

Detección de neutrones utilizando detectores Cherenkov en agua

Dr. Iván Sidelnik
Departamento de Física de Neutrones
GIN-GAEN-CNEA y CONICET
Bariloche, Argentina
ivansidelnik@cnea.gob.ar



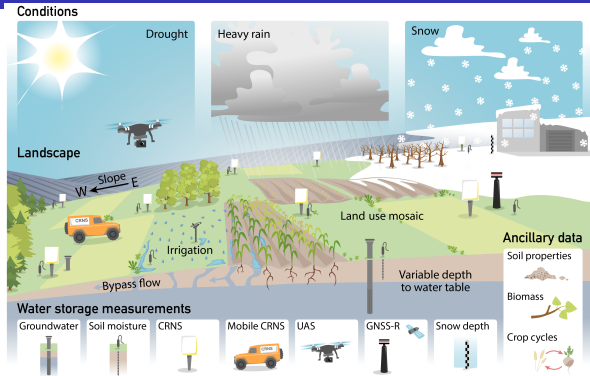


Contenido

- 1 Introducción (medición de humedad en suelo)
- 2 Neutrones para humedad
- 3 Rayos cósmicos e interacción con la atmósfera
- 4 Water Cherenkov Detectors
- 5 Efecto Cherenkov
- 6 Detección de neutrones
- 7 Detección de neutrones con WCD
- 8 Resultados I: fuente AmBe
- 9 Simulaciones I: geometría realista y dopante
- 10 Resultados II: dopante
- 11 Simulaciones II: neutrones de alta energía
- 12 Resumen, algunas conclusiones, y un poco para pensar...



¿Por qué es importante conocer la humedad del suelo?



Impacto en la sociedad y el medio ambiente

- **Clima & variabilidad climática**
- **Sequías:** proyección y monitoreo
- **Riego agrícola:** gestión precisa
- **Ecosistemas:** respuesta al cambio climático
- **Desastres naturales:** Incendios forestales, deslizamientos de tierra, inundaciones
- **Recursos hídricos:** conservación

Consecuencia

Las variaciones en la humedad del suelo afectan sustancialmente la salud de los ecosistemas y la productividad agrícola.

Importancia de la humedad

- La humedad del suelo es crucial para la agricultura.
- Programar aplicaciones de riego (climas con deficit de agua).
- El exceso de humedad puede ser perjudicial para las raíces de las plantas.
- Exceso de agua en el suelo puede causar inestabilidad hasta el punto de desencadenar deslizamientos destructivos de tierra.
- **Problema doble: falta de métodos para áreas grande y es difícil medir la humedad en una escala amplia a partir de pequeña escala (suelos heterogéneos).**

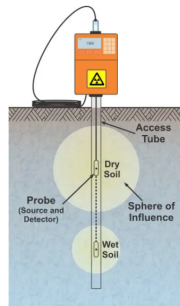
Métodos convencionales de medición

- Determinaciones gravimétricas/volumétricas directas (la muestra de suelo se pesa y luego se seca, diferencia de contenido de humedad seca y original)
- Reflectometría en el dominio del tiempo, TDR (pulsos eléctricos a través de una sonda, el agua afecta la constante dieléctrica del suelo)
- Reflectometría en el dominio de la frecuencia, FDR (variación en la frecuencia de una señal de onda continua)
- Tensiómetro (mide la tensión o succión del agua en el suelo)
- Sensores de resistencia eléctrica (a menor resistencia, mayor cantidad de agua)

Medición de humedad con neutrones

Principio de funcionamiento

- 1 Fuente de **neutrones** emitida al suelo
- 2 Los neutrones se **moderan** con átomos de hidrógeno del agua
- 3 La cantidad de neutrones moderados $\propto$ cantidad de **hidrógeno**
- 4 Hidrógeno $\Rightarrow$ contenido de **agua** en el suelo



Alta precisión para medir el contenido de humedad a profundidades específicas.

Pensando en utilizar los neutrones de otra manera...

ARTICLE IN PRESS

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (xxxx) xxx–xxx

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT

Iván Sidelnik^{a,b,c,d}, Hernán Asorey^{a,b,d}, Juan Jerónimo Blosein^{a,b,d}, Mariano Gómez Berisso^{a,b,d}

^a Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

^b Instituto Balseiro, CNEA-CONICET, Argentina

^c Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) and Escuela de Producción, Tecnología y Medio Ambiente, UNOS, Argentina

^d Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

0018-9560

xxxx

pp. 1–7 (xxxx pp.)

ARTICLE IN PRESS

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A (xxxx) xxx–xxx



Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector

Iván Sidelnik^{a,b,c,d}, Hernán Asorey^{a,b,c,d}, Nicolás Guarnin^b, Mauricio Suárez Durán^b, José Lipovetzky^{a,b,c,d}, Luis Horacio Amaldi^{a,b,c}, Martín Pérez^{a,b,c,d}, Miguel Sofó Haro^{a,b,c,d}, Mariano Gómez Berisso^{a,b,c,d}, Fabrice Alcázar Bessia^{a,b,c,d}, Juan Jerónimo Blosein^{a,b,c,d}

^a Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

^b Instituto Balseiro, CNEA-CONICET, Argentina

^c Grupo de Investigación Integrada y Experimentos de Física y Geología, Universidad de Magallanes, Norte de San Andrés, Chile

^d Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Argentina

^e Escuela de Tecnología y Medio Ambiente, UNOS, Argentina

^f Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

ARTICLE INFO

Keywords:

Neutron detection
Water Cherenkov detector
Cherenkov effect

ABSTRACT

In this work we show the neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector (WCD) using pure water, as well as an aqueous solution of sodium chloride as the detection volume. The experiments were performed using a WCD with a single photomultiplier tube (PMT), and a ^{252}Cf neutron source. We show that fast neutrons from a ^{252}Cf source directly impinging the detector can be clearly detected and identified over the



Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment

Available online 9 March 2019

in Press, Corrected Proof

Neutron detection capabilities of Water Cherenkov Detectors

Iván Sidelnik^{a,b,c,d}, J. B. Asorey^{a,b,c,d}, Nicolás Guarnin^b, Mauricio Suárez Durán^b, Fabrice Alcázar Bessia^{a,b,c,d}, Luis Horacio Amaldi^{a,b,c}, Mariano Gómez Berisso^{a,b,c,d}, José Lipovetzky^{a,b,c,d}, Martín Pérez^{a,b,c,d}, Miguel Sofó Haro^{a,b,c,d}, Juan Jerónimo Blosein^{a,b,c,d}

© 2019

<https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.03.017>

Get rights and content

Abstract

In this work we show the neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector (WCD) using pure water, as well as an aqueous solution of sodium chloride as the detection volume. The experiments were performed using a WCD with a single photomultiplier tube (PMT), and a ^{252}Cf neutron source. We show that fast neutrons from a ^{252}Cf source directly impinging the detector can be clearly detected and identified over the



Advances in Space Research

Volume 63, Issues 63, 1 May 2020, Pages 2234–2232

Simulation of 500MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector

Iván Sidelnik^{a,b,c,d}, J. B. Asorey^{a,b,c,d}, Nicolás Guarnin^b, Mauricio Suárez Durán^b, Mariano Gómez Berisso^{a,b,c,d}, José Lipovetzky^{a,b,c,d}, Juan Jerónimo Blosein^{a,b,c,d}

© 2019

<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

Get rights and content

Abstract

In this work we show the capabilities of a water Cherenkov detector (WCD) to detect high energy neutrons. We present the simulation of the response of a doped WCD to 500MeV monoenergetic neutrons using Geant4. To do this, a detailed model of the WCD has been implemented. The active volume of the detector is composed of pure water and different concentrations of a ^{23}Cl based additive. The addition of this dopant shows an enhancement in the detection of high energetic neutrons. The sensitivity of this detector to neutrons achieved in our simulations is a relevant result for cosmic rays and space weather studies.

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (xxxx) xxx–xxx

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Full Length Article

Two stage gamma-neutron source classification in water Cherenkov detectors: Energy threshold screening and machine learning pulse analysis^a

Alejandro Nájera Selis^{a,b,c}, Iván Sidelnik^a, Christian Sarmiento Cano^{a,d}, Hernán Asorey^a, Luis Nájera^a

^a Departamento de Física de Neutrones, Centro Atómico Bariloche (CNEA-CONICET), Av. Bustillo 9500, S.C. de Bariloche, Argentina

^b Instituto Balseiro, CNEA-CONICET, Bariloche, Argentina

^c Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

^d Departamento de Física de Neutrones, Centro Atómico Bariloche, CNEA-CONICET, Bariloche, Argentina

^e Grupo de Investigación Integrada y Experimentos de Física y Geología, Universidad de Magallanes, Norte de San Andrés, Chile

^f Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Argentina

^g Escuela de Tecnología y Medio Ambiente, UNOS, Argentina

^h Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

ⁱ Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^j Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^k Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^l Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^m Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

ⁿ Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^o Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^p Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^q Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^r Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^s Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^t Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^u Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^v Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^w Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^x Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^y Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^z Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{aa} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ab} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ac} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ad} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ae} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{af} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ag} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ah} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ai} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{aj} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ak} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{al} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{am} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{an} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ao} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ap} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{aq} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ar} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{as} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{at} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{au} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{av} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{aw} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ax} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ay} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{az} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ba} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bb} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bc} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bd} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{be} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bf} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bg} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bh} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bi} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bj} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bk} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bl} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bm} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bn} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bo} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bp} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bq} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{br} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bs} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bt} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bu} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bv} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bv} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bw} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bx} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{by} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{bz} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ca} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cb} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cc} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cd} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ce} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cf} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cg} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ch} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ci} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cj} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ck} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cl} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cm} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cn} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{co} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cp} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cq} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cr} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cs} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{ct} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cu} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cv} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cw} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cx} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cy} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{cz} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{da} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{db} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dc} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dd} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{de} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{df} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dg} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dh} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{di} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dj} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dk} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dl} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dm} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{dn} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

^{do} Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500, S.C. Bariloche, 5400, Argentina

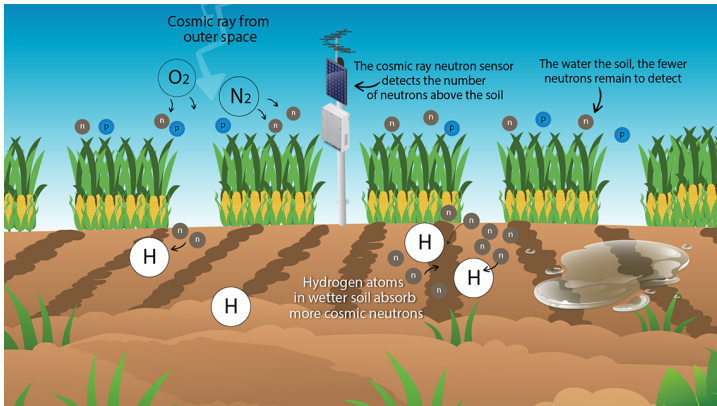
<

Pensando en utilizar los neutrones de otra manera...



