UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

INSTITUTO DE FÍSICA

APROBADO EN EL CONSEJO DE FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES ACTA 29 DEL 31 de agosto de 2016.

Este curso esta en edición y no es una versión distribuible. Esta disponible para edición en: http://astronomia-udea.co/principal/Curriculo/links/a3ee76.html.

PROGRAMA DE MECÁNICA CELESTE

NOMBRE DE LA MATERIA	Mecánica Celeste
PROFESOR	Jorge Iván Zuluaga Callejas, Bayron Armando Portilla Revelo
OFICINA	6-122
HORARIO DE CLASE	L 16-18, MJ 14-16
HORARIO DE ATENCIÓN	M16-18

Nota 1: *Este programa es válido a partir del semestre 2016-2 hasta que se publique otra versión.*

INFORMACIÓN GENERAL

Código de la materia	0311602
Semestre	*Este programa es válido a partir del semestre 2016-2 hasta que se publique otra versión.*
Área	Astronomía
Horas teóricas semanales	4
Horas teóricas semestrales	64
No. de créditos	4
Horas de clase por semestre	64
Campo de Formación	Astrofísica y Comología
Validable	Si
Habilitable	Si
Clasificable	No
Requisitos	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (0303257), Física Básica III (0302401)
Corequisitos	Ninguno
Programas a los que se ofrece la materia	Astronomía

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Propósito del Curso:	Introducir los formalismos vectorial, lagrangiano y hamiltoniano de la mecánica clásica para aplicarlos en la descripción y solución de problemas que involucren la interacción gravitacional de uno o muchos cuerpos en Astronomía
Justificación:	La gravedad da forma y determina la estructura y evolución del Universo y sus componentes a escala astronómica. Para entender la organización y evolución de los sistemas astronómicos es necesario describir y predecir el comportamiento de sus partes bajo el efecto de su mutua gravitación. Fue precisamente pensando en este problema que Newton estableció las bases de la física teórica a través de su obra maestra Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural (1687). Otros astrónomos, físicos y matemáticos desarrollaron las ideas de Newton con profundidad en los siglos que le siguieron, creando uno de los formalismos físicos y matemáticos más poderosos de la física clásica: la Mecánica Celeste. Inicialmente dirigida a resolver el problema del movimiento de los cuerpos en el Sistema Solar, la Mecánica Celeste se aplica para describir en general problemas que involucran uno o muchos cuerpos que interactúan gravitacionalmente, incluyendo estrellas y planetas en sistemas estelares binarios y múltiples, estrellas en una galaxia, galaxias completas, etc. Los formalismos desarrollados entre otros por Newton, Euler, Lagrange y Hamilton para resolver y estudiar problemas mecánicos en general, incluyendo aquellos de la mecánica celeste, sirvieron como base además para el desarrollo de la moderna mecánica cuántica. De allí, la introducción a estos formalismos no solo permite al estudiante de Astronomía resolver problemas prácticos específicos en su disciplina, sino también como parte de la fundamentación teórica para otros cursos de física, como el curso de Mecánica Cuántica. El curso de Mecánica Celeste es equivalente en contenido al curso de Mecánica Teórica o Mecánica Clásica de los currículos de otros programas de ciencias físicas, incluyendo naturalmente el del programa de Física en el Instituto de Física de la Universidad de Antioquia. La diferencia fundamental entre este curso y el de Mecánica Clásica es que los problemas y aplicaciones considerados aquí son específicos del dominio de las interacciones gravitacionales y en general de los problemas de fuerza central, mientras que en el curso de Mecánica Clásica se consideran ejemplos más diversos. En lo que respecta a la fundamentación teórica básica en los formalismos Lagrangiano y Hamiltoniano ambos cursos tienen la misma profundidad y estructura.

