



**phy6cool 2021**

*Esquema de contenidos*

# Phy6cool

## 2021 - ESQUEMA DE CONTENIDOS

Guión detallado de contenidos teóricos y ejercicios que se impartirán durante la escuela Phy6cool 2021. Para más información:

<http://phy6cool.ciemat.es/>

[phy6cool@ciemat.es](mailto:phy6cool@ciemat.es)

### Contenidos de temática transversal (*leptones*)

e:	INTRODUCCIÓN TEÓRICA	6
$\mu$ :	INSTRUMENTACIÓN (I & II)	8
$\tau$ :	COMPUTACIÓN CIENTÍFICA	9

### Contenidos teóricos (*quarks*)

UP:	FÍSICA DE COLISIONADORES (I & II)	10
DOWN:	NEUTRINOS	10
CHARM:	ASTROPARTÍCULAS	12
STRANGE:	MATERIA OSCURA	12
TOP:	COSMOLOGÍA	14
BOTTOM:	ASTROFÍSICA	15

Ejercicios prácticos	16
----------------------	----

# CONTENIDOS DE TEMÁTICA TRANSVERSAL (leptones)

## **e: INTRODUCCIÓN TEÓRICA**

1. Los pilares de la física
  - a. Mecánica Cuántica y Relatividad General
2. Física de Partículas
  - a. Perspectiva histórica
  - b. Electrodinámica clásica
  - c. Cromodinámica cuántica
  - d. El sector débil y la ruptura espontánea de simetría: el bosón de Higgs
  - e. Neutrinos: un mundo aparte
  - f. El Modelo Estándar
  - g. Física más allá del Modelo Estándar
3. Cosmología
  - a. Perspectiva histórica: expansión acelerada del Universo, la materia oscura
  - b. Soluciones de las ecuaciones de Einstein: la métrica FRWL
  - c. El Fondo Cósmico de Microondas
  - d. El Modelo Cosmológico Estándar:  $\Lambda$ CDM
  - e. Cosmología y ondas gravitacionales
4. Problemas abiertos en física de partículas y cosmología

---

## REFERENCIAS

1. En sus versiones en inglés, las entradas en Wikipedia del Modelo Estándar y de la Relatividad General ofrecen una completa lista de libros de texto (básicos y avanzados) y artículos científicos:
  - a. Modelo Estándar: [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_Model#Further\\_reading](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model#Further_reading).
  - b. Relatividad General: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_relativity#Further\\_reading](https://en.wikipedia.org/wiki/General_relativity#Further_reading)
2. Otros libros:
  - a. Notes on Quantum Mechanics, Enrico Fermi, Chicago University Press.

- b. QED: The Strange Theory of Light and Matter, Richard P. Feynman, Princeton University Press.
  - c. Quantum Chromodynamics: An Introduction to the Theory of Quarks and Gluons, F.J. Yndurain, Springer.
  - d. Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity, Steven Weinberg, ISBN: 978-0-471-92567-5, Wiley.
  - e. Gravitation, C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, Princeton University Press.
3. Para aspectos experimentales de la física de partículas, medidas y artículos sobre los datos y su análisis, un artículo (libro) de referencia es The Review of Particle Physics (2020), P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020). Versión online gratuita: <https://pdg.lbl.gov/>.

## u: INSTRUMENTACIÓN (I & II)

1. Interacción de partículas con la materia
  2. Tipos de detectores
    - a. Partículas cargadas - detectores gaseosos
    - b. Partículas cargadas - detectores de estado sólido
    - c. Partículas cargadas - centelleadores
    - d. Partículas neutras - fotodetectores
    - e. Identificación de partículas
    - f. Calorimetría
  3. Aceleradores
    - a. Historia de los aceleradores
    - b. Tipos de aceleradores
    - c. Componentes
  4. Experimentos
    - a. Experimentos de colisionadores
      - i. *CMS (Compact Muon Solenoid)*
    - b. Experimentos de neutrinos
    - c. Experimentos de búsqueda de materia oscura
    - d. Telescopios
    - e. Detectores de ondas gravitacionales
    - f. Rayos cósmicos
  5. DAQ / TRIGGER
    - a. Sistemas
- 

### REFERENCIAS

1. Gaseous Radiation Detectors. Fundamentals and Applications : Fabio Sauli, ISBN: 9781107043015
2. Particle Detectors: Fundamentals and Applications: Hermann Kolanoski , Norbert Wermes
3. <https://home.cern/science/experiments/how-detector-works>