Pensando en utilizar los neutrones de otra manera...

(ya se le había ocurrido a alguien...)



Utilizando neutrones cósmicos

(ya se le había ocurrido a alguien...)

Cosmic Ray Neutron Sensor (CRNS)

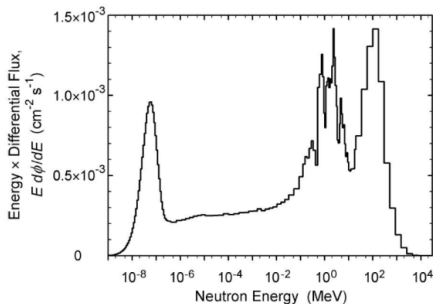
- Detectores más grandes $\Rightarrow$ cubren áreas **mayores**
- **Detector fijo:** medición de neutrones por hora
- **Mochilas:** funcionan por periodos cortos (10–20 minutos)



IAEA-TECDOC-1809

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1809_web.pdf

Espectro de neutrones a nivel del suelo



Categoría	Energía
Alta energía	>10 MeV
Rápidos	(0.2, 10) MeV
Intermedios	(1, 200 000) eV
Epitérmicos	~0.5 eV
Térmicos	~0.025 eV
Fríos/ultrafríos	(0.001,1) meV

Figura 13: Espectro del fondo de neutrones. En el eje X se representa la energía, y en el vertical, el producto del flujo y la energía. Tomado de M.S. Gordon, P. Goldhagen, K.P. Rodbell, T.H. Zabel, H.H.K. Tang, J.M. Clem, P. Bailey, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* NS-51 (6) (2004) 3427.

¿Qué son los rayos cósmicos?

Núcleos desnudos que llegan del espacio exterior



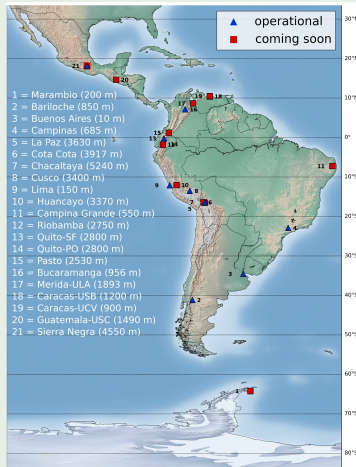
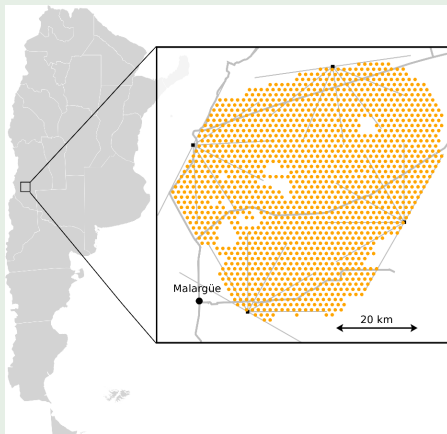
¿Qué son los rayos cósmicos?

Cascada de partículas a nivel del suelo



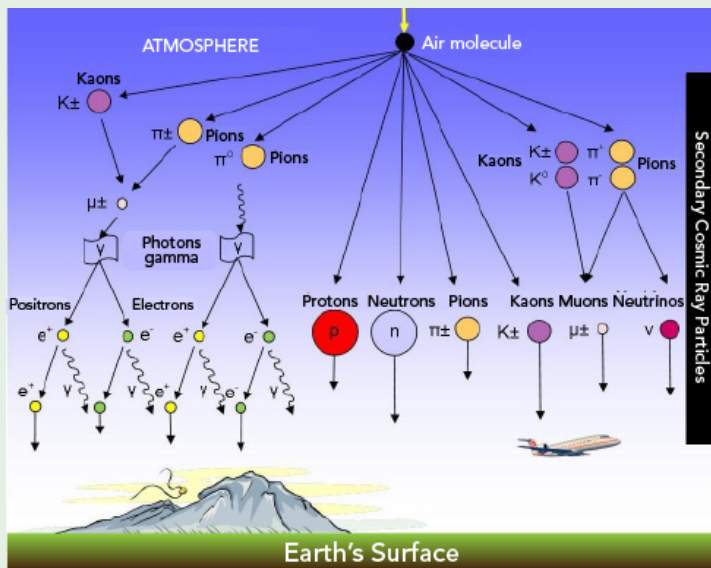
Ayer, en el capítulo de Observatorios

Ejemplo de observatorios de RC: LAGO y PAO

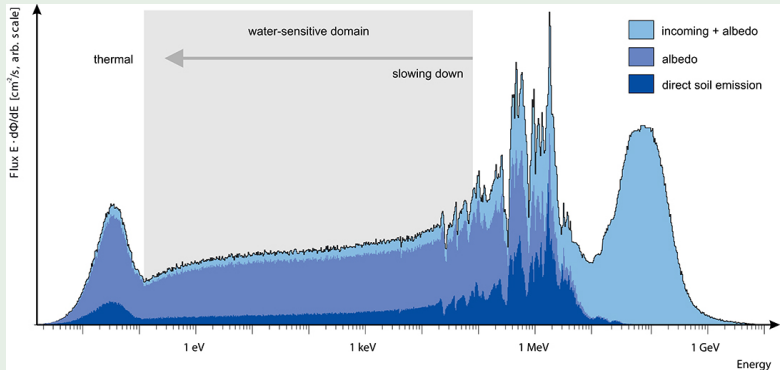


Cascada de partículas

Interacción con la atmósfera: cascada de partículas



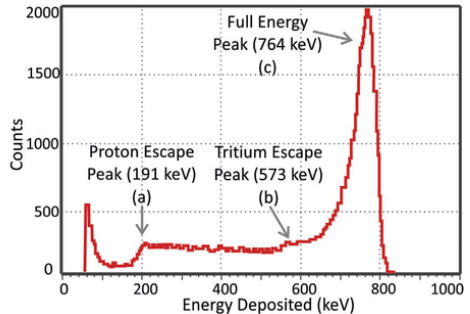
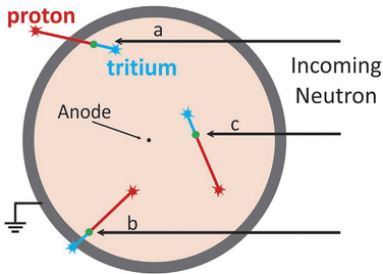
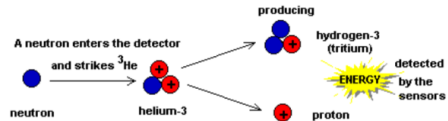
Volviendo al espectro de neutrones a nivel del suelo (más detalle)



Los neutrones de alta energía se generan en cascadas en la atmósfera superior con energías de hasta varios GeV. Por interacción con átomos en el aire o por evaporación en el suelo, se emiten neutrones con energías cercanas a 1 MeV. El espectro total (delineado en negro) puede separarse en una parte que comprende los neutrones de albedo que han estado en el suelo y que contiene información sobre la humedad del suelo.

Detección de neutrones térmicos: detector de ^3He

Capture reaction	$\sigma_{n_{\text{thermal}}}$ (barn)
$n + ^3\text{He} \rightarrow ^3\text{H}(0.191\text{MeV}) + p(0.574\text{MeV})$	5330
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.78\text{MeV}) + ^7\text{Li}(1.01\text{MeV})$ 6,3%	3840
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.47\text{MeV}) + ^7\text{Li}(0.84\text{MeV}) + \gamma(0.48\text{MeV})$ 93,7%	
$n + ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H}(2.73\text{MeV}) + \alpha(2.05\text{MeV})$	940
$n + ^{113}\text{Cd} \rightarrow ^{114}\text{Cd} + \gamma(0.56\text{MeV}) + e^-$	20743
$n + ^{155}\text{Gd} \rightarrow ^{156}\text{Gd} + \gamma(0.09, 0.20, 0.30\text{MeV}) + e^-$	60791
$n + ^{157}\text{Gd} \rightarrow ^{158}\text{Gd} + \gamma(0.08, 0.18, 0.28\text{MeV}) + e^-$	255011



Nuestra herramienta: Detectores Cherenkov en agua (en inglés, WCD)



Los WCD detectan el pasaje de radiación originada por una partícula cargada al atravesar el volumen de agua a través del efecto Cherenkov. Esta señal es colectada por un PMT. Son generalmente utilizados en experimento de detección de rayos cósmicos.

Operación de un WCD → the Cherenkov effect

This Week's Citation Classic ® AUGUST 26, 1991

Cherenkov P A. Visible light from clear liquids under the action of gamma radiation.
C.R. (Dokl.) Acad. Sci. URSS 2:451-4, 1934.
[Physico-Mathematical Institute V.A. Steklova, Academy of Science, Leningrad, USSR]

AUGUST 15, 1937

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 52

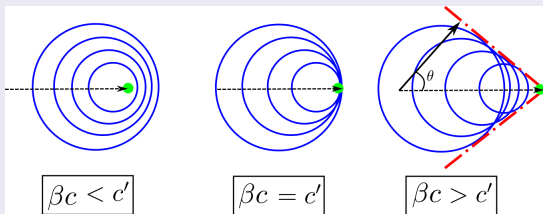
Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light

In a note published in 1934¹ as well as in the subsequent publications²⁻⁴ the present author reported his discovery of feeble visible radiation emitted by pure liquids under the action of fast electrons (β -particles of radioactive elements or Compton electrons liberated in liquids in the process of scattering of γ -rays). This radiation was a novel phenomenon, which could not be identified with any of the kinds of luminescence then known as the theory of luminescence failed to account for a number of unusual properties (insensitiveness to the action of quenching agents, anomalous polarization, marked spacial asymmetry, etc.) exhibited by the radiation in question.