Objetivo General:	Introducir los formalismos vectorial, lagrangiano y hamiltoniano de la mecánica clásica para aplicarlos en la descripción y solución de problemas que involucren la interacción gravitacional de uno o muchos cuerpos en Astronomía
Objetivos Específicos:	Enumerar las propiedades geométricas básicas de las curvas cónicas, parábolas, elipses e hipérbolas. Enumerar las cantidades cinemáticas y dinámicas básicas, así como las leyes fundamentales que las relacionan, usadas para describir el estado dinámico de una partícula o un sistema de partículas en la teoría newtoniana del movimiento. Escribir las ecuaciones de movimiento de un sistema de partículas que interactúan gravitacionalmente (problema de los N-cuerpos) Definir el concepto de constante o integral de movimiento en el formalismo vectorial de la mecánica. Escribir las ecuaciones de movimiento de un sistema de 2 partículas que interactúan gravitacionalmente (problema de los dos cuerpos). Identificar las relaciones matemáticas existentes entre las propiedades dinámicas de un sistema de dos cuerpos (masas, momento angular, energía) y las propiedades geométricas (semilatus rectum, excentricidad) de la trayectoria que ellos describen. Definir el concepto de restricción (constraint) y enumerar sus tipos. Enunciar el principio de D'Alambert. Enunciar el principio de Hamilton. Enumerar las condiciones necesarias para definir el Lagrangiano de un sistema. Definir e identificar las variables cíclicas y los momentos generalizados de un sistema conocido su Lagrangiano. Mostrar a través del concepto de variables cíclicas y momentums generalizados como las simetrías de un sistema y de su Lagrangiano están asociadas con la conservación de cantidades físicas. Definir el potencial efectivo y usarlo para clasificar las órbitas del problema de dos cuerpos sometidos a una fuerza central así como para encontrar los valores límite de la variable radial.

	Definir los elementos orbitales clásicos que permiten identificar la orientación de una órbita cónica en el espacio de 3 dimensiones. Discutir las razones que hacen imposible la solución analítica al problema de los 3 cuerpos y las condiciones requeridas para obtener soluciones restringidas. Definir la constante de Jacobi y su relación con la energía en el sistema de los tres cuerpos. Definir el concepto de curvas de cero velocidad y la manera cómo estas se usan para estudiar las propiedades del sistema restringido circular de los tres cuerpos. Enumerar algunas aplicaciones de las propiedades reconocidas del problema restringido circular de los tres cuerpos. Explicar conceptualmente porque algunos puntos de Lagrange pueden ser puntos estables mientras que otros pueden ser inestables. Enumerar las condiciones requeridas para que el Hamiltoniano coincida con la energía de un sistema y para que esta cantidad se conserve. Definir una transformación canónica y enumerar las condiciones requeridas para que lo sean. Definir los exponentes de Lyapunov como una medida del caos presente en un sistema dinámico. Introducir el concepto de Diagrama de Poincaré y deducir propiedades observables del sistema a partir de él. Enunciar el teorema de Kolmogorov-Arnold-Moser y su aplicación a la estabilidad de órbitas cuasiperiódicas relacionadas con la existencia de pequeñas perturbaciones a los movimientos keplerianos. Deducir a partir de las propiedades geométricas básicas de las curvas cónicas, las ecuaciones algebraicas que describen las y aplicarlas para describir otras propiedades geométricas derivadas. Usando el formalismo vectorial de la mecánica deducir las 10 constantes de movimiento en el problema de los N-cuerpos. Demostrar la equivalencia del problema de los 2 cuerpos a la de un sistema reducido de un cuerpo atraído por un potencial central.

	Usando el formalismo vectorial de la mecánica deducir las constantes de movimiento del problema. Resolver el problema de los cuerpos sometidos a su mutua interacción gravitacional, demostrando que la trayectoria descrita por cada uno de ellos es una trayectoria cónica. Deducir las ecuaciones de Lagrange a partir del principio de D'Lambert. Deducir las ecuaciones de Euler-Lagrange a partir del principio de Hamilton y el cálculo de variaciones. Mostrar a través de un ejemplo básico las ventajas del formalismo lagrangiano en contraposición con el formalismo vectorial tradicional de la mecánica newtoniana. Deducir la función de energía y enumerar las condiciones necesarias para que se conserve en un sistema físico. Escribir el Lagrangiano de un sistema de dos cuerpos sometidos a una fuerza central. Demostrar que el Lagrangiano del sistema de dos cuerpos sometidos a una fuerza central es equivalente al sistema reducido de un cuerpo. Deducir las integrales de movimiento del sistema de dos cuerpos usando el formalismo lagrangiano y compararlos con las mismas calculadas con el formalismo vectorial tradicional. Deducir las ecuaciones de movimiento del problema de los dos cuerpos usando las ecuaciones de Euler-Lagrange para el sistema. Resolver en el tiempo el problema gravitacional de los dos cuerpos usando las ecuaciones de movimiento obtenidas a partir de las Ecuaciones de Euler Lagrange y con ello deducir la ecuación de Kepler. Deducir la tercera de ley de Kepler del movimiento planetario. Deducir las ecuaciones de transformación entre el vector de estado de una partícula en el problema de los dos cuerpos reducido y los elementos orbitales clásicos y viceversa. Aplicar los resultados derivados para el problema de los dos cuerpos para calcular la posición de un cuerpo en el Sistema Solar dados sus elementos orbitales

