

# Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear



VNIVERSITAT  
ID VALÈNCIA

Thesis

---

## Design, construction and commissioning of a tritium water detector based on scintillating fibers read out by silicon photomultiplier

Marcos Martínez Roig  
January 13, 2020

Supervisors:

José Díaz Medina  
Nadia Yahlali Haddou



*Dedicated to  
my family*



# Acknowledgements



# Abstract





# Nomenclature and acronyms

## Mayúsculas

$T$  — Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$V$  — Volumen ( $\text{m}^3$ ).

## Minúsculas

$c$  — Velocidad de la luz en el vacío ( $\text{m/s}$ ). La velocidad de la radiación electromagnética es independiente de la velocidad del emisor.

$i$  — Raíz de menos uno (-).

## Letras griegas

$\alpha$  — El principio de todo (-).

$\pi$  — Pastel en inglés (-).



# Contents

<b>Acknowledgements</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Scintillator fibers</b>	<b>3</b>
2.1 Introduction . . . . .	3
2.2 Organic and inorganic scintillators . . . . .	3
2.3 Scintillator fibers . . . . .	3
2.4 Choice of the comercial scintillator fibers . . . . .	3
2.5 Cutting device for scintillator fiber . . . . .	3
2.6 Polishing task for scintillator fiber . . . . .	3
2.7 Automatic polishing machine for scintillator fiber . . . . .	3
2.8 Splicing machine for scintillator fiber . . . . .	3
<b>3 Photomultiplier tubes (PMTs)</b>	<b>5</b>
3.1 Introduction . . . . .	5

3.2	Calibration of the PMTs . . . . .	5
3.2.1	Gain calibration of the PMTs . . . . .	5
3.2.2	Aquí para abajo las demas calibraciones que haré con los PMTs . . .	5
<b>4</b>	<b>Calibracion de los fotomultiplicadores de silicio (SiPM)</b>	<b>7</b>
4.1	Equipo y montaje experimental . . . . .	7
4.2	Análisis de datos . . . . .	7
4.3	Calibración en temperatura . . . . .	7
4.4	Calibración en voltaje de operación . . . . .	7
4.5	Estabilización de la ganancia . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Prototipo</b>	<b>9</b>
5.1	Configuración del prototipo . . . . .	9
5.2	Procedimiento de llenado . . . . .	9
5.3	Configuración de la electrónica . . . . .	9
5.4	Resultados . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Simulaciones</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Previsiones de futuro</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Resultados y conclusiones</b>	<b>15</b>
<b>Appendices</b>		
<b>A</b>	<b>Más cosas</b>	<b>19</b>
<b>B</b>	<b>Y más cosas aún</b>	<b>21</b>
<b>Bibliography</b>		<b>23</b>

# List of Figures



# List of Tables





# Chapter 1

## Introduction



# Chapter 2

## Scintillator fibers

### 2.1 Introduction

### 2.2 Organic and inorganic scintillators

### 2.3 Scintillator fibers

### 2.4 Choice of the commercial scintillator fibers

### 2.5 Cutting device for scintillator fiber

### 2.6 Polishing task for scintillator fiber

### 2.7 Automatic polishing machine for scintillator fiber

### 2.8 Splicing machine for scintillator fiber



# Chapter 3

## Photomultiplier tubes (PMTs)

### 3.1 Introduction

### 3.2 Calibration of the PMTs

#### 3.2.1 Gain calibration of the PMTs

#### 3.2.2 Aquí para abajo las demas calibraciones que haré con los PMTs



## Chapter 4

# Calibracion de los fotomultiplicadores de silicio (SiPM)

4.1 Equipo y montaje experimental

4.2 Análisis de datos

4.3 Calibración en temperatura

4.4 Calibración en voltaje de operación

4.5 Estabilización de la ganancia





# Chapter 5

## Prototipo

5.1 Configuración del prototipo

5.2 Procedimiento de llenado

5.3 Configuración de la electrónica

5.4 Resultados



## Chapter 6

### Simulaciones



## Chapter 7

### Previsiones de futuro



## Chapter 8

### Resultados y conclusiones





# Appendices



# Appendix A

## Más cosas

Aún faltan cosas por decir.



# Appendix B

## Y más cosas aún

Y más cosas aún.