Efecto Cherenkov: cálculo simple

Condición Cherenkov



$\beta = v/c$ (velocidad de la partícula)

$$\beta c > c' = \frac{c}{n}$$

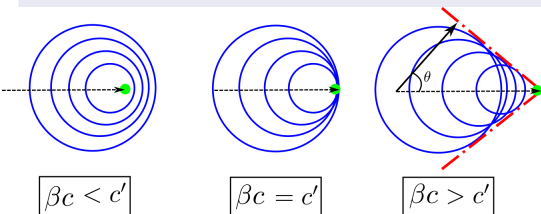
$$\beta > \frac{1}{n}$$

Como si fuera un boom sónico, las ondas coherentes se producen mediante el mecanismo de Cherenkov, generando un frente de onda fotónica. A medida que la partícula avanza, el frente de onda fotónica se propaga en un ángulo hacia adelante, θ , con la luz emitida en la dirección del movimiento.

Todo esto con la condición $n(\omega) \equiv \sqrt{\mu(\omega)\epsilon(\omega)} \simeq \sqrt{\epsilon(\omega)} \approx n = cte$

Efecto Cherenkov: cálculo simple

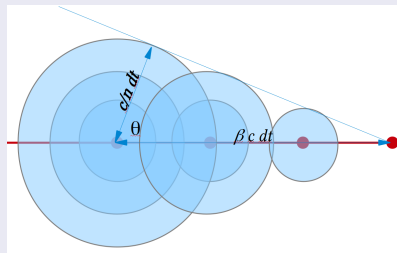
Condición Cherenkov



$\beta = v/c$ (velocidad de la partícula)

$$\beta c > c' = \frac{c}{n}$$

$$\beta > \frac{1}{n}$$



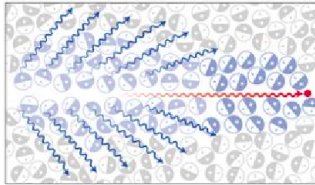
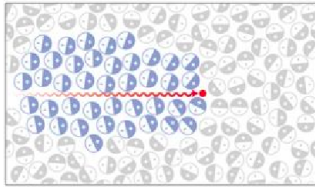
$$\cos \theta = \frac{c/ndt}{\beta c dt}$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

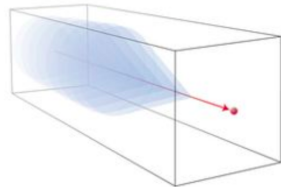
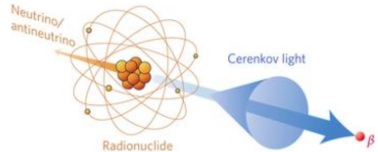
Como si fuera un boom sónico, las ondas coherentes se producen mediante el mecanismo de Cherenkov, generando un frente de onda fotónica. A medida que la partícula avanza, el frente de onda fotónica se propaga en un ángulo hacia adelante, θ , con la luz emitida en la dirección del movimiento.

Todo esto con la condición $n(\omega) \equiv \sqrt{\mu(\omega)\epsilon(\omega)} \simeq \sqrt{\epsilon(\omega)} \approx n = cte$

Efecto Cherenkov: el medio



Top: A **charged** particle travelling faster than light in a medium **polarizes** the medium.
Bottom: As the medium returns to the ground state, blue-weighted light (blue wavy lines) is emitted in a forward direction.



Top: Cherenkov light is emitted **by the medium** in which a charged particle travels. β -particle emission with energies greater than the Cherenkov threshold result in CL. Bottom: negative index materials, the cone of Cherenkov light is reversed compared with conventional materials.

Efecto Cherenkov: La fórmula de Frank-Tamm.

Frank-Tamm formula

In a slightly absorbing medium with permittivity $\epsilon(\omega)$ and Z atomic number, a particle with $\beta = \frac{v}{c}$ produces:

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x \partial \lambda} = 2\pi Z^2 \frac{1}{137} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 \epsilon(\omega)} \right) \frac{1}{\lambda^2}$$

taking in to account that $n(\omega) = \sqrt{\epsilon\mu} \simeq \sqrt{\epsilon(\omega)} \approx n$, the number N of Cherenkov photons produced when the particle travels a distance x in the interval λ_1 and λ_2 is:

$$\frac{\partial N}{\partial x} = 2\pi Z^2 \frac{1}{137} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

Unlike the fluorescence or emission spectra, the Cherenkov radiation spectrum given by the Frank-Tamm formula, is **continuous** and its density is **inversely proportional to the wavelength (λ) squared**. Therefore, **the number of photons increases as the wavelength decreases**. That explains why most of the Cherenkov radiation seems **blue** and mostly in **UV** range.

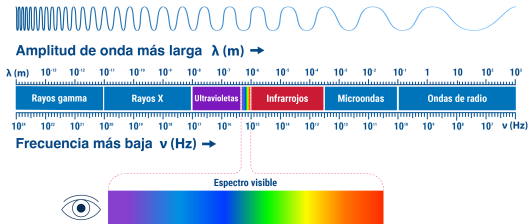
Efecto Cherenkov

Frank-Tamm

In a slightly absorptive medium with $\beta = \frac{v}{c}$ pro

taking in to account the photons produced

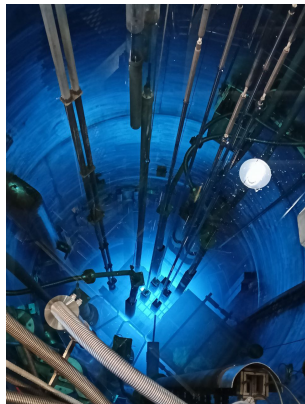
Espectro electromagnético



$$\frac{\partial N}{\partial x} = 2\pi Z^2 \frac{1}{137} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2}\right) \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)$$

Unlike the fluorescence or emission spectra, the Cherenkov radiation spectrum given by the Frank-Tamm formula, is **continuous** and its density is **inversely proportional to the wavelength (λ) squared**. Therefore, **the number of photons increases as the wavelength decreases**. That explains why most of the Cherenkov radiation seems **blue** and mostly in **UV** range.

Efecto Cherenkov en agua



Reactor de investigación RA-6 Bariloche

Cherenkov effect: energy threshold

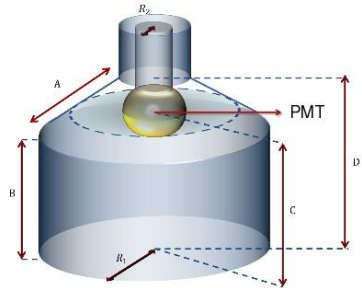
Threshold energy for production of Cherenkov light

$$E = m_0 c^2 \left[\frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right]$$

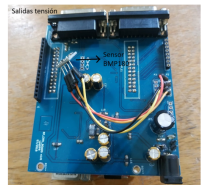
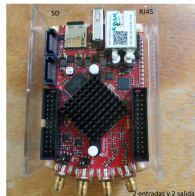
Particle	Mass $\left[\frac{\text{MeV}}{c^2} \right]$	Kinetic E. [MeV]	Threshold E [MeV]
$e^+ e^-$	0.511	0.264	0.775
$\mu^+ \mu^-$	105	54	159
Proton	938	484	1422

H₂O $n = 1,333$ in the visible range

Cherenkov radiation is emitted in a very short time (ps) for solids and liquids



- Señales analógicas en el PMT
- Amplificación de la señal
- Digitalización de la señal



Water Cherenkov Detectors (WCD): Photo Multiplier Tube (PMT)

9" Photonis XP1802



8" Hamamatsu R5912

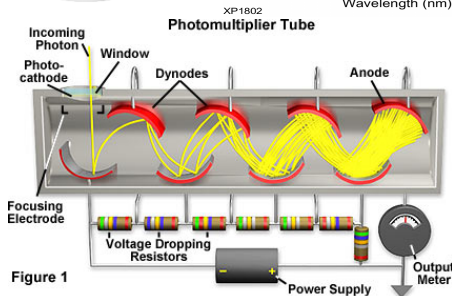
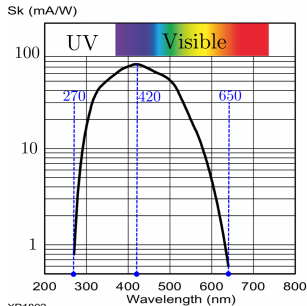
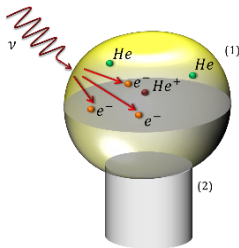
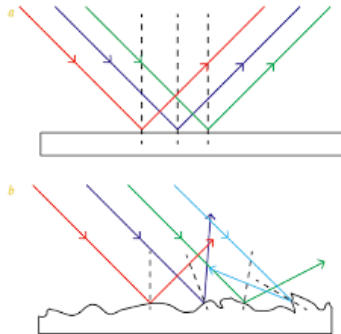


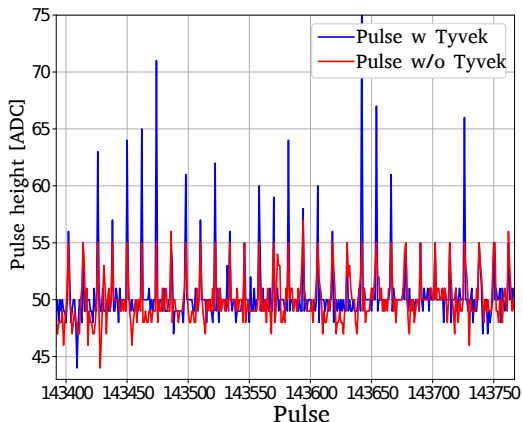
Figure 1

Recubrimiento interno de Tyvek



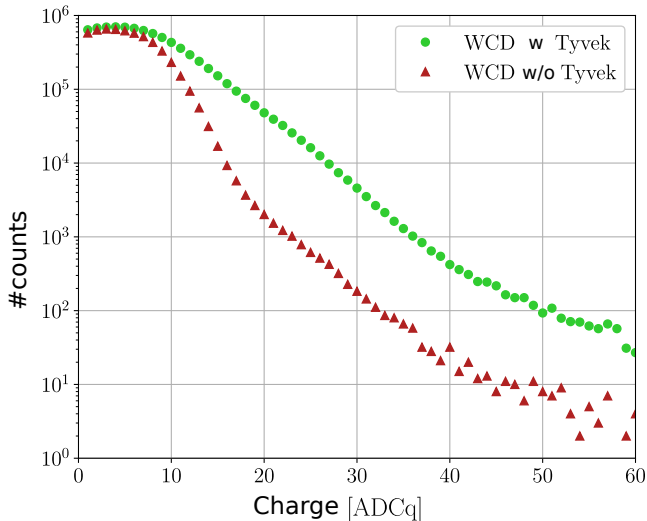
Tyvek inner cover is used to maximize Cherenkov photons collection, through the particular rugosity of the fabric that enhance the diffusion and reflection of photons.