	completos. Escribir el Lagrangiano del sistema restringido circular de los tres cuerpos. Deducir la posición de los puntos de equilibrio Lagrange. Deducir las ecuaciones de movimiento de Hamilton y la forma explícita del Hamiltoniano a partir del Lagrangiano. Escribir las ecuaciones de Hamilton en forma simpléctica. Escribir la condición para que una transformación sea canónica en forma simpléctica. Escribir explícitamente algunos métodos numéricos de integración de las ecuaciones de Hamilton y demostrar cuáles son simplécticos y cuáles no lo son Demostrar numéricamente el cálculo de una sección de Poincaré. Calcular numéricamente la evolución del exponente de Lyapunov para un par de órbitas hermanas de una partícula de prueba sometida a la interacción gravitacional de dos cuerpos masivos. Reconocer la importancia de las diferentes formulaciones de la mecánica en la solución de problemas complejos y para la apertura de nuevas fronteras del conocimiento, como la teoría cuántica. Demostrar compromiso para conocer y asimilar las herramientas computacionales que le permitirán al estudiante abordar problemas complejos en mecánica celeste. Describir la importancia de la representación gráfica de los datos para el trabajo científico. Valorar el trabajo realizado por desarrolladores de software e ingenieros en la creación de herramientas que facilitan el trabajo científico.
Contenido Resumido:	1-Introducción matemática y física 2-El formalismo vectorial de la mecanica celeste 3-El Formalismo lagrangiano 4-El formalismo Hamiltoniano 5-Caos clásico en mecánica celeste

UNIDADES DETALLADAS

Unidad No. 1.

Tema(s) a desarrollar	Introducción matemática y física

Subtemas	Propiedades geométricas básicas de las curvas cónicas Cantidades cinemáticas y dinámicas básicas Leyes newtonianas del movimiento Derivación de las ecuaciones algebraicas de las cónicas. Deducción de las leyes del movimiento en un sistema rotante. El valor de la geometría en los problemas de mecanica celeste. La importancia de la demostración de las formulas básica de las cónicas en física. La importancia de las fuerzas ficticias para la descripción correcta de los fenómenos físicos en sistemas no inerciales.
No. de semanas que se le dedicarán a esta unidad	2
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA correspondiente a esta unidad	
Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004. Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000. Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992. Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001. Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011. Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989. Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005. Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012. Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.	

Unidad No. 2.

Tema(s) a desarrollar	El formalismo vectorial de la mecanica celeste
Subtemas	El problema de los N cuerpos y sus constantes de movimiento. El problema de los dos cuerpos y su reducción al problema equivalente de un cuerpo. Constantes de movimiento en el problema de los dos cuerpos. Solución geométrica al problema de los dos cuerpos

	Cálculos numéricos en mecánica celeste. Elementos orbitales y solución al problema de los dos cuerpos en el tiempo. El problema de los tres cuerpos. Ecuaciones de movimiento en el problema de los 3 cuerpos para sistemas inerciales y rotantes. La constante de Jacobi y las regiones de exclusión. Los puntos de Lagrange y su estabilidad. El criterio de Tisserand para la identificación de cometas. Deducción de las 10 constantes de movimiento del problema de los N cuerpos. Derivación de las ecuaciones de movimiento relativo en el problema de los dos cuerpos y su reducción su equivalente unidimensional. Deducción de las constantes de movimiento del problema de los dos cuerpos. Derivación de la ecuación que relaciona la posición radial con la angular. Es decir, la solución geométrica al problema de los dos cuerpos. Calculo del sistema de unidades apropiado para cálculos numéricos en astrodinámica. Calculo de la posición en función del tiempo de diversos objetos astronómicos. El problema de los tres cuerpos. Derivación de las ecuaciones de movimiento en sistemas inercia y rotantes. Derivación de la constante de Jacobi. Calculo de los puntos de equilibrio de Lagrange y análisis de su estabilidad. Deducción de la ecuación de Tisserand para órbitas elípticas. Entender la importancia de la existencia de cantidades conservadas, y reconocer el valor que estas tienen en la solubilidad de problemas mecánicos. Comprender el valor de una correcta elección del

