

# FS-0619 Mecánica Teórica II

## Carta al estudiante

Ciclo: I-2018  
Horas: martes y viernes de 5:00 a 6:50 p.m., aula FM-102  
Requisito: FS-0515 (Mecánica Teórica I)  
Créditos: 3  
Modalidad: propio  
Profesor: Alejandro Jenkins, alejandro.jenkins@gmail.com, of. FM-109A, casillero #54  
Asistente: Juan Sebastián Pereira, sebas.9624@gmail.com  
Sitio web: <https://sites.google.com/site/continuacionanalitica/>

### Motivación

“La mecánica racional será la ciencia de los movimientos resultantes de cualesquiera fuerzas, y de las fuerzas necesarias para producir cualquier movimiento, precisamente propuesto y demostrado [...] Toda la dificultad de la [mecánica] parece consistir en esto: a partir de los fenómenos del movimiento investigar las fuerzas de la naturaleza, y luego a partir de esas fuerzas demostrar los otros fenómenos.”

– Isaac Newton, prefacio a los *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687)

“Lagrange [...] solía referirse a [Newton] como el mayor genio que había existido y luego añadía: *y el más afortunado; solo se descubre una vez el sistema del mundo.*”

– Jean-Baptiste Joseph Delambre, “Reseña de la vida y trabajos del Sr. conde J.-L. Lagrange” (1867)

“Al plantear las ecuaciones en esta forma, la única motivación de Hamilton fue la belleza matemática. Podría haber dicho ‘Es muy bonito escribir las ecuaciones de esta manera, pero podríamos seguir usando las ecuaciones en la forma dada por Newton.’ Pero Hamilton parece haber tenido una profunda comprensión de lo que es importante—una de las comprensiones más profundas, me parece a mí, que haya tenido jamás un matemático. Encontró una forma de escribir las ecuaciones de la mecánica cuya importancia solo sería revelada cien años después.”

– Paul Dirac, *Direcciones en la física* (1978)

La mecánica es el estudio del equilibrio y el movimiento de los cuerpos. La secuencia de los cursos FS-0515 y FS-0619 cubre la mecánica clásica de Newton desde el punto de vista analítico desarrollado posteriormente por Euler, Lagrange y Hamilton, entre otros. También aborda las correcciones a la mecánica newtoniana introducidas por la teoría restringida de la relatividad de Einstein.

La mecánica clásica es uno de los mayores logros intelectuales de la humanidad. Además de representar un paso fundamental en el desarrollo de la física moderna, dio pie a la formulación de diversas ideas y métodos de gran importancia para la matemática pura. Este curso busca familiarizar al estudiante con las ideas principales en este campo, desarrollando herramientas matemáticas y conceptuales esenciales para otras ramas de la física teórica y experimental, entre ellas la mecánica cuántica, la mecánica estadística y la teoría del campo.

### Objetivos

El curso FS-0619 completa la formación en mecánica clásica iniciada en FS-0515. De concluir exitosamente el curso, el estudiante dominará las tres formulaciones de la mecánica analítica (Euler-Lagrange, Hamilton y Hamilton-Jacobi) y podrá aplicarlas a la resolución de problemas concretos que involucren sistemas de masas puntuales con restricciones, así como a un cuerpo rígido que se mueva en tres dimensiones espaciales. El estudiante también comprenderá y podrá aplicar las técnicas básicas para resolver problemas mecánicos mediante argumentos de simetría y para construir soluciones aproximadas a problemas no analíticos. Finalmente, conocerá los elementos de la mecánica de medios continuos (sólidos elásticos y fluidos) y de la moderna teoría de los sistemas dinámicos no lineales (incluyendo auto-oscilaciones y caos).

