



Doctoral Thesis

Modeling, design and first operation of the novel double phase LAr LEM-TPC detector

Author(s):

Resnati, Filippo

Publication Date:

2012

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007582292> →

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 N° 20550

Modeling, design and first operation of the novel double phase LAr LEM-TPC detector

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Filippo Resnati

Laurea Specialistica in Fisica, Università degli Studi di Milano - Bicocca

born on 18th January, 1981 in Milano (Italy)

citizen of Italy

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. André Rubbia, examiner

Prof. Dr. Rainer Wallny, co-examiner

2012

Abstract

Liquid argon Time Projection Chambers (TPCs) are dense, fine grained, fully homogeneous particle detectors with excellent calorimetric and three-dimensional imaging capabilities. The fact that this technology allows to build massive detectors, from the ton to the many kton scale, depending on the application, makes it attractive for neutrino physics, proton decay and direct Dark Matter searches.

The amplification of the ionization charge produced in liquid argon improves the performance of a liquid argon TPC, giving a larger signal to noise ratio and, as a consequence, a lower energy threshold. This amplification can be achieved extracting the ionization electrons from the liquid into the vapor phase, and multiplying them using a Large Electron Multiplier (LEM). This new kind of Time Projection Chamber is called double phase argon LEM-TPC and represents the main topic of this work. The goal of the thesis is to understand if the double phase argon LEM-TPC is a valid concept, to estimate its performance and to identify possible problems.

The LEM is a metal clad epoxy plate (PCB), with a thickness of about a millimeter and with mechanically drilled holes. Typically, these holes have diameters of less than a millimeter, and there are order of 100 holes per cm^2 of LEM. The ionization charge (electrons) drifts in liquid argon from the interaction point towards the liquid-vapor interface under the action of a uniform electric field. The electrons are then extracted into the vapor by means of an electric field applied across the liquid surface using two grids at different potentials (one in liquid and one in gas). The electrons are focalized into the holes of the LEM, where the electric field is high enough to produce charge multiplication via Townsend avalanche. Finally, the electrons induce signals on a two views anode, which has the electrodes segmented into strips along two orthogonal directions and, therefore, gives the position of the ionizing event projected onto the anode plane. The third coordinate is given by the drift time multiplied by the electron drift velocity.

In this thesis we present the modeling, the design, the construction and the operation of a prototype of a double phase argon LEM-TPC with an active volume up to 3 L and with a LEM area of $10 \times 10 \text{ cm}^2$. This is the first detector of this kind to be fully operational. We describe the framework used to model and design the charge amplification and readout system, give a detailed description of the experimental setup, and analyze the data acquired in the exposure

of the detector to cosmic ray muons. This measurement campaign has allowed to benchmark the detector performance and to fix the design parameters of the charge readout system. The maximum effective amplification obtained in stable condition was about 30, that corresponds to a signal to noise ratio for minimum ionizing particles of more than 200.

The experience gained during the extensive R&D campaign on the 3 L detector allowed to design and construct a larger double phase argon LEM-TPC with an active area of $40 \times 80 \text{ cm}^2$, which was successfully operated in 2011. Here we report the first results of a test with cosmic ray muons.

Riassunto

La Camera a Proiezione Temporale (TPC) ad argon liquido è un rivelatore di particelle di alta densità, grande granularità e completamente omogeneo, in grado di fornire la struttura tridimensionale di un evento ionizzante e di misurare l'energia depositata. Il fatto che questa tecnologia permetta di costruire rivelatori di grande massa, da una tonnellata su fino a molte migliaia di tonnellate, la rende attraente per esperimenti di neutrino, decadimento del protone e di ricerca diretta di materia oscura.

L'amplificazione della carica di ionizzazione prodotta in argon liquido migliora le prestazioni di questo rivelatore, aumentando il segnale rispetto al rumore e, di conseguenza, abbassando la soglia energetica di rivelazione. Per ottenere ciò è possibile estrarre gli elettroni di ionizzazione dalla fase liquida a quella gassosa e moltiplicarli in un Large Electron Multiplier (LEM). Questo nuovo tipo di Camera a Proiezione Temporale è noto come LEM-TPC ad argon a doppia fase e rappresenta l'argomento principale di questo lavoro. Lo scopo della tesi è quello di capire se il concetto del LEM-TPC ad argon a doppia fase è valido, di valutarne le prestazioni e di identificare eventuali problemi.

La LEM è una lastra di resina epossidica (PCB) metallizzata, con uno spessore di circa un millimetro e forata meccanicamente. Questi buchi hanno un diametro tipico inferiore al millimetro e ci sono più di 100 buchi per cm^2 di LEM. La carica di ionizzazione (elettroni) deriva in argon liquido dal punto di interazione verso la superficie grazie all'azione di un campo elettrico uniforme. Gli elettroni sono poi estratti dal liquido al vapore da un campo elettrico perpendicolare alla superficie del liquido, generato da due griglie a potenziali differenti, una in liquido e l'altra in gas. Gli elettroni sono focalizzati nei buchi del LEM, dove vengono moltiplicati in presenza di un campo elettrico abbastanza intenso da causare la valanga di Townsend. Infine gli elettroni inducono impulsi di corrente sull'anodo, che ha l'elettrodo segmentato in strisce lungo due direzioni ortogonali in modo da fornire la posizione dell'evento ionizzante proiettata sul piano dell'anodo. La terza coordinata è data dal prodotto del tempo di deriva per la velocità degli elettroni.

In questo lavoro presentiamo la modellizzazione, la progettazione, la costruzione ed il funzionamento di un prototipo di LEM-TPC ad argon a doppia fase con un volume attivo di 3 L e con una LEM di $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Questo è il primo rivelatore di questo tipo completamente funzionante. Nella discussione trattiamo il modello con il quale il sistema di

lettura e amplificazione della carica è stato modellizzato e studiato, diamo una descrizione dettagliata dell'allestimento dell'esperimento e presentiamo i risultati di esperimenti con il rivelatore esposto ai muoni cosmici. L'interpretazione dei dati è servita a valutare la risposta del rivelatore e a definire i parametri di progettazione del sistema di lettura della carica. Il massimo guadagno raggiunto in condizioni stabili è stato di circa 30. Questo corrisponde ad un rapporto segnale/rumore per particelle al minimo di ionizzazione di più di 200.

L'esperienza maturata durante l'approfondito programma di Ricerca e Sviluppo sul rivelatore da 3 L ha permesso di progettare e costruire una LEM-TPC ad argon a doppia fase più grande con una superficie di $40 \times 80 \text{ cm}^2$, che ha ben funzionato nel 2011. Qui si riportano i primi risultati di un test con i muoni cosmici.