	sistema de unidades como paso previo a la implementación de programas computacionales. Comprender la la importancia de las soluciones dinámicas por encima de las soluciones geométricas en los problemas de mecánica celeste, ya que las soluciones dinámicas son las herramientas más útiles al momento de predecir fenómenos astronómicos. Valorar la importancia de los puntos de equilibrio de Lagrange para la ubicación de estratégica instrumentación científica. Valorar la importancia del criterio de Tisserand para identificación de cometas.
No. de semanas que se le dedicarán a esta unidad	5
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA correspondiente a esta unidad	
Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004. Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000. Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992. Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001. Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011. Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989. Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005. Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012. Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.	

Unidad No. 3.

Tema(s) a desarrollar	El Formalismo lagrangiano
Subtemas	Principio de D'Alembert y las ecuaciones de Euler-Lagrange. Coordenadas generalizadas y espacio de configuración. Aplicaciones a problemas dinámicos simples. Variables cíclicas, simetrías y cantidades conservadas. El lagrangiano del problema de los dos cuerpos y las ecuaciones de movimiento.

	Movimiento bajo un potencial central general. Introducir el concepto de variables generalizadas y de espacio de configuración. Derivación de las ecuaciones de Euler-Lagrange por medio del principio de los trabajos virtuales. Deducción de la función lagrangiana para sistemas físicos elementales. Deducción de las ecuaciones de movimiento partiendo de la función lagrangiana y de las ecuaciones de Euler-Lagrange. Deducción del Lagrangiano de los dos cuerpos y las ecuaciones de movimiento asociadas. Derivación de las cantidades conservadas asociadas a distintas simetrías. Soluciones geométricas a movimientos bajo potenciales centrales generales. Comprender la importancia de la función Lagrangiana como la portadora de toda la información dinámica de un sistema físico. Valorar la simplicidad en la derivación de las cantidades conservadas en el formalismo lagrangiano. Apreciar los grandes aportes hechos por Euler y Lagrange en esta formulación alternativa de la mecánica. Apreciar las ventajas del formalismo Lagrangiano frente al Newtoniano ante la solución de problemas dinámicos complejos.
No. de semanas que se le dedicarán a esta unidad	4
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA correspondiente a esta unidad	

Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004.

Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000.

Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992.

Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001.

Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011.

Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989.

Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005.

Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012. Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.

Unidad No. 4.

Tema(s) a desarrollar	El formalismo Hamiltoniano
Subtemas	El espacio de fases y las variables canónico-conjugadas. Las ecuaciones canónicas de Hamilton. El hamiltoniano del problema de los dos cuerpos. El hamiltoniano del problema circular restringido de los 3 cuerpos (CRTBP) Cantidades conservadas en el formalismo hamiltoniano y los corchetes de Poisson. El principio de mínima acción. Las transformaciones canónicas y los integradores simplécticos Motivación al formalismo Hamiltoniano presentando las implicaciones entre la geometría del espacio de fases y la interpretación del mundo observable. Derivación de las ecuaciones canónicas de Hamilton partiendo de las ecuaciones de Euler-Lagrange. Derivación del Hamiltoniano del problema de los dos cuerpos Derivación del Hamiltoniano del CRTBP. Derivación de la forma funcional de un corchete de Poisson. Deducción de cantidades conservadas partiendo de la función Hamiltoniana y de los corchetes de Poisson. Derivación del principio de mínima acción. Derivación de las transformaciones canónicas de tipo 1 y su aplicación a la solución del oscilador armónico. Implemetación computacional de algorítmos simplécticos simples y su aplicación a problemas físicos ya conocidos, como el problema de los dos cuerpos. Se busca que el estudiante comprenda las ventajas del formalismo Hamiltoniano sobre el Lagrangiano a la hora de estudiar desde un punto de vista teórico a los sistemas físicos.