## Contenidos

1. Mecánica del cuerpo rígido
  - a. Teorema de Chasles y velocidad angular
  - b. Marco del espacio y marco del cuerpo
  - c. Tensor de inercia y teorema del eje desplazado
  - d. Momentum angular; ecuaciones de movimiento del cuerpo rígido
  - e. Cinemática: Ángulos de Euler
  - f. Ecuaciones dinámicas de Euler (marco del cuerpo)
  - g. Precesión libre del trompo simétrico
  - h. Trompo asimétrico libre; teorema de la raqueta de tenis
  - i. Trompo simétrico pesado: precesión y nutación
  - j. Interacciones de contacto y principio de d'Alembert
2. Fuerzas inerciales
  - a. Marcos de referencia linealmente acelerados y giratorios
  - b. Fuerzas centrífuga, acimutal y de Coriolis; péndulo de Foucault
  - c. Principio de equivalencia de Einstein; principio de Mach
  - d. Fuerzas de marea y precesión de los equinoccios
  - e. Aplicaciones geofísicas de las fuerza de Coriolis
3. Ecuaciones canónicas
  - a. Transformación de Legendre
  - b. Ecuaciones de Hamilton; función de Routh
  - c. Paréntesis de Poisson
  - d. Acción como función de las coordenadas; principio de Maupertuis
  - e. Transformaciones canónicas
  - f. Teorema de Liouville
  - g. Ecuación de Hamilton-Jacobi y aplicaciones
4. Soluciones aproximadas a problemas no analíticos
  - a. Ecuaciones de Hill y Mathieu; resonancia paramétrica
  - b. Osciladores inarmónicos
  - c. Teoría de la perturbación (Lindstedt-Poincaré)
  - d. Resonancias no lineales
  - e. Ecuación de van der Pol y auto-osciladores
5. Mecánica de los medios continuos
  - a. Tensores de deformación y esfuerzo
  - b. Sólidos elásticos
  - c. Fluidos: ideal, newtoniano y no newtoniano
  - d. Coordenadas lagrangianas y eulerianas para flujos
  - e. Ecuación de Navier-Stokes
  - f. Número de Reynolds
6. Teoría de los sistemas dinámicos no lineales
  - a. Espacio de fase: equilibrios estables e inestables; ciclos límite
  - b. Bifurcaciones; mapa logístico
  - c. Caos: sensibilidad a las condiciones iniciales y exponente de Lyapunov
  - d. Ecuaciones de Lorenz; atractores extraños
  - e. Secciones de Poincaré
  - f. Caos en el sistema solar

## Referencias bibliográficas

El texto principal asignado a este curso es

L. D. Landau y E. M. Lifshitz, *Mecánica*, 2ª ed. en español, (Reverté, 1985).

Landau y Lifshitz ofrecen una excelente organización lógica y una exposición muy clara, pero su discusión de algunos temas puede resultar demasiado breve. Además, estas referencias no cubren los últimos dos temas de los contenidos (medios continuos y sistemas dinámicos no lineales). Por lo tanto se sugiere al estudiante que consulte también otros textos de mecánica teórica para físicos a nivel intermedio, como, por ejemplo:

J. B. Marion, *Dinámica clásica de partículas y sistemas*, (Reverté, 1998)<sup>1</sup> y

J. R. Taylor, *Mecánica clásica*, (Reverté, 2013).

Para los temas 1 y 2 (cuerpos rígidos y fuerzas inerciales) se recomienda como apoyo

D. Morin, *Introduction to Classical Mechanics*, (Cambridge, 2008). Incluye también un capítulo suplementario que cubre parte del tema 3 (ecuaciones canónicas):  
<http://www.people.fas.harvard.edu/~djmorin/chap15.pdf>

Para los puntos 3 e,g (transformaciones canónicas y ecuación de Hamilton-Jacobi) se recomienda como apoyo

H. Goldstein, C. Poole y J. Safko, *Classical Mechanics*, 3a ed. (Addison-Wesley, 2002), caps. 9 y 10

(teniendo en cuenta que este es un libro de texto de posgrado y que, por lo tanto, el nivel al que cubre los temas excede el nivel de este curso). Para los puntos 4 b,c (osciladores inarmónicos y teoría de la perturbación) se recomienda como apoyo el capítulo 5 del texto de Marion. Para los puntos 4 e (auto-osciladores) y 7 a,b (ciclos límite y bifurcaciones de Hopf), se usará como referencia el artículo

A. Jenkins, "Self-oscillation", *Physics Reports* **525**, 167 (2013); disponible en  
<https://arxiv.org/abs/1109.6640>

Para el punto 5 (mecánica de los medios continuos), la referencia principal es

B. Lautrup, *Physics of Continuous Matter*, 2a ed. (CRC Press, 2011).

En torno a la mecánica de fluidos (puntos 5 d-g) se sugiere como referencia de apoyo:

R. P. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics. Vol. II: Electromagnetismo y materia*, ed. bilingüe, (Fondo Educativo Interamericano, 1972), caps. 40 y 41. Disponible en inglés en <http://www.feynmanlectures.caltech.edu>

Para el tema 6 (sistemas dinámicos no lineales) la referencia principal es al cap. 12 del texto de Taylor.