Recubrimiento interno de Tyvek



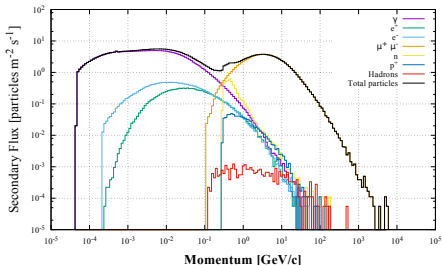
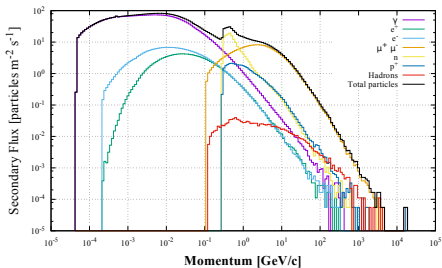
Pulse shape of background radiation with and without the presence of Tyvek inside the detector

¿Y cómo se ve todo esto reflejado en el histograma?



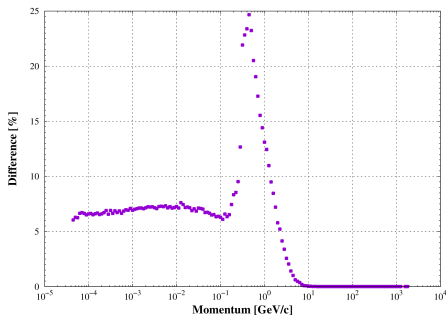
Volvamos al problema original: detección de neutrones!

**flux @ ground sites: Chacaltaya
and La Serena**



**During a geostorm: largest
variations in neutron flux**

Preliminary results from the latin american giant observatory space weather simulation chain. H. Asorey, L.A. Núñez, and M. Suárez-Durán. Space Weather, 16(5):461–475, 2018.



The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations.

C. Sarmiento-Cano, M. Suárez-Durán, et al.

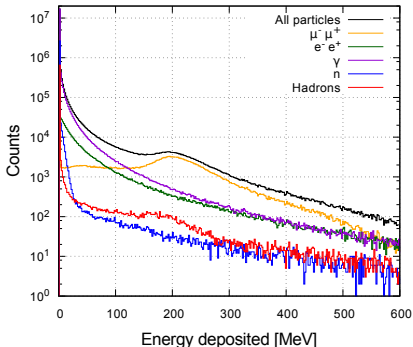
Eur. Phys. J. C (2022) 82:1019

<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10883-z>

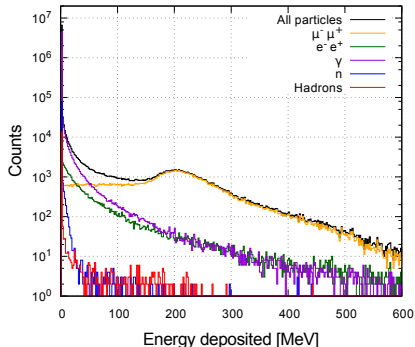
Volvamos al problema original: detección de neutrones!

Histograma de carga del detector simulado

Chacaltaya (5421 m a.s.l.)



La Serena (28 m a.s.l.)



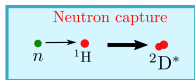
The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations

C. Sarmiento-Cano, M. Suárez-Durán, et al.

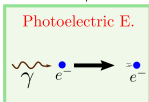
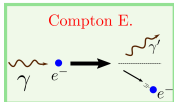
Eur. Phys. J. C (2022) 82:1019 <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10883-z>

¿Podremos mejorar la señal de neutrones en el detector Cherenkov?

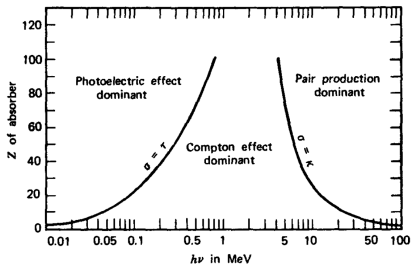
Detección de neutrones con WCD



$$\gamma = 2.22 \text{ [MeV]}$$

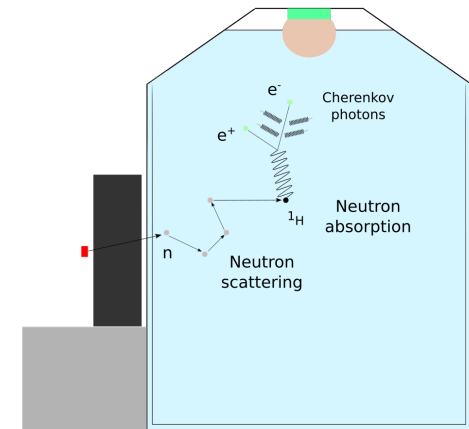


Photon processes that can result in an electron



G. Knoll, Radiation detection and Measurement,

J. Wiley & Sons, Inc.



$$\text{Threshold energy } E = m_0 c^2 \left[\frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right]$$

Particle	Mass $\left[\frac{\text{MeV}}{c^2} \right]$	Kinetic E. [MeV]	Threshold energy for prod. of Cherenkov light [MeV]
e^+e^-	0.511	0.264	0.775
$\mu^+\mu^-$	105	54.26	159.26
Proton	938	484	1422

Detección de neutrones con WCD

Prueba de concepto detectores
LAGO en Bariloche (Nahuelito)



Diferentes blindajes: parafina, Cd, Pb
AmBe and ^{252}Cf neutron sources

Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT.

I. Sidelnik, H. Asorey, et al.

NIM A 876 (2017) 153-155 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.02.048>

Impass → Fuentes de neutrones

Existen distintos tipos de fuentes **isotópicas** de neutrones

Ventajas:

- Portabilidad
- Simplicidad
- Larga vida media (depende del isótopo)

Desventajas:

- Flujo limitado
- Emisión gamma asociada
- Regulación estricta

Fisión Espontánea

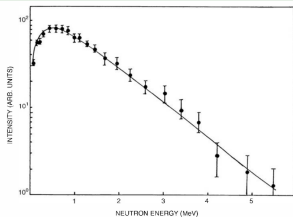


Figure 1.10 Measured neutron energy spectrum from the spontaneous fission of ^{252}Cf . (From Batenkov et al.¹⁸)

αBe

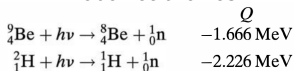
Table 1.6 Characteristics of Be(α ,n) Neutron Sources

Source	Half-Life	E_{α} (MeV)	Neutron Yield per 10^6 Primary Alpha Particles		Percent Yield with $E_n < 1.5$ MeV	
			Calculated	Experimental	Calculated	Experimental
$^{239}\text{Pu}/\text{Be}$	24,000 y	5.14	65	57	11	9–33
$^{210}\text{Po}/\text{Be}$	138 d	5.30	73	69	13	12
$^{238}\text{Pu}/\text{Be}$	87.4 y	5.48	79 ^a	—	—	—
$^{241}\text{Am}/\text{Be}$	433 y	5.48	82	70	14	15–23
$^{244}\text{Cm}/\text{Be}$	18 y	5.79	100 ^b	—	18	29
$^{242}\text{Cm}/\text{Be}$	162 d	6.10	118	106	22	26
$^{226}\text{Ra}/\text{Be}$ + daughters	1602 y	Multiple	502	—	26	33–38
$^{227}\text{Ac}/\text{Be}$ + daughters	21.6 y	Multiple	702	—	28	38

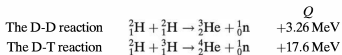
^aFrom Anderson and Hertz.²³ All other data as calculated or cited in Geiger and Van der Zwan.²⁴

^bDoes not include a 4% contribution from spontaneous fission of ^{244}Cm .

Fotoneutrones



Partículas cargadas aceleradas



Impass → Fuentes de neutrones

Existen distintos tipos de fuentes **isotópicas** de neutrones

Fisión Espontánea

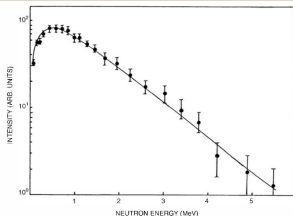
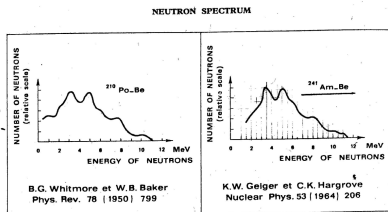


Figure 1.10 Measured neutron energy spectrum from the spontaneous fission of ^{252}Cf . (From Batenkov et al.²⁸)

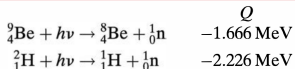
αBe



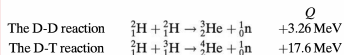
B.G. Whitmore et W.B. Baker
Phys. Rev. 78 [1950] 799

K.W. Geiger et C.K. Hargrove
Nuclear Phys. 53 [1964] 206

Fotoneutrones



Partículas cargadas aceleradas



Impass → Fuentes de neutrones

^{252}Cf características



Fecha calibración	29 junio 1994
Actividad	1 Ci
Yield	$2,7 \times 10^6 \frac{n}{s \cdot 4\pi}$
$T_{1/2} (^{252}\text{Cf})$	2,64 años
Actividad [29/10/2017]	2 mCi
Yield [29/10/2017]	$5,9 \times 10^3 \frac{n}{s \cdot 4\pi}$
α [MeV]	6,118 (84,2 %)
α [MeV]	6,075 (15,7 %)

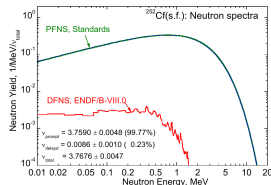
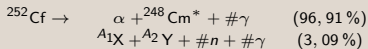


FIG. 3.1. The absolute prompt (PFNS) and delayed (DFNS) fission neutron spectra normalized per total number of neutrons for the spontaneous fission of ^{252}Cf (data are taken from IRDFF-II [17] and ENDF/B-VIII.0 [7], respectively).

