



Doctoral Thesis

Proof of concept for the direct WIMP search with ArDM and analysis of its first data

Author(s):

Nguyen, Khoi Nguyen

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010616022> →

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 NO. 23204

**Proof of concept for the direct WIMP
search with ArDM
and
analysis of its first data**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZÜRICH

(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

Khoi Nguyen Nguyen

Diplom-Physiker, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

born on 03.11.1984

citizen of Vietnam

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. André Rubbia, examiner

Prof. Dr. Günther Dissertori, co-examiner

2016

Abstract

The Standard Model has been very successful in describing the world of elementary particles. However, a large portion of the universe mass, which is believed to be constituted of dark matter, cannot be explained with the standard model. The so-called **W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**articles (WIMPs) are the leading candidates for dark matter.

There are a lot of pieces of cosmological evidence of the existence of dark matter, among others, from the empirical observations of the rotational velocity of stars in galaxy disks, the velocity of galaxies in galaxy clusters, or from the analysis of colliding galaxy clusters (the Bullet cluster). A direct proof of the existence of dark matter, i.e. a direct observation of dark matter (interaction) in laboratory, despite numerous efforts, has not been delivered yet.

The **A**rgon **D**ark **M**atter experiment (ArDM) is the first ton-scale liquid argon experiment aiming at direct search for dark matter. It is currently still in the R&D phase and designed to use both liquid and gaseous argon as detection medium (the so-called *double phase* detector). Its working principle is based on charge produced in liquid argon and scintillation light generated in both liquid and gaseous argon. The large so-called fiducial volume¹ renders the suppression of neutron background, the most difficult background to reject, using multiple scattering possible.

Data taken with and without calibration sources (^{57}Co , ^{83}Kr) in liquid argon were analyzed. The mean light yield was determined to be 1.10 ± 0.01 pe/keVee, the activity of ^{39}Ar was estimated at 0.94 ± 0.07 Bq/kg. A Monte Carlo (MC) simulation software was developed to understand the response of ArDM. The tuning of the MC was performed using the aforementioned liquid argon data. The MC can explain the internal and external γ -background. The background in WIMP signal region caused by the internal γ -backgrounds from the detector components and the β -background emitted by ^{39}Ar was studied. Based on the contamination values of the detector component materials obtained from screening, an irreducible neutron rate of 0.49/day in a fiducial volume corresponding to 294 kg liquid argon was expected based on the MC simulation. The irreducible neutron contribution from the rather unreplaceable detector components (the stainless steel dewar and top flange) was estimated at 0.05 n/day in the fiducial volume.

¹The region of interest in which signals are searched for.

Zusammenfassung

Das Standardmodell hat sich durch treffende, hervorragend präzise Vorhersagen für experimentelle Beobachtungen in der Elementarteilchenphysik ausgezeichnet, kann jedoch das Rätsel der dunklen Materie, die einen Grossteil der Masse des Universums ausmacht, nicht lösen. Trotz einer Anzahl von kosmologischen Beobachtungen – zum Beispiel die Rotationsgeschwindigkeit von Sternen in Galaxienscheiben, die Galaxiengeschwindigkeit in Galaxienhaufen, oder die Analyse aufeinander prallender zweier Galaxienhaufen (Bullet cluster) –, die zu fast universellem Einverständnis für die Existenz dunkler Materie führen, bleibt bis dato ein direkter Nachweis ihrer Existenz in Laboratorien aus. Die sogenannten WIMPs (**W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**articles) stellen eine Klasse vielversprechender Kandidaten für dunkle Materie dar.

Es existieren viele Experimente, die mit verschiedenen Detektionstechniken arbeiten, beruhend auf einer oder einer Kombination der folgenden in Wechselwirkungen zwischen WIMPs und dem Detektionsmedium generierten Signale: Phononen, Szintillationslicht und Ladungen. Das ArDM Experiment (**A**rgon **D**ark **M**atter), welches auch einen direkten Nachweis der Existenz dunkler Materie als Ziel hat, verwendet sowohl flüssiges als auch gasförmiges Argon als Detektionsmedium (so-genannter zweiphasiger Detektor) und basiert auf der gleichzeitigen Aufzeichnung von Szintillationslicht und Ladungen. Während WIMPs höchstens einmal an Argonnukliden streuen, können sich Neutronen, der am schwierigsten zu unterdrückende Untergrund, dank der grossen Targetmasse von ArDM an mehreren Streuungen im Detektor beteiligen. Dies ermöglicht eine bessere Unterdrückung von Neutronenuntergrundsereignissen und erweist sich als ein entscheidender Vorteil gegenüber anderen Experimenten mit kleineren Targetmassen.

Daten, aufgenommen mit und ohne Kalibrierungsquellen (^{57}Co , ^{83}Kr), wurden analysiert. Das durchschnittliche Photonen-Energie-Verhältnis (light yield) wurde auf 1.10 ± 0.01 pe/keVee bestimmt, die Zerfallsaktivität von ^{39}Ar auf 0.94 ± 0.07 Bq/kg. Eine Monte-Carlo-Simulationssoftware (MC) wurde für ArDM entwickelt. Die Simulation wurde mithilfe der vorhergenannten Daten kalibriert und half, das Verhalten des Detektors zu verstehen. Die MC ist imstande, den internen und externen γ -Untergrund zu erklären. Der Untergrund erzeugt durch γ -, stammend aus Kontaminationen von Detektorkomponenten, und β -Ereignisse, Produkte von ^{39}Ar -Zerfällen, im WIMP-Signalebereich wurde untersucht. Der irreduzible Neutronenuntergrund in einem aktiven Volumen, das einer Targetmasse von 294 kg entspricht, erzeugt durch Detektorkontaminationen wurde mittels Simulation auf 0.49/Tag eingeschätzt. Das Dewargefäss und der obere Deckel des Detektors tragen dazu 0.05 Neutron/Tag bei, der Grossteil kommt von den Photomultipliern.