## **$\tau$ : COMPUTACIÓN CIENTÍFICA**

1. El papel de la computación en la ciencia moderna.
    - a. Contexto histórico: la era de los datos.
    - b. Gestión de cantidades masivas de datos en los experimentos de física.
  2. La computación para el físico experimental.
    - a. Tecnologías y tendencias.
  3. Introducción al entorno de *Jupyter Notebooks* y el ecosistema de *Python*
  4. Breve introducción a las redes neuronales y aplicaciones
- 

### REFERENCIAS

1. I. J. Taylor, E. Deelman et al, Workflows for e-Science, Springer-Verlag London Limited, 2007.
2. C. M. Bishop, Pattern recognition and machine learning, Springer, 2006.
3. The HEP Software Foundation, J. Albrecht, A.A. Alves et al. A Roadmap for HEP Software and Computing R&D for the 2020s. Comput Softw Big Sci 3, 7, Springer, 2019, <https://doi.org/10.1007/s41781-018-0018-8>
4. The past, present and future of computing in high-energy physics, Physics World, 26 Nov 2019, <http://physicsworld.com/a/the-past-present-and-future-of-computing-in-high-energy-physics>
5. Machine learning proliferates in particle physics, Symmetry, 8 Jan 2018, <https://www.symmetrymagazine.org/article/machine-learning-proliferates-in-particle-physics>
6. Worldwide LHC Computing Grid, <http://wlcg-public.web.cern.ch/>
7. The Scikit-HEP project, <https://github.com/scikit-hep/scikit-hep>
4. Project Jupyter (Jupyter Notebooks y JupyterLab), <https://jupyter.org/>

# CONTENIDOS TEÓRICOS (quarks)

## UP: FÍSICA DE COLISIONADORES (I & II)

1. Introducción a la física en colisionadores
  - a. Breve introducción histórica
  - b. Panorama actual
2. Entendiendo los datos: del detector al análisis
3. Física en el LHC
  - a. Midiendo el Modelo Estándar
  - b. Física del Quark Top
  - c. Física del Bosón de Higgs
  - d. Más allá del Modelo Estándar
  - e. Física del Sabor
  - f. Colisiones de Iones Pesados
4. Futuros proyectos
  - a. Futuros colisionadores e+e- (Higgs Factories)
  - b. Futuros colisionadores de hadrones
  - c. Otras tecnologías

---

## REFERENCIAS

1. <https://home.cern/science/physics>
2. <http://cms.ciemat.es/>

## DOWN: NEUTRINOS

1. Historia del neutrino
  2. Oscilaciones de neutrinos
    - a. Formalismo
    - b. Neutrinos solares
    - c. Neutrinos atmosféricos
    - d. Neutrinos de reactores y aceleradores
    - e. Oscilaciones en materia y modelos de masa
  3. Medida directa de la masa del neutrino
  4. Desintegración Doble Beta
  5. Neutrinos en cosmología
  6. Neutrinos de supernovas y otras fuentes
  7. Neutrinos estériles
- 

### REFERENCIAS

1. <https://neutrinos.fnal.gov/>
2. Sergio Pastor, Los neutrinos, Editorial CSIC y Catarata ISBN: 978-84-00-09863-6
3. Hitoshi Murayama, The origin of neutrino mass, Physics World, Volume 15, 2002
4. <http://neutrinos.ciemat.es/>
5. <https://www.dunescience.org/>



## CHARM: ASTROPARTÍCULAS

1. Introducción a los rayos cósmicos
  - a. Introducción histórica
  - b. Espectro y composición (cósmicos cargados y gammas)
  - c. Origen y propagación
2. Rayos cósmicos galácticos
  - a. Panorama experimental (AMS, CALET, DAMPE,...)
  - b. Resultados actuales
  - c. Núcleos (medidas de flujos...)
  - d. Antimateria. Búsqueda indirecta de DM (Flujo de positrones, anisotropías, ...)
3. Rayos cósmicos extragalácticos
  - a. Panorama experimental (Pierre Auger, Telescope Array,...)
  - b. Resultados actuales (espectro a muy alta energía, composición, anisotropías...)
  - c. Conexión con neutrinos
4. Rayos gamma
  - a. Panorama experimental (HESS, MAGIC, VERITAS, Fermi, HAWC, CTA..)
  - b. Resultados actuales
  - c. Conexión con rayos cósmicos cargados
5. Preguntas abiertas y perspectivas de futuro

---

### REFERENCIAS

1. M.S. Longair, High Energy Astrophysics, Cambridge University Press, 2011
2. M. Spurio, Probes of Multimessenger Astrophysics, Springer, 2018
3. R. Aloisio et al., Multiple Messengers and Challenges in Astroparticle Physics, Springer, 2018
4. M. Kachelriess, D.V. Semikoz, Cosmic Ray Models, <https://arxiv.org/abs/1904.08160>
5. S. Gabici et al., The origin of Galactic cosmic rays: challenges to the standard paradigm, <https://arxiv.org/abs/1903.11584>

