



# НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

Авторы: Г. И. Ширмин

---

НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА, раздел астрономии, в котором изучаются закономерности движения небесных тел, т. е. изменение с течением времени взаимного расположения и пространственной ориентации небесных тел и их систем.

Термин «Н. м.» введён П. [Лапласом](#) в 1799. Почти одновременно (1798) Ф. И. [Шуберт](#) ввёл понятие «теоретическая астрономия», которое иногда употребляется почти в том же смысле, что и Н. м. В англоязычной лит-ре распространён термин «динамическая астрономия», полностью эквивалентный термину «механическая астрономия», введённому Л. [Эйлером](#) в 1760. Все эти термины можно считать синонимами, различающимися лишь незначит. нюансами. Напр., обычно предполагают, что теоретич. астрономия занимается изучением движений реально существующих небесных тел и установлением законов природы, управляющих этими движениями, в то время как Н. м. исследует решения модельных задач о движениях абстрактных объектов под действием идеализиров. природных сил.

## История становления

Н. м. – старейший раздел теоретич. физики и первооснова точного естествознания. Первые описания видимых движений небесных светил были выполнены ещё астрономами античности. Так, [геоцентрическая система мира](#), созданная [Птолемеем](#) во 2 в., базировалась на кинематич. схеме видимых движений 7 «светил» (Солнца, Луны, Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна). Следующий существенный этап в становлении Н. м. начался в 17 в. с работ И. [Кеплера](#), сформулировавшего три эмпирич. закона движения планет (см. [Кеплера законы](#)). Возникновение классич. Н. м. можно отнести к 1687, когда И. [Ньютон](#) опубликовал «Математические начала натуральной философии», в которых изложил основы дифференциального и

интегрального исчисления, а также описал три закона механики и закон всемирного тяготения. Ньютон доказал, что именно притяжение планет Солнцем является причиной их видимых движений. Кроме того, Ньютон установил тождественность силы тяжести и силы всемирного тяготения, что способствовало утверждению принципа материального единства мира.

В 18 в. было установлено, что осн. проблемы Н. м. сводятся к интегрированию систем дифференциальных уравнений (поэтому Н. м. может быть названа также математич. астрономией). В рамках Н. м. (с момента её возникновения и до сих пор) отрабатываются новейшие средства математич. анализа. Так, исчисление бесконечно малых было специально разработано И. Ньютоном как математич. аппарат для решения прежде всего астрономич. задач. Методы численного интегрирования дифференциальных уравнений, входящие в число мощнейших средств компьютерного моделирования динамич. систем, впервые были разработаны Л. Эйлером в связи с практич. потребностями наблюдательной астрономии.

Уже к сер. 18 в. Н. м. позволяла делать точные астрономич. предсказания. Так, А. [Клеро](#) вычислил момент прохождения через перигелий кометы Галлея (1759), а в 1846 планета Нептун была открыта в точно предсказанном месте, вычисленном по возмущениям в движении Урана. В результате наблюдений 1843–59 У. [Леверье](#) обнаружил рассогласование (всего лишь на 43 с за столетие) с классич. теорией векового движения перигелия Меркурия, что нашло рациональное объяснение лишь в общей теории относительности и до сих пор расценивается как её первое эксперим. подтверждение. Б. ч. классиков точного естествознания так или иначе принимала участие в развитии Н. м. Напр., один из создателей статистич. физики Дж. У. [Гиббс](#) известен также как автор одного из методов определения орбит небесных тел из астрономич. наблюдений.

Существенный вклад в Н. м. внесли мн. отеч. учёные. В 1930-х гг. Г. Н. [Дубошин](#), развивая идеи А. М. [Ляпунова](#), заложил основы теории устойчивости движения при постоянно действующих возмущениях. Во 2-й пол. 20 в. были выведены дифференциальные уравнения поступательно-вращательного движения небесных тел (Дубошин), разработана обобщённая задача двух неподвижных центров (Е. П.

Аксёнов, Е. А. Гребеников, В. Г. Дёмин), нашедшая применение в т. ч. в построении высокоточных теорий движения ИСЗ и планет (Аксёнов, Н. В. Емельянов). Кроме того, была создана теория условно-периодич. решений систем дифференциальных уравнений Н. м. (А. Н. [Колмогоров](#), В. И. [Арнольд](#), Ю. [Мозер](#)).