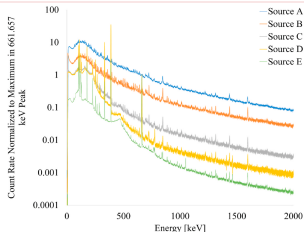
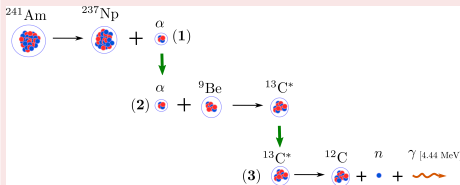
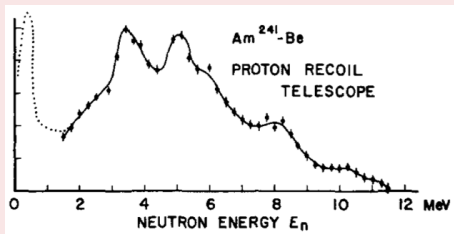


Fig. 1. Californium-252 spectra for sources A-E normalized to the maximum count rate in the 661.657 keV gamma-ray peak.

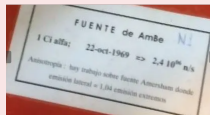
Evaluation of the Prompt Gamma-ray Spectrum from Spont Fission of ^{252}Cf , S. Simakov IAEA Nuclear Data Section, 2024.
 Characterization of ^{252}Cf sources using high-resolution gamma spectroscopy, Watson, et.al., App. Rad. and Isotopes 2021.

Impass → Fuentes de neutrones

$^{241}\text{Am}-^9\text{Be}$



Fecha calibración	22 Octubre 1969
Actividad	1 Ci α
Yield	$2,4 \times 10^6 \frac{n}{s \cdot 4\pi}$
$T_{1/2}$ (^{241}Am)	432,2 años
Actividad [29/10/2017]	0,93 Ci α
Yield [29/10/2017]	$2,222 \times 10^6 \frac{n}{s \cdot 4\pi}$
α [MeV]	5,485 (84,5 %)
α [MeV]	5,442 (13,0 %)
γ_{Am} [MeV]	0,06 (36,0 %)
$\gamma_{^{13}\text{C}^*}$ [MeV]	4,44



Detección de neutrones con WCD

Pulse charge histogram of background radiation and using an AmBe source

Fuente AmBe con diferentes blindajes



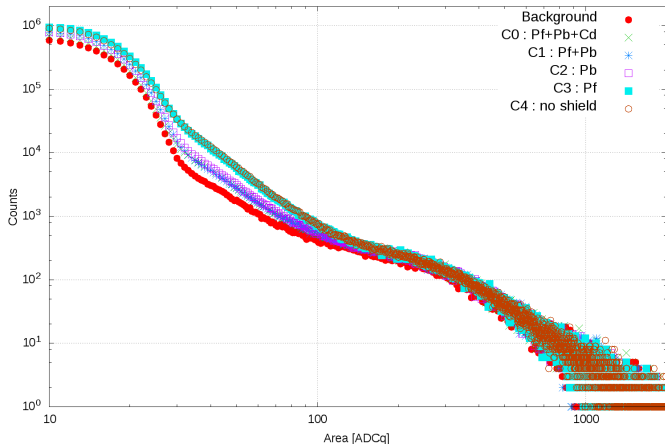
Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT.

I. Sidelnik, H. Asorey, et al. NIM A 876 (2017) 153-155 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.02.048>

Detección de neutrones con WCD

Prueba de concepto - histograma de carga de fondo + fuente AmBe

Fuente AmBe con diferentes blindajes



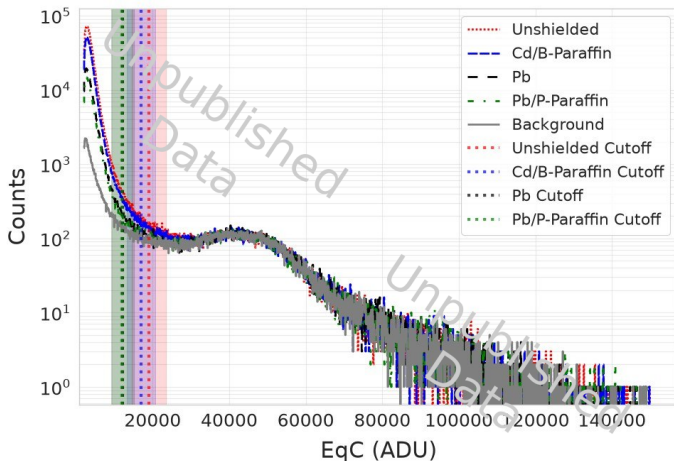
Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT.

I. Sidelnik, H. Asorey, et al. NIM A 876 (2017) 153-155 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.02.048>

Detección de neutrones con WCD

Análisis de punto de corte - histograma de carga de fondo + fuente AmBe

Fuente AmBe con diferentes blindajes



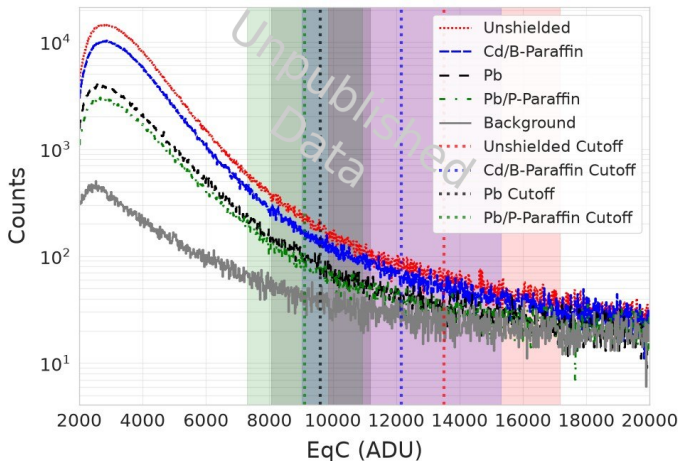
Gamma Neutron Radioactive Source Identification in Water Cherenkov Detectors.

A. Nuñez Selín, C. Sarmiento Cano, H. Asorey, I. Sidelnik. Sented to EPJC for publication

Detección de neutrones con WCD - Resultados II

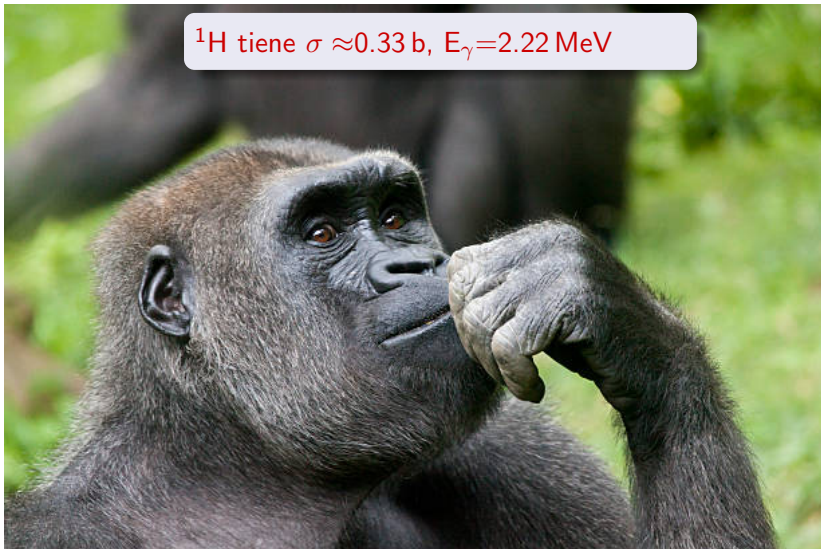
Análisis de punto de corte - histograma de carga de fondo + fuente AmBe

Fuente AmBe con diferentes blindajes



¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

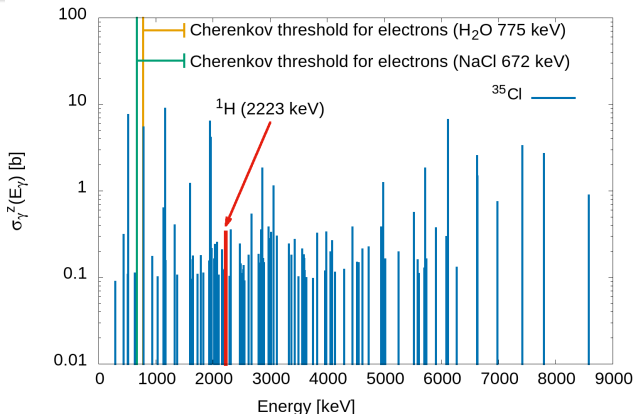
^1H tiene $\sigma \approx 0.33 \text{ b}$, $E_\gamma = 2.22 \text{ MeV}$



¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

¡Cl!

^{35}Cl tiene una sección eficaz de absorción $\sigma \approx 43b$ (H, $\sigma \approx 0.33b$) abundancia del $\sim 75\%$, no es contaminante, se disuelve fácil en agua y es muy barato. ¡ $E_\gamma < 8.5 \text{ MeV}$!



Database of prompt gamma rays from slow neutron capture for elemental analysis, R. B. Firestone, H. D. Choi, R. M.

Lindstrom, et al. IAEA 2004. <https://escholarship.org/uc/item/1wj43711>

¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

Pensando en un elemento no contaminante, barato y fácil de conseguir → usamos ¡NaCl!



¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

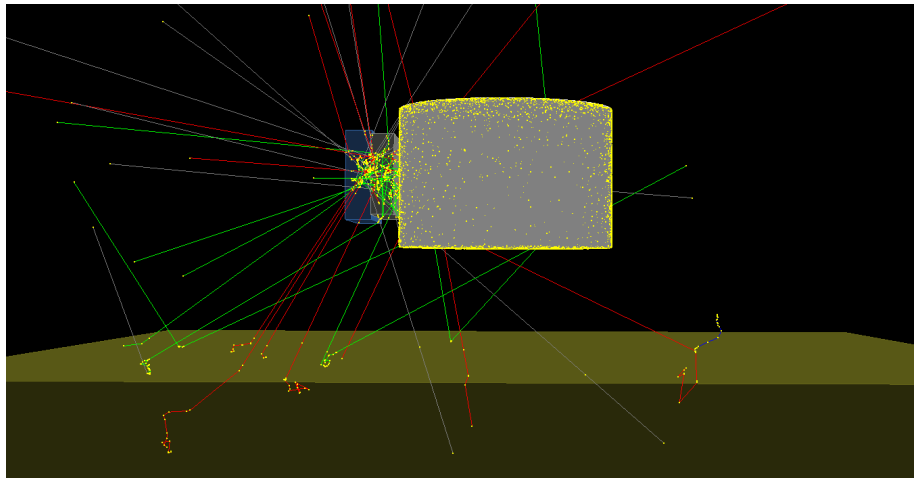
Pensando en un elemento no contaminante, barato y fácil de conseguir → usamos ¡NaCl!



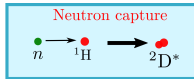
¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?



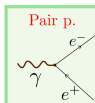
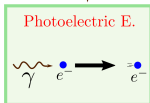
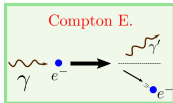
Simulaciones con geometría realista en Geant4



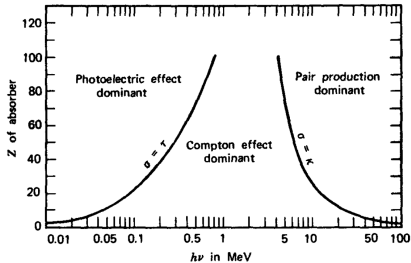
Detección de neutrones con WCD



$$\gamma = 2.22 \text{ [MeV]}$$

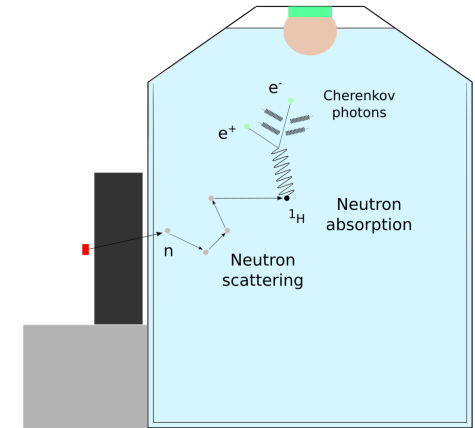


Photon processes that can result in an electron



G. Knoll, Radiation detection and Measurement,

J. Wiley & Sons, Inc.

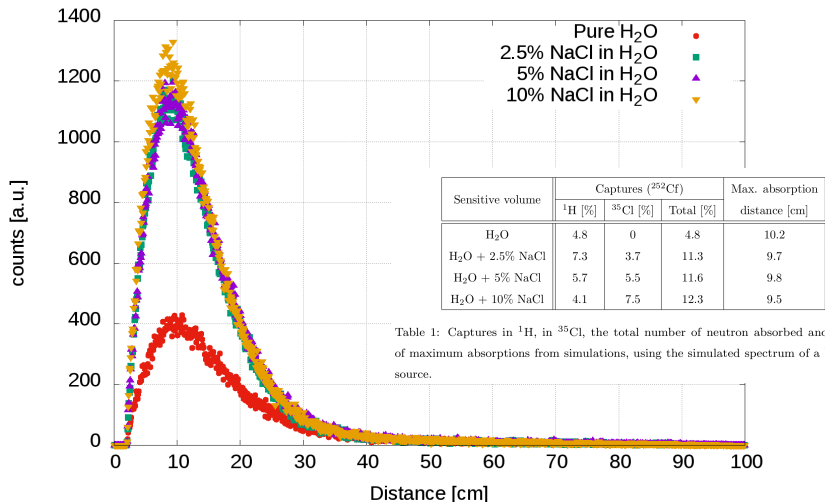


$$\text{Threshold energy } E = m_0 c^2 \left[\frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right]$$

Particle	Mass $\left[\frac{\text{MeV}}{c^2} \right]$	Kinetic E. [MeV]	Threshold energy for prod. of Cherenkov light [MeV]
e^+e^-	0.511	0.264	0.775
$\mu^+\mu^-$	105	54.26	159.26
Proton	938	484	1422

Resultados simulaciones

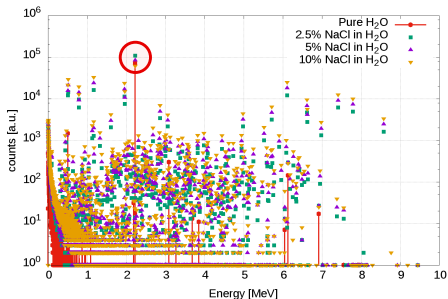
Distancia en la que el neutron es capturado dentro del agua con NaCl



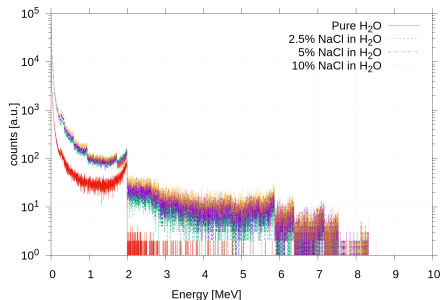
Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.

Resultado simulaciones

Producción de gammas y electrones



Energy distribution of the γ particles produced inside the detector

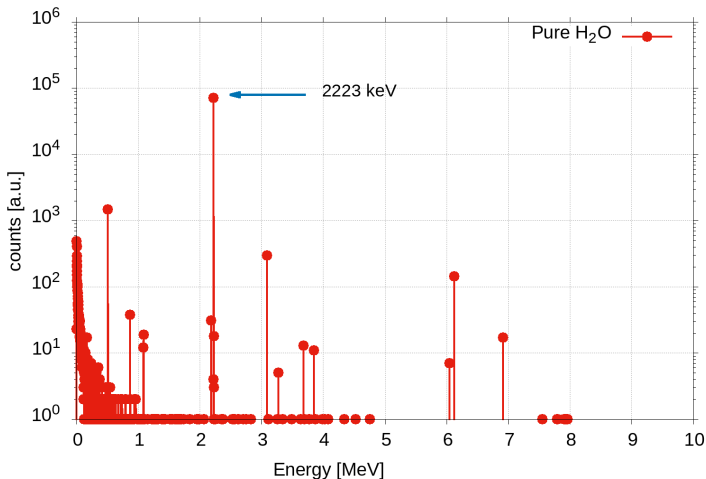


Energy distribution of the electrons produced inside the detector



Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.

Resultado simulaciones → producción de gammas



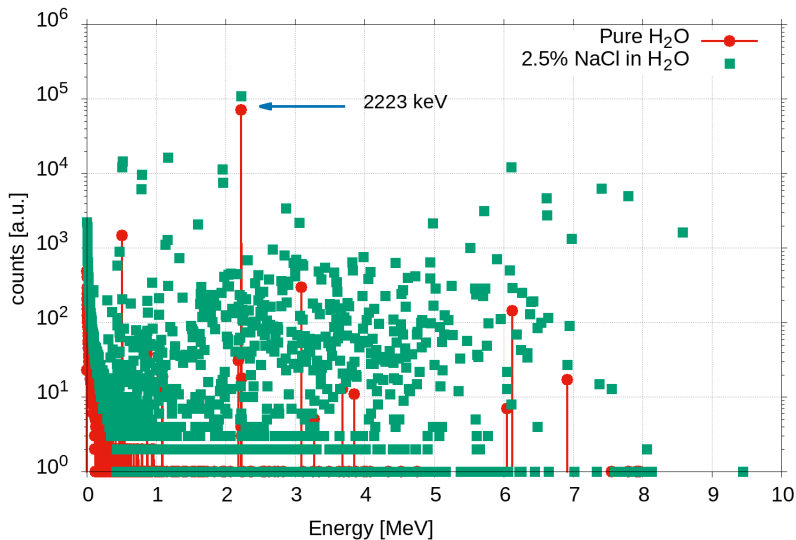
$\downarrow$
 D

$\sim$

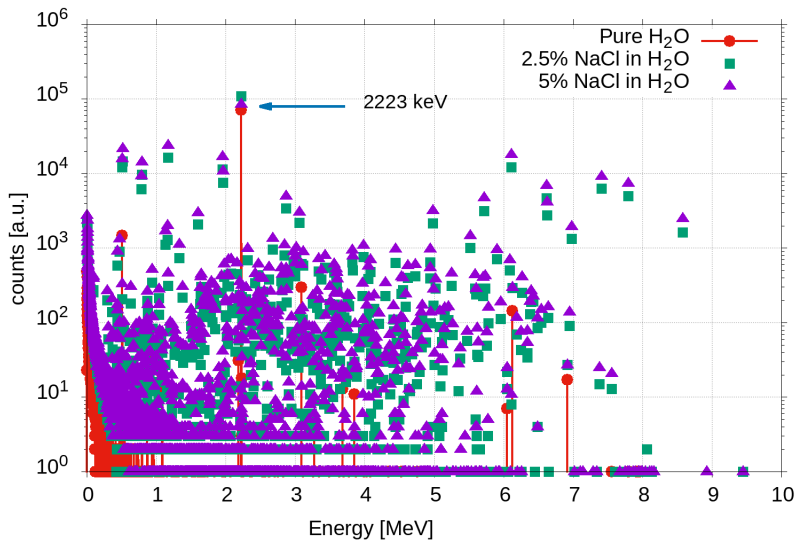
$E_\gamma = 2,22 \text{ MeV}$

$\Rightarrow$ supera la energía umbral para
generar radiación Cherenkov

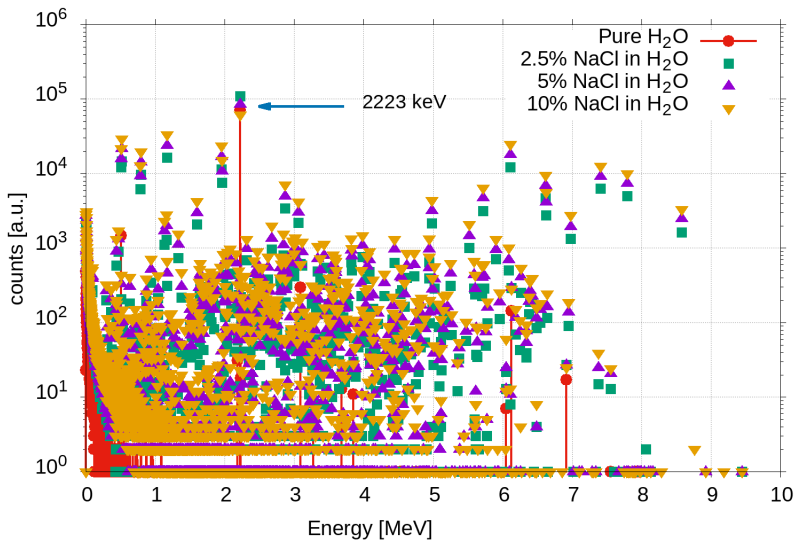
Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production