# Bibliography

- [1] A. TARANCÓN, H. BAGÁN, G. RAURET y J.F. GARCÍA, *Comprative study of pre-treatment procedures for  $^3\text{H}$  monitoring in water samples from environmental protection programs*, Science of the Total Environment, **Vol. 408** (2010) 2233-2238.
- [2] ZOLTÁN KÖLLO, *Tesis: Studies on a plastic scintillator detector for activity measurement of tritiated water*, Facultad de Física, Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT), Karlsruhe, Alemania, 17/07/2015
- [3] EDITOR: RICHARD B. FIRESTONE y VIRGINIA S. SHIRLEY, ASSISTANT EDITOR: CORAL M. BAGLIN, S. Y. FRANK CHU y JEAN ZIPKIN, *Table of Isotopes*, 8ª Edición, **vol. 1**, 1995
- [4] M. RATHNAKARAN, R.M. RAVETKAR y M.C. ABANI, *A Real-time Tritium-In-Water Monitor for Measurement Of Heavy Water Leak To The Secondary Coolant*, IAEA INIS, **Vol. 32** (2000) p-3a-197.
- [5] MASAO MATSUYAMA, KENICHI TAKATSUKA y MASANORI HARA, *Sensitivity of a specially designed calorimeter for absolute evaluation of tritium concentration in water*, Fusion Engineering and Design, **Vol. 85** (2010) 2045-2048.
- [6] YUJI HATANO, MASANORI HARA, HIROKO OHUCHI-YOSHIDA, HIROFUMI NAKAMURA y TOSHIHIKO YAMANISHI, *Measurement of tritium concentration in water by imaging plate*, Fusion Engineering and Design, **Vol. 87** (2012) 965-968.
- [7] N.P. KHERANI, *An alternative approach to tritium-in-water monitoring*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, **Vol. 484** (2002) 650-659.
- [8] M. HERRANS, N. ALEGRÍA, R. IDOETA y F. LEGARDA, *Sampling tritiated water vapor from the atmosphere by an active system using silica gel*, Radiation Physics and Chemistry, **Vol. 80** (2011) 1172-1177.
- [9] C. BRAY, A. PAILLOUX y S. PLUMERI, *Tritiated water detection in the 2.17  $\mu\text{M}$  spectral region by cavity ring down spectroscopy*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, **Vol. 789** (2015) 43-49.

- [10] S. AGOSTINELLI ET AL., Geant4 - A Simulation Toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research **A 506**(2003) 250-303.
- [11] J. ALLISON ET AL., Geant4 Developments and Applications, IEEE Transactions on Nuclear Science **53** (2006) 270-278.
- [12] J. ALLISON ET AL., Recent Developments in Geant4, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research **A 835** (2016) 186-225.
- [13] RENE BRUN y FONS RADEMAKERS, *ROOT - An Object Oriented Data Analysis Framework*, Proceedings AIHENP'96 Workshop, Lausanne, Sep. 1996, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Ver también [root.cern.ch/](http://root.cern.ch/) **A 389** (1997) 81-86.
- [14] K.W. JANG, D.H. CHO, W.J. YOO, J.K. SEO, J.Y. HEO, J.-Y. PARK y B. LEE, *Fiber-optic radiation sensor for detection of tritium*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, **Vol. 652** (2011) 928-931.
- [15] ALBERTO SOLER CAMBRA, *Memoria de Prácticas externas: Protocolo de preparación y caracterización de fibras centelladoras para el detector Tritium*, Facultad de Física, Universitat de València, España, 2017.
- [16] W. R. LEO, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer-Verlag, 2ª Edición, 1994.
- [17] SAINT-GOBAIN CRYSTALS, *Scintillating Optical Fibers*, [www.crystals.saint-gobain.com](http://www.crystals.saint-gobain.com), 2005-14.
- [18] DAVID SÁEZ-RODRÍGUEZ, KRISTIAN NIELSON, OLE BANG y DAVID JOHN WEBB, *Simple room temperature method for polymer optical fibre cleaving*, Journal of Light-wave Technology, **Vol. 33** (2015) NO. 23
- [19] S.H. LAW, J.D. HARVEY, R.J. KRHLAK, M. SONG, E. WU, G.W. BARTON, M.A. VANEIJKELENBORG y M.C.J. LARGE *Cleaving of microstructured polymer optical fibres*, Optics Communications, **Vol. 258** (2006) 193-202.
- [20] JOEL S. GEARHARD, *Ph. D. Thesis: Investigation of BCF-12 plastic scintillating coherent fiber bundle timing properties*, Facultad de ingeniería física de la Escuela de Postgrado de Ingeniería y Gestión, Instituto de Tecnología de las fuerzas aéreas, Base en Ohio, Marzo de 2012.
- [21] THORLABS, *Guide to connectorization and polishing optical fibers*, [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com), 2006.
- [22] ALEJANDRO SÁNCHEZ LÓPEZ, *Tesis de Máster: Estudio de las propiedades de los fotomultiplicadores de silicio (SiPM)*, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Departamento de Física teórica y del Cosmos, 23/06/2015



