in den Pyrenäen betrieben werden. Dazu benötigt das ArDM Experiment ein Kontrollsystem, das die verschiedenen Teilsysteme des Experiments überwacht und aktiv reguliert. Das ArDM Kontrollsystem basiert auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und ermöglicht eine prozessbasierte Steuerung des Experiments. Der erste Teil dieser Dissertation beschreibt die Entwicklung, Installation und Inbetriebnahme des Kontrollsystems, welches nicht nur Drücke, Temperaturen und Flüssigkeitsniveaus im Experiment überwacht, sondern auch das Vakuumsystem, die Kühlung des flüssigen Argons, die Reinigung des Argons und die Spannungsversorgung des Hochspannungsgenerators steuert. Zusammen mit dem kryogenischen System des ArDM Experiments wurde das Kontrollsystem im Februar 2012 im Untergrundlabor von Canfranc installiert. Seither wird es vom CERN aus fernbedient und funktioniert einwandfrei.

Der zweite Teil dieser Arbeit ist der Analyse der Signale des Szintillationslichts gewidmet. Das Szintillationslicht von flüssigem Argon wird von zwei verschiedenen Molekülzuständen mit einer Lebensdauer von 7 ns und 1.6  $\mu$ s emittiert [1]. Da sich die beiden Molekülzustände in der Lebensdauer erheblich unterscheiden, können die von ihnen erzeugten Komponenten des Szintillationslichts unterschieden werden. Das Verhältnis der Intensitäten der beiden Komponenten hängt von der Art des Teilchens, das im Detektor wechselwirkt, ab. Dies macht es möglich, mittels der Pulsform des Szintillationssignals zwischen Elektronenrückstößen von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Hintergrundstrahlung und Kernrückstößen, verursacht durch Neutronen oder WIMPs, zu un-

terscheiden (Pulse Shape Discrimination). In dieser Dissertation wird die Elektronenrückstoss-Kontamination (electronic recoil contamination) von Kernrückstoss-Ereignissen, d.h. die Wahrscheinlichkeit ein Elektronenrückstoss-Ereignis fälschlicherweise als Kernrückstoss-Ereignis zu identifizieren, bestimmt. Dazu wird die Methode der Pulse Shape Discrimination auf Daten angewandt, die mit dem Lichtauslesesystem des ArDM Detektors aufgezeichnet wurden, während der Detektor mit  $\gamma$ s einer  $^{22}\text{Na}$ -Quelle bestrahlt wurde. Die gemessene Elektronenrückstoss-Kontamination ist  $(9.8 \pm 4.9) \times 10^{-5}$  für Ereignisse mit 59 – 97 detektierten Photoelektronen (p.e.) und  $(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-3}$  für Ereignisse mit 36 – 59 detektierten Photoelektronen. Mithilfe einer Monte-Carlo-Simulation des Anteils der Elektronenrückstoss-Ereignisse, die aufgrund der Photoelektronstatistik fehlidentifiziert werden, kann die Unterdrückung der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Hintergrundstrahlung abgeschätzt werden, welche bei Betrieb des Experiments im Untergrundlabor in Canfranc erreicht werden kann. Die Simulation zeigt, dass bei einer Lichtausbeute von 2.8 p.e./keVee (p.e. per keV of electronic-equivalent recoil energy) für Ereignisse, bei denen eine Rückstossenergie von 30 keV auf den Argonkern übertragen wird, eine Unterdrückung von  $(9.5 \pm 0.3) \times 10^{-5}$  erwartet werden kann.