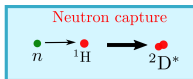
Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production



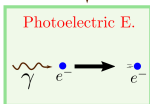
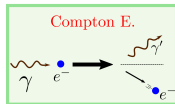
Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production



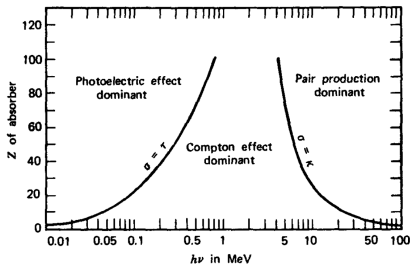
Detección de neutrones con WCD



$$\gamma = 2.22 \text{ [MeV]}$$



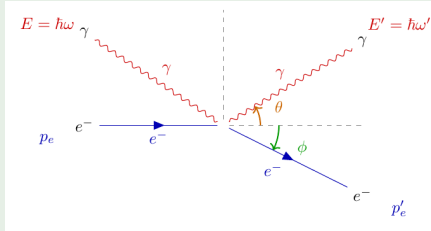
Photon processes that can result in an electron



G. Knoll, Radiation detection and Measurement,

J. Wiley & Sons, Inc.

Compton scattering

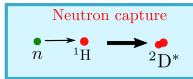


$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

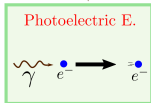
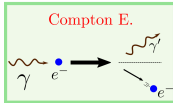
θ es el ángulo del fotón $\therefore T_{elec} = E_{\gamma} - E_{\gamma'}$

Energía máx. electrón $\rightarrow \theta = \pi$

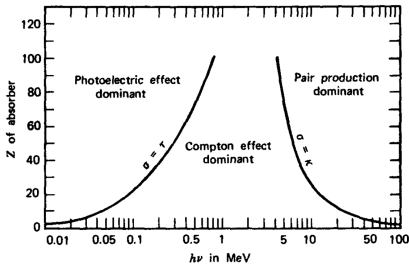
Detección de neutrones con WCD



$$\gamma = 2.22 \text{ [MeV]}$$



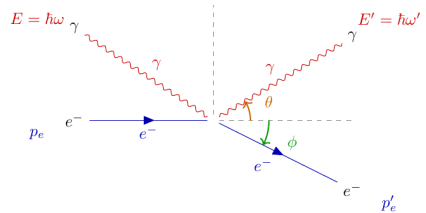
Photon processes that can result in an electron



G. Knoll, Radiation detection and Measurement,

J. Wiley & Sons, Inc.

Compton scattering



$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

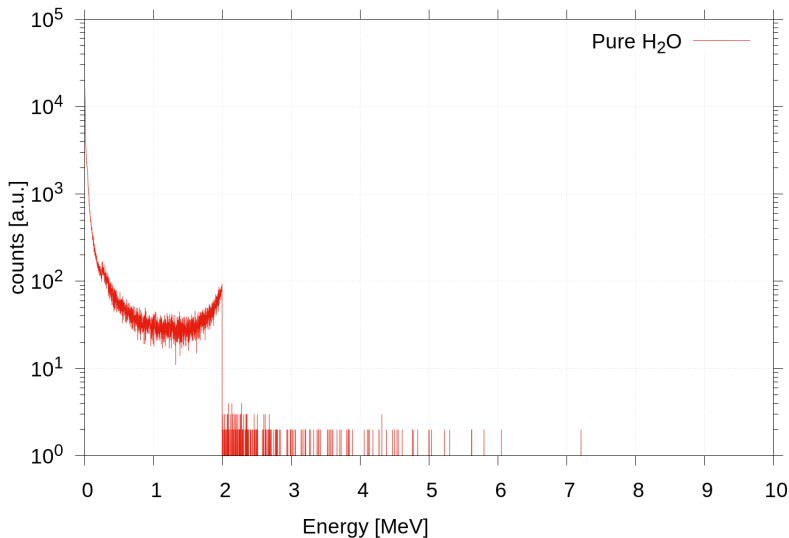
θ es el ángulo del fotón $\therefore T_{elec} = E_{\gamma} - E_{\gamma'}$

Energía máx. electrón $\rightarrow \theta = \pi$

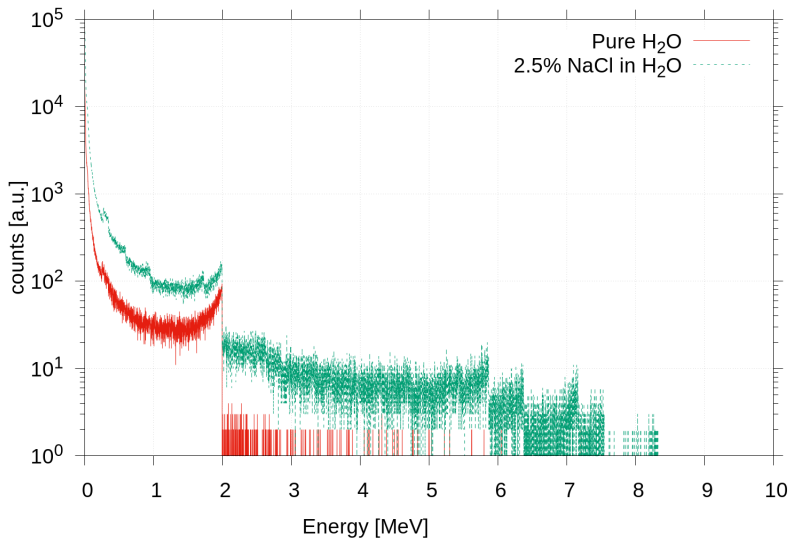
$$E_{elec}^{max} = E_{\gamma} \left(1 - \frac{1}{1 + 2 \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2}} \right)$$

(si $E_{\gamma} = 2.22 \text{ MeV} \Rightarrow T_{elec} \sim 1991 \text{ keV}$)

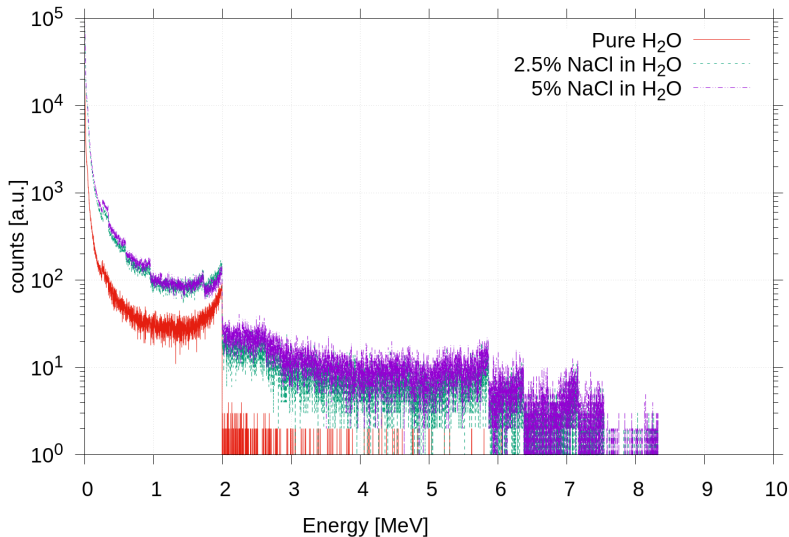
Resultado de simulaciones → producción de electrones



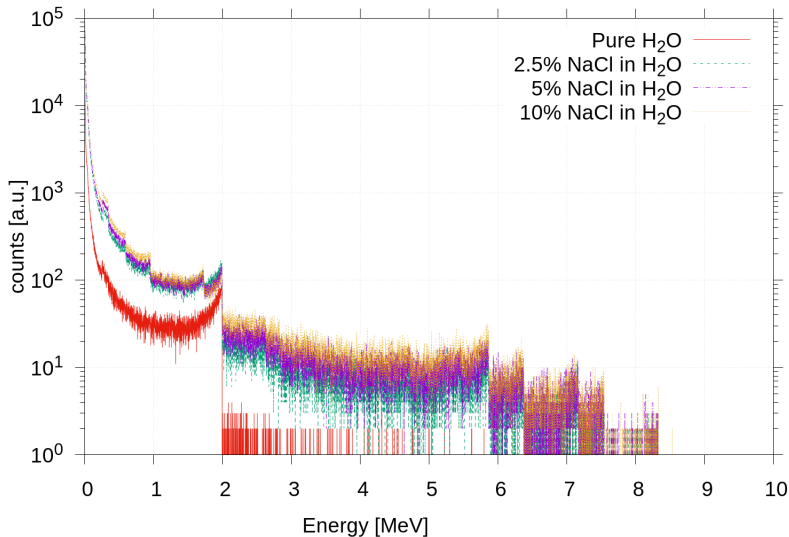
Resultado de simulaciones → producción de electrones