## STRANGE: MATERIA OSCURA

1. La materia oscura en la física de partículas y en la cosmología
    - a. Primeras evidencias observacionales
    - b. Medidas precisas de su densidad y distribución espacial
  2. Candidatos a materia oscura
    - a. Agujeros negros primordiales
    - b. WIMPS
    - c. Axiones y otros candidatos
  3. Detección directa de WIMPs
    - a. Panorama observacional presente y futuro:
      - i. Estado general de la búsqueda directa
      - ii. El “problema” de DAMA/LIBRA
    - b. Detección con TPCs de Ar y Xe líquidos
    - c. El experimento DarkSide
- 

### REFERENCIAS

1. <http://darkmatter.ciemat.es/research-output>

## TOP: COSMOLOGÍA

1. Modelo estándar cosmológico
    - a. Breve historia del tiempo. Desde el Big-bang hasta nuestros días.
    - b. Evidencias científicas del modelo estándar
    - c. Incógnitas por resolver
  2. ¿Cómo estudiamos cosmología?
    - a. CMB
    - b. Galaxy surveys:
      - i. *DES*
      - ii. *El futuro: LSST, DESI y Euclid*
    - c. Supernovas Ia, cosmografía con strong lenses...
    - d. Ondas gravitacionales como sirenas estándar
  3. Incógnitas y tensiones en los datos
    - a. Tensiones en los datos... nueva física?
      - i. *H0*
      - ii. *CMB (AL inconsistencia interna, curvatura !=0?)*
      - iii. *Diferencias en S8*
    - b. Alternativas y extensiones al modelo estándar
- 

## REFERENCIAS

1. A. Liddle. *An Introduction to Modern Cosmology*. Wiley 2003
2. P. Schneider. *Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction*. Springer 2015
3. S. Dodelson. *Modern Cosmology*. Elsevier 2020
4. J. Peacock. *Cosmological Physics*. CUP 2012
5. *Observational Probes of Cosmic Acceleration*: <https://arxiv.org/abs/1201.2434>

## **BOTTOM: ASTROFÍSICA**

1. Introducción astrofísica
    - a. Luminosidad y flujo
    - b. Magnitudes y colores
  2. Evolución estelar
  3. Atmosfera estelar
    - a. Tipos de estrellas
  4. Poblaciones estelares
    - a. ¿Qué es una población estelar?
    - b. ¿Para qué sirve una población estelar?
    - c. ¿Cómo se crea una población estelar?
- 

### REFERENCIAS

1. An introduction to modern astrophysics. B.W. Carroll & D. Ostie
2. Stellar structure and evolution. A. Weigert and Rudolf Kippenhahn
3. PopStar I: evolutionary synthesis model description. M. Mollá, M.L. García Vargas & A. Bressan

# EJERCICIOS PRÁCTICOS

## **EJERCICIO 1**

### **Machine learning para física de partículas**

Utilizando la tecnología de los *Jupyter notebooks*, y el lenguaje de programación *Python*, se desarrollará un programa que hace uso de una red neuronal. A continuación se trabajará con una aplicación de esta tecnología a un caso práctico de física de partículas.

## **EJERCICIO 2**

### **Estudio de colisiones protón-protón con el experimento CMS**

A partir de datos reales de colisiones protón-protón del acelerador LHC recogidas por el experimento CMS, los estudiantes tendrán la oportunidad de aprender a seleccionar eventos, observar desintegraciones de resonancias (bosones electrodébiles, Higgs y otras resonancias pesadas) y calcular magnitudes físicas asociadas. Una forma de ilustrar el proceso de análisis completo en física de colisionadores.

## **EJERCICIO 3**

### **Desentrañando los misterios del universo con rayos cósmicos y gammas**

El ejercicio de astrofísica de partículas tiene como objetivo mostrar la conexión entre medidas de rayos cósmicos y rayos gamma. Para ello, la primera parte de la práctica consistirá en la caracterización de fuentes astrofísicas con rayos gamma. En la segunda parte, se analizará la posible contribución de un tipo particular de fuente (púlsares) al espectro de positrones medido por AMS.

## **EJERCICIO 4**

### **MINERvA Neutrino Masterclass**

El ejercicio de neutrinos se basa en realizar una masterclass de neutrinos del experimento MINERvA. Los/las estudiantes se convertirán en físicos/as experimentales de neutrinos por un día. Aprenderán sobre el experimento y la física de neutrinos, harán una medida de la interacción de los neutrinos con el núcleo atómico, analizarán los resultados y los discutirán con sus compañeros/as.