

# Curso: Introducción a la Física de Neutrinos.

## Fundamentación y Objetivos

La existencia de los neutrinos fue sugerida por el Físico austríaco Wolfgang Pauli en 1930 y ocho años después el italiano Enrico Fermi desarrolló una teoría explicativa bautizando a la partícula Neutrino, que en italiano significa “pequeño Neutrón”. Recién en 1956 dos físicos estadounidenses, Frederick Reines y Clyde Cowan, pudieron detectar experimentalmente por primera vez a los neutrinos. ¿Por qué son tan escurridizas estas partículas? –“Porque *no tienen masa* y por ende no interactúan con la materia”, era la respuesta hasta el momento.

Desde principios del siglo XXI, después de varios experimentos llevados a cabo en las instalaciones del Observatorio de Neutrinos de Sudbury (SNO) en Canadá y el Super-Kamiokande en Japón entre otros, se sabe, contrariando al modelo *electro-débil*, que estas partículas *tienen masa* pero muy pequeña, y es muy difícil medirla.

En 2015 se reconoció con el Premio Nobel de Física al japonés Takaaki Kajita y el canadiense Arthur B. McDonald por resolver el enigma de los neutrinos al descubrir sus oscilaciones, un hallazgo que prueba que tienen masa y reta el Modelo Estándar de la física de partículas. Al año 2016, la cota superior de la masa de los neutrinos es menos de una milmillonésima parte de la masa de un átomo de hidrógeno. Este valor es tan pequeño que su interacción con las demás partículas es mínima, por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla.

En los cursos de Formación Docente no hay instancias donde el estudiante tome contacto con la Física de Partículas y menos aun con resultados de física del Siglo XXI, sin embargo, por la relevancia y actualidad del tema es imprescindible que los docentes de Formación Docente tengan una idea de sus fundamentos. El curso tiene por objetivo acercar a los docentes temas que son hoy fronteras del conocimiento, con un enfoque riguroso y adaptado a la formación previa de los participantes.

El curso se realiza en el marco del convenio entre el Departamento de Física del CFE y el Instituto de Física de la Facultad de Ciencias. Estará adaptado para egresados de Formación Docente.

## Contenidos del curso

1. Motivación: Premio Nobel de física 2015 por el descubrimiento de las oscilaciones de neutrinos.
2. Introducción histórica.
  - La física “de partículas” a principios del S. XX.
  - Repaso de Relatividad Especial y de nociones básicas de Mecánica Cuántica.
  - Cinemática del decaimiento  $\beta$ - nuclear. Postulado de Pauli de la existencia de los neutrinos.

3. Introducción al Modelo Estándar de Física de Partículas.
  - Interacciones electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil. El modelo de quarks y mediadores de las interacciones. Hadrones, leptones, bosones.
  - Medidas en física de partículas: tiempos de decaimiento y secciones eficaces de interacción.
  - Diagramas de Feynman para la interacción electrodébil. Corrientes neutras y cargadas de leptones y quarks. Sabores de neutrinos en la interacción débil.
  - Reacciones de producción de neutrinos.
4. Mecanismos experimentales de detección de neutrinos.
  - Interacción de partículas con la materia. Efecto Cherenkov.
  - Detectores de centelleo. Fotomultiplicadores.
5. Mediciones experimentales de flujo de neutrinos.
  - Problemas experimentales de los neutrinos solares y atmosféricos.
6. Oscilaciones de neutrinos.
  - Ecuación de propagación y cambio de sabor de neutrinos: superposición de estados de masa.
  - Experimentos de oscilaciones de neutrinos. Matriz de mezcla.
7. Masas de los neutrinos.
  - Posibles extensiones del Modelo Estándar para resolver este problema.
  - Experimentos de neutrinos en la actualidad.
  - Perspectivas.

### Docente a cargo

El curso estará a cargo de Lucía Duarte Pastorino, Doctora en Física por la UdelaR y Profesora de Física egresada del Instituto de Profesores Artigas. Su tesis doctoral se tituló *Majorana neutrinos in an effective lagrangian approach* y su área de investigación actual es la Fenomenología de Física de Partículas y la Física de Neutrinos. El CV de la Dra. Duarte se encuentra en línea en

[https://buscadores.anii.org.uy/buscador\\_sni\\_old/exportador/ExportarPdf?hash=072bfa384743f9603ad8e59053601489](https://buscadores.anii.org.uy/buscador_sni_old/exportador/ExportarPdf?hash=072bfa384743f9603ad8e59053601489)

### Cupos, destinatarios y formato

El curso tendrá un cupo de 25 estudiantes y estará dirigido a docentes del departamento de Física del CFE y docentes de Enseñanza Media. Las clases se desarrollarán en la Facultad de Ingeniería de la UdelaR, serán transmitidas en directo por Video-Conferencia y los videos estarán accesibles para consultas posteriores y el curso tendrá una plataforma por Internet (EVA). En caso que las inscripciones superen el cupo se priorizará a los docentes del CFE.

### Carga horaria

Horas presenciales: 30 horas

Horas de trabajo independiente: 30 Horas

Total: 4 créditos (60 horas de trabajo del estudiante).

---

## Evaluación

- Los participantes realizarán una serie de evaluaciones cortas durante el curso.
- Deberán elaborar y redactar un problema que involucre los conceptos de Física de Partículas introducidos en el curso. El planteo del problema deberá estar adaptado al nivel de un curso de Formación Docente. Además del planteo del problema se debe proporcionar su solución.

Plazo de entrega del trabajo final: **31 agosto 2018.**

## Bibliografía de referencia

- Introduction to Elementary Particles. David Griffiths (2a edición en inglés 2008).
- Introduction to Particle and Astroparticle Physics. Alessandro De Angelis, Mario Joao Martins Pimenta (edición en inglés, Springer 2015, accesible en portal Timbo).
- Modern Particle Physics. Mark Tomson (edición en inglés, Cambridge University Press, 2013).
- Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Robert Eisberg y Robert Resnick (edición en inglés de 1985).
- Física Nuclear y de partículas. Antonio Ferrer Soria. Publicaciones de la Universidad de Valencia (en español, 2006).