Por favor consulte con el profesor o con el asistente si tiene dificultad para obtener cualquiera de estas referencias.

## Metodología

El profesor impartirá cuatro horas de clase por semana, en dos sesiones de dos horas cada una. Los apuntes correspondientes serán colocados posteriormente en la página del curso. Las clases combinarán exposiciones magistrales con la resolución de ejercicios y la demostración de diferentes conceptos, ya sea con materiales de laboratorio o mediante presentaciones audiovisuales. El

<sup>1</sup> Esta es una traducción de la segunda edición en inglés, de 1970. Hay una tercera edición en inglés que incorpora como primer autor a S. T. Thornton y que no incluye la discusión de teoría de la perturbación para osciladores inarmónicos (punto 4c).

viernes se asignará una tarea, a ser entregada el viernes siguiente. Fuera de la clase, se espera que el estudiante dedique al menos diez horas por semana al curso.

Al preparar las tareas, el estudiante puede consultar sus notas, libro de texto, compañeros, etc., pero *no* es permitido copiar soluciones al mismo problema que encuentre en Internet o en algún otro medio. El profesor se reserva el derecho de pedirle al estudiante que explique en la pizarra su solución a alguna parte de su tarea. Si el alumno no entiende su propia solución, se le anulará el puntaje correspondiente.

La evaluación principal del curso consistirá de dos exámenes parciales y un examen final acumulativo. Todos los exámenes serán a libro cerrado.

## Evaluación

La nota final será calculada según la siguiente distribución:

15%	tareas semanales
25%	primer examen parcial (contenidos 1 y 2)
25%	segundo examen parcial (contenidos 3 y 4)
35%	examen final (acumulativo)

De ser necesario, las notas finales podrán ser ajustadas mediante una curva, a criterio del profesor.

Los exámenes parciales se realizarán en día sábado y durarán tres horas cada uno. Las fechas se indican en el cronograma que acompaña a esta carta. La hora y el lugar de cada examen serán anunciados con antelación en clase. El examen final será el miércoles 11 de julio, de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. (cuatro horas). Habrá un repaso para el examen durante el período de clase del viernes 6 de julio. Habrá un examen de ampliación (para quienes hayan obtenido notas finales de 6 o 6,5) el viernes 20 de julio, en una hora y lugar por definirse.

No se aceptarán tareas atrasadas, pero las dos notas más bajas en las tareas serán obviadas. **Ninguna evaluación se repondrá excepto con la autorización previa del profesor por una razón debidamente justificada, o con una excusa médica presentada según el reglamento universitario.**

## Horas de consulta

Oficina FM-109A, jueves de 5:00 a 7:00 p.m. También puede ser por cita previa en otro horario.

## Cronograma

Este cronograma queda sujeto a posibles ajustes en la distribución precisa de los contenidos:

Fecha	Contenido
K 13-03-18	1 a,b
V 16-03-18	1 c
K 20-03-18	1 d
V 23-03-18	1 e,f
K 27-03-18	Feriado (Semana santa)
V 30-03-18	Feriado (Semana santa)
K 03-04-18	1 g,h
V 06-04-18	1 i,j
K 10-04-18	2 a,b
V 13-04-18	2 b,c
K 17-04-18	2 c,d
V 20-04-18	2 e
<b>S 21-04-18</b>	<b>Primer examen parcial</b>
K 24-04-18	3 a,b (Semana universitaria)
V 27-04-18	Feriado (Día del funcionario)
K 01-05-18	Feriado (Día del trabajo)
V 04-05-18	3 b,c
K 08-05-18	3 d
V 11-05-18	3 e,f
K 15-05-18	3 g
V 18-05-18	4 a,b
K 22-05-18	4 b,c
V 25-05-18	4 c,d
K 29-05-18	4 d,e
V 01-06-18	5 a
<b>S 02-06-18</b>	<b>Segundo examen parcial</b>
K 05-06-18	5 a
V 08-06-18	5 b
K 12-06-18	5 c
V 15-06-18	5 d
K 19-06-18	6 a,b
V 22-06-18	6 b,c
K 26-06-18	6 c,d
V 29-06-18	6 d,e
K 03-07-18	6 e,f
V 06-07-18	Repaso
<b>M 11-07-18</b>	<b>Examen final</b>
V 20-07-18	Examen de ampliación