## Физические основы

В зависимости от параметров рассматриваемой задачи Н. м. опирается на классич. механику или общую теорию относительности (соответствующие разделы Н. м. называют классич. Н. м. и релятивистской Н. м.). Для описания движений небесных тел в Н. м. используют разл. физич. модели космич. объектов. Напр., Солнце и большие планеты в определённых задачах можно считать материальными точками, т. к. взаимные расстояния между ними значительно превышают их линейные размеры. Опираясь на доказательство этого утверждения, И. Ньютон смог построить первую динамич. теорию планетных движений.

Положение материальной точки, изображающей конкретный космич. объект, всегда определяется по отношению к некоторому телу отсчёта. Совокупность тела отсчёта, системы координат и часов образует систему отсчёта, к которой принято относить положение и скорость исследуемого объекта в рассматриваемый момент времени. Траектория движения небесного тела (его орбита) – это кривая, описываемая материальной точкой в трёхмерном пространстве. Закон движения исследуемого объекта задаётся кинематич. уравнениями движения, представляющими собой параметрич. уравнения траектории.

Классич. Н. м. опирается на [Ньютона законы механики](#) и [всемирного тяготения закон](#), рассматривая их как аксиомы. По словам А. [Пуанкаре](#): «...проверка справедливости закона всемирного тяготения является главной целью Н. м.». Первый и второй законы Ньютона определяют движение небесных тел, а третий закон объясняет существование систем небесных тел, т. е. совокупности космич. объектов, рассматриваемых как единое целое. Осн. силы, которыми оперирует Н. м., имеют гравитац. природу, ключевая характеристика небесного тела – его масса, одновременно играющая роль гравитац. заряда и меры инерции.

Осн. задачей классич. Н. м. является т. н. задача N тел – задача о движении конечного числа материальных точек, взаимодействие между которыми описывается законом всемирного тяготения. Эта задача до сих пор относится к числу практически неинтегрируемых (известны лишь 10 классич. первых интегралов, являющихся следствиями свойств симметрии пространства и времени). Частным случаем задачи N тел является [двух тел задача](#) – единственная задача этой группы, имеющая общее решение в конечном виде и в известных функциях. На основе этого решения была развита классич. теория возмущений Н. м., методы которой затем распространились на всю теоретич. физику.

Современные задачи. В рамках совр. Н. м. не только исследуются общие проблемы движения небесных тел, но и создаются теории движения конкретных объектов (планет и их спутников, астероидов, комет и т. п.). К числу важнейших задач Н. м. относится также задача определения фундам. астрономич. постоянных (масс и элементов орбит небесных тел, характеристич. параметров фигуры, вращения и гравитац. поля Земли) на основе астрономич. наблюдений.

Значит. вклад Н. м. вносит (вместе с [геодинамикой](#), [космической геодезией](#), [астрометрией](#) и [звёздной астрономией](#)) в решение задач эфемеридной астрономии, связанных с составлением астрономич. календарей и ежегодников. К крупнейшим достижениям Н. м. и астрометрии относятся высокоточные эфемериды больших планет и Луны, составленные в США (DE421/LE421), Франции (INPOP10) и России (EPM2008). Совм. усилиями рос. и франц. учёных созданы сервер эфемерид и база данных естеств. спутников планет.

Во 2-й пол. 20 в. (с началом освоения околоземного пространства) в Н. м. выделился новый раздел – [астродинамика](#), которая изучает движения искусств. небесных тел. В отличие от классич. Н. м., астродинамика учитывает силы искусств. происхождения, в т. ч. разл. силы негравитац. природы. Это прежде всего реактивные силы тяги ракетных двигателей, а также силы, возникающие вследствие несферичности формы и внутр. структуры небесных тел и приводящие к нецентральности гравитац. полей Солнечной системы.

Качественно новые результаты в Н. м. были получены благодаря значит. повышению

точности оптич. наблюдений и возможности проведения экспериментов на ИСЗ и межпланетных КА. В связи с этим возникла проблема учёта в движении тел Солнечной системы релятивистских эффектов, что привело к внедрению в практику космич. исследований результатов релятивистской Н. м. Поскольку Солнечная система представляет собой область медленных движений и слабых гравитац. полей, учёт релятивистских эффектов в движениях составляющих её тел сводится к введению в элементы их орбит малых поправок порядка

$(v/c)^2$ , где

$v$  – скорость тела,

$c$  – скорость света.

Н. м. – интенсивно развивающаяся область астрономии, вносящая заметный вклад в формирование науч. картины мира.

## Литература

Лит.: Субботин М. Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., 1968; Дубошин Г. Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. 3-е изд. М., 1975; Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / Под ред. Г. Н. Дубошина. 2-е изд. М., 1976; Лукьянов Л. Г., Ширмин Г. И. Лекции по небесной механике. Алматы, 2009.

Processing math: 100%