- [23] SIMON R. CHERRY, JAMES A. SORENSON y MICHAEL E. PHELPS, *Physics in Nuclear Medicine*, 4ª Edición, Saunders Elsevier, 2012.
- [24] HAMAMATSU PHOTONICS, *MPPCs (Multi-Pixel Photon Counter) for precision measurement*, [www.hamamatsu.com/eu/en/index.html](http://www.hamamatsu.com/eu/en/index.html)
- [25] KARINA ASMAR, *Tesis de Máster: Control de la dependencia en la temperatura de la ganancia de los detectores de silicio de radiación (SiPM) mediante la tensión de polarización*, Universidad Complutense de Madrid, España, Junio 2012.
- [26] DAVID LORCA GALINDO, *Tesis Doctoral : SiPM based tracking for detector calibration in NEXT*, Facultad de Física, Universitat València, España, Marzo de 2015.
- [27] DYCOMETAL, <http://www.dycometal.com/>.
- [28] ROITHNER LASERTECHNIK, *LED435-03 Blue LED Lamp*, <http://www.roithner-laser.com/>
- [29] HAMAMATSU PHOTONICS, *MPPC (Multi-Pixel Photon Counter): Technical Information*, [www.hamamatsu.com/eu/en/index.html](http://www.hamamatsu.com/eu/en/index.html)
- [30] DANILO PIPARO, GÜNTER QUAST y MANUEL ZEISE, *A ROOT Guide For Students "Diving Into ROOT"*, Institut für Experimentelle Kernphysik, Alemania, Febrero 2012.
- [31] MIROSLAV MORHÁČ, *Processing and Visualization Functions*, <https://root.cern.ch/root>
- [32] FERNANDO HUESO GONZÁLEZ, *Informe de Prácticas externas: Calibración de SiPM del plano de trazas del detector NEXT1-EL*, Facultad de Física, Universitat de València, España, Abril 2011.
- [33] JOSÉ DÍAZ MEDINA, *Protocolo de manipulación de la fuente radiactiva de tritio*, Report interno, IFIC, Paterna, Valencia, España, 2017.
- [34] ANDRÉS BATALLER MARTÍ, *Trabajo de fin de grado: Medidas de la eficiencia luminosa de fibras centelleadoras para el diseño de detectores de dosimetría médica*, Facultad de Física, Universitat de València, España, Septiembre de 2015.
- [35] JERROLD E. MARSDEN y ANTHONY J. TROMBA *Cálculo vectorial*, 3ª Edición, Addison-Wesley Iberoamericana, 1988.
- [36] NADIA YAHLALI, L.M.P. FERNANDES y DAVID LORCA, *Characterization of UV-enhanced SIPMs for Imaging in a High Pressure Xenon Electroluminescent TPC*, 3rd International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation, Measurement Methods and their Applications (ANIMMA) Marseille, Francia, Junio 2013, publicado en Proceedings of the 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE

- ON ADVANCEMENTS IN NUCLEAR INSTRUMENTATION, MEASUREMENT METHODS AND THEIR APPLICATIONS (ANIMMA), D. Merelli (Ed.), IEEE, 2013.
- [37] MARC QUEROL SEGURA, *Proyecto fin de grado: Sistema de test para la caracterización de los fotomultiplicadores de silicio de la cámara de proyección temporal NEXT-100*, Escola Técnica Superior d'Enginyeria, Universitat València, España, 2013.
- [38] LUIS VILLARREAL RAMÍREZ, *Construcción y prueba de un cámara térmica para caracterizar un gamma-detector (SiPM). Construction of a climatic chamber to test the thermal behavior of a SiPM detector*, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, ESPAÑA, Junio 2012.