

Математическая теория дифракции

Математическая теория дифракции является обширным разделом математической физики. Задачи распространения и дифракции волновых процессов различной физической природы во многих случаях играют ключевую роль в понимании физической сущности изучаемых явлений в оптике, в акустике, в радиофизике, в гидродинамике, и во многих других разделах современной физики.

Дифракционные явления были хорошо известны ещё во времена И. Ньютона, но объяснить их на основе корпускулярной теории света оказалось невозможным. Первое качественное объяснение явления дифракции на основе волновых представлений было дано Т. Юнгом (1803 г.). Независимо от него О. Френель развил количественную теорию дифракционных явлений (1818 г.). В основу своей теории Френель положил принцип Гюйгенса (1690 г), дополнив его идеей об интерференции вторичных волн.

Только благодаря работам Пуанкаре (1892 г.) и Зоммерфельда (1896 г.) стало ясно, что в задачах дифракции волн речь идёт о краевой задаче математической физики. В случае неограниченных областей в постановку задачи должны быть включены условия излучения Зоммерфельда (1912 г.), а на острых кромках ставятся условия Мейкснера (1948 г.).

Многие задачи дифракции остаются сложными даже для современных компьютеров. Поэтому в теории дифракции применяются приближенные асимптотические подходы. В предельном случае высоких частот волновые поля могут быть описаны методами геометрической оптики, оперирующей с понятием луча, являющегося экстремалью функционала Ферма. Важные результаты в математической теории дифракции были получены академиками М.А. Леонтовичем (метод параболического уравнения Леонтовича) и В.А. Фоком (принцип локальности, зона Фока, асимптотика Фока). В 1953 г. Дж. Келлер развил геометрическую теорию дифракции, в которой геометрическая оптика дополняется эвристической концепцией «дифрагированных лучей». П.Я. Уфимцев ввёл понятие краевых токов, что привело к созданию физической теории дифракции.

В ЛГУ — СПбГУ в области теории дифракции работали В.И. Смирнов, С.Л. Соболев, В.А. Фок, Г.И. Петрашень, В.С. Булдырев, В.С. Буслаев, Г.И. Макаров, И.А. Молотков, и др. Вопросами дифракции и распространения волн занимаются на кафедрах математической физики, радиофизики, физики Земли, и др. кафедрах. Основные достижения в этой области сотрудники университета регулярно докладывают на еженедельном семинаре ПОМИ РАН под руководством В.М. Бабича, а также на ежегодной меж-

дународной конференции “Days on Diffraction” (www.pdmi.ras.ru/~dd/).

На кафедре вычислительной физики вопросами теории дифракции, а более конкретно математическими вопросами теории стационарной дифракции занимается И.В. Андронов. При этом обычно рассматриваются акустические (звуковые) или электромагнитные волны. Важным параметром в задачах дифракции является размер тела (или размеры тел), измеряемый в характерных длинах волн. Если этот параметр мал, то обычно возможно построение некоторой теории возмущения по этому параметру. Если этот параметр велик, то можно применять асимптотические методы дифракции коротких волн. В промежуточной области возможен лишь численный счёт.

Основная цель исследований И.В. Андронина заключается в том, чтобы расширить области применимости как низко-частотных, так и высоко-частотных приближений. Важность и необходимость такого расширения связана ещё и с тем, что существуют такие задачи, для которых асимптотический параметр ещё недостаточно велик, чтобы работали классические асимптотические методы, но размер сетки уже огромен. Например, это может быть связано с наличием мелких деталей на поверхности. В этом случае применяются гибридные методы [F.Molinet, I.Andronov, D.Bouche *Asymptotic and Hybrid Methods in Electromagnetics* // The IET, London, 2005, 249 p.] или производится упрощение задачи ещё на стадии её постановки. Для акустики такое упрощение приводит к гранично-контактным задачам. Впервые такие задачи были рассмотрены у нас в ЛГУ В.Н. Красильниковым, а потом развиты Д.П. Коузовым, Б.П. Белинским и их учениками. И.В. Андронов разработал класс обобщённых точечных моделей на