	Valorar la importancia del formalismo Hamiltoniano en el nacimiento de las teorías físicas modernas, como la teoría cuántica y la física estadística. Comprender la utilidad de los corchetes de Poisson en la búsqueda de cantidades conservadas. Valorar la importancia de los integradores simplécticos en simulaciones astronómicas dada su alta precisión en la conservación de la energía y en la conservación de las trayectorias en el espacio de fases.
No. de semanas que se le dedicarán a esta unidad	4
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA correspondiente a esta unidad	
Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004. Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000. Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992. Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001. Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011. Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989. Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005. Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012. Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.	

Unidad No. 5.

Tema(s) a desarrollar	Caos clásico en mecánica celeste
Subtemas	El Hamiltoniano de Henon-Heiles Los diagramas de Poincaré Exponentes de Lyapunov El teorema de Kolmogorov-Arnold-Moser Describir cuantitativamente el Hamiltoniano de Henon-Heiles. Describir los pasos para la construcción de un diagrama de Poincaré y motivar su estudio a la luz del caos que pueden presentar ciertos fenómenos astronómicos como las órbitas perturbadas. Introducir el concepto de exponente de Lyapunov y su uso como herramienta para la cuantificación del caos. Introducir el teorema de Kolmogorov-Arnold-Moser y su importancia para el estudio de los movimientos

	cuasiperiódicos de objetos celestes. Que el estudiante comprenda la importancia del Hamiltoniano de Henon-Heiles, que en medio de su simplicidad, se constituye en una herramienta importante para la introducción de conceptos básicos de la teoría del caos. Valorar la importancia de los diagramas de Poincaré y los exponentes de Lyapunov a la hora de estudiar los regimenes caóticos y regulares de los sistemas físicos. Que el estudiante comprenda y valore el poder del Teorema de Kolmogorov-Arnold-Moser y sepa restringir los escenarios para su aplicación.
No. de semanas que se le dedicarán a esta unidad	1

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA correspondiente a esta unidad

Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004.

Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000.

Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992.

Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001.

Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011.

Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989.

Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005.

Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012.

Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.

METODOLOGÍA a seguir en el desarrollo del curso:

Este curso es de naturaleza enteramente teórica. Sin embargo algunos conceptos y desarrollos en el curso requieren una implementación práctica en la forma de por ejemplo programas de computo, desarrollo detallado de ejemplos resueltos o solución de problemas abiertos en tiempo de clase.

La presentación de los contenidos teóricos puede hacerse a través de la exposición magistral del profesor. Se recomienda sin embargo involucrar al estudiante incluso durante la presentación y desarrollo de la teoría con actividades como salidas al tablero o realización de pequeños cálculos parciales en tiempo de clase.

EVALUACIÓN

Actividad	**Porcentaje**	**Fecha (día, mes, año)**
1 tarea quincenal (conjuntos de problemas) (40% del total de la evaluación) 4 pruebas parciales (40%) Exposición proyecto (10%) Actividades de Comunidad Académica (10%)		

Actividades de Asistencia Obligatoria:

Todas las sesiones de clase en las que se realicen evaluaciones (quices o pruebas parciales) son de asistencia obligatoria.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Collins, George W., The Foundations of Celestial Mechanics, 2004.

Goldstein, Poole, Saftko, Classical Mechanics, Third Edition, 2000.

Danby, Fundamentals of Celestial Mechanics, Second Edition, 1992.

Murray, Dermott, Solar System Dynamics, 2001.

Morbidelli, A., Modern Celestial Mechanics, 2011.

Arnold, V.I. Mathematical Methods of Classical Mechanics, 1989.

Curtis, Howard. Orbital Mechanics for Engineering Students, 2005.

Anghelo, Boris. Mecánica Clásica: Teoría y Problemas Resueltos, 2012.

Zuluaga, J. Notas del Curso Fundamentos de Mecánica Orbital, 2006.

Última actualización: Mon, 29 Aug 2016 16:15:37 -0500
Versión legal: La versión legal de este documento reposa en la Biblioteca de la Universidad de Antioquia y esta firmada por el Decano y el Director de Instituto.
Firma Autorizada Facultad Versión Electrónica: (No autorizado. Este documento es solo un borrador.)