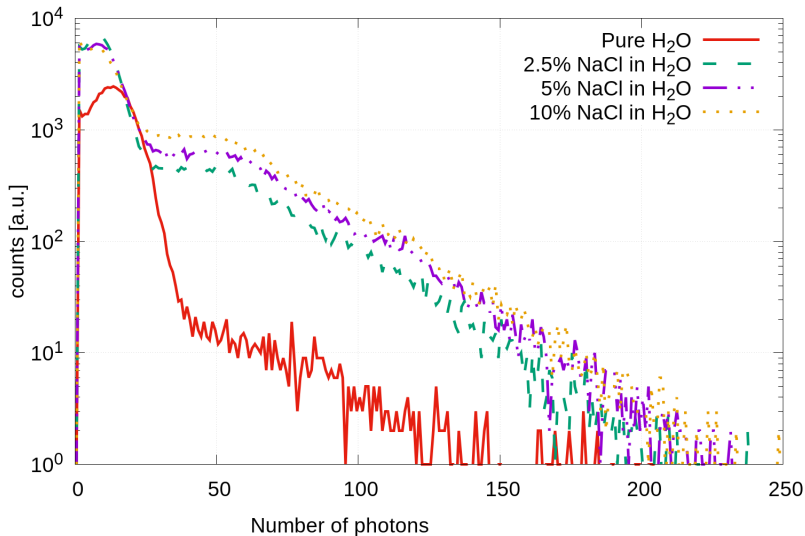
Resultado de simulaciones → producción de electrones



Resultado de simulaciones → producción de electrones



Resultado de simulaciones → producción de fotones Cherenkov



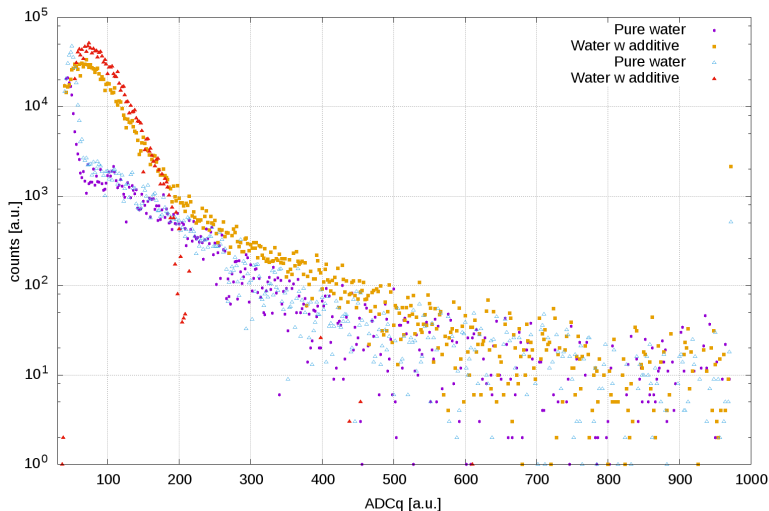
Resultados utilizando una fuente de Cf y dopante



Small det.	Big det.
$h = 62 \text{ cm}$	133 cm
$\varnothing = 96 \text{ cm}$	96 cm
$V = 500 \text{ l.}$	1000 l.

Resultado experimental usando NaCl como dopante

Histograma de carga usando una fuente de Cf (restando el fondo de radiación)

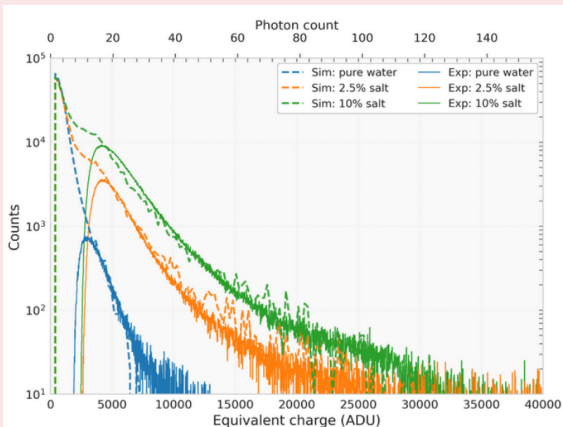


Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarin, et al. NIM A 955 (2020)163172 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2019.163172>

Comparación simulación experimento

Histograma de carga usando una fuente de AmBe (restando el fondo de radiación)



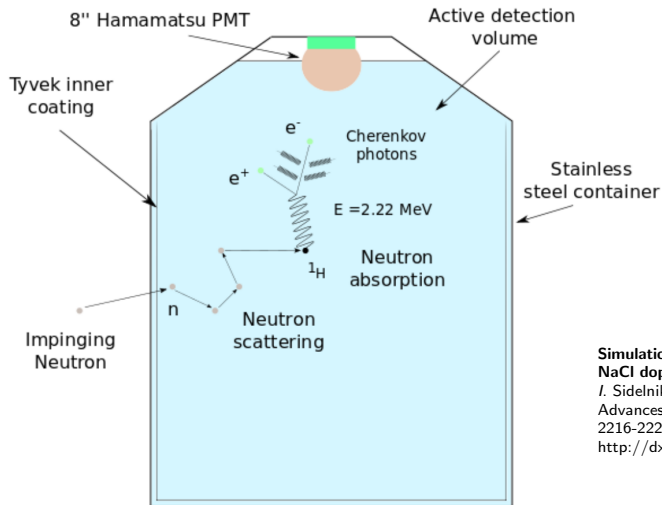
Water Cherenkov Detectors in Precision Agriculture: A Novel Approach for High-Resolution Soil Moisture Monitoring. C.

Sarmiento Cano, J. Betancourt, A. Núñez Selin, L. Miranda Leuro, I. Sidelnik, H. Asorey, L. Núñez. NIM A (2026)

<https://doi.org/10.1016/j.nima.2026.171620>

¿Qué pasa para neutrones de muy alta energía?

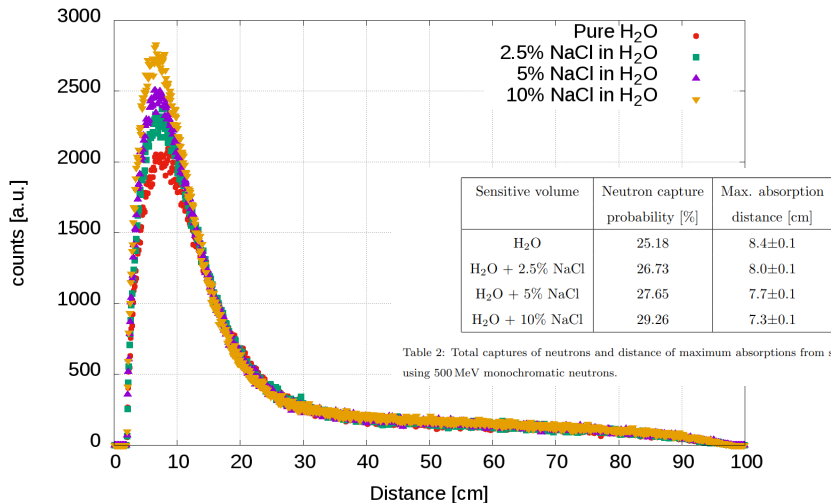
Neutrones de 500 MeV



Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.
I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.
Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222
<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

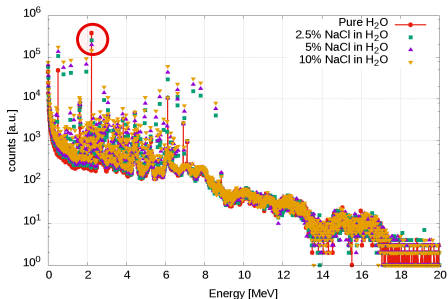
¿Qué pasa para neutrones de muy alta energía?

Distancia en la que el neutron es capturado dentro del agua con NaCl

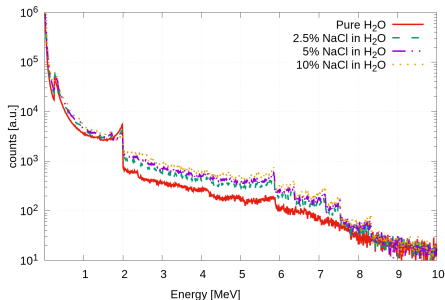


Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.

Resultado simulaciones → producción de gammas y electrones



Distribución de energía de γ producidas dentro del detector.



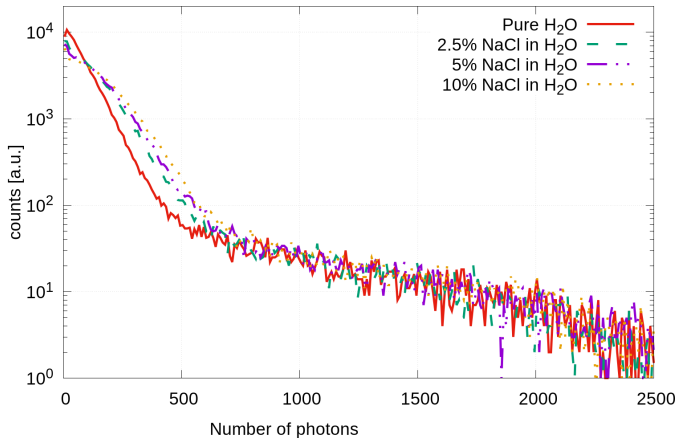
Distribución de energía de electrones producidas dentro del detector.

Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al. Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222

<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

Resultado de simulaciones → producción de fotones Cherenkov



Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarin, et al. Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222

<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

Detección de neutrones utilizando Detectores Cherenkov en agua

- ① La **humedad del suelo** es crítica para agricultura, clima y prevención de desastres.
- ② Los métodos **convencionales** son puntuales y no escalan a grandes áreas.
- ③ Los **neutrones cósmicos** ofrecen una alternativa para mediciones a gran escala.
- ④ Los **detectores Cherenkov en agua (WCD)** pueden detectar neutrones mediante:
 - Captura de neutrones por H o Cl
 - Emisión de rayos γ de captura
 - Producción de electrones que generan luz Cherenkov
- ⑤ El **dopaje** con NaCl mejora significativamente la eficiencia de detección.

Conclusiones

Logros

- **Prueba de concepto** exitosa: WCD detecta neutrones con fuentes AmBe y ^{252}Cf .
- Los γ de captura con $E_\gamma = 2,22 \text{ MeV}$ son los principales productos.
- El **NaCl** como dopante no contaminante mejora la eficiencia (^{35}Cl , $\sigma \approx 43 \text{ b}$).
- Simulaciones con **Geant4** validadas experimentalmente.

Trabajo futuro

- Aumentar concentración de NaCl y probar otros dopantes.
- Refinar simulaciones para neutrones de alta energía.
- Implementar WCD en **agricultura de precisión** para monitoreo de humedad.

Potencial

Los WCD dopados pueden **reemplazar o complementar** a los detectores de ^3He , escasos y costosos.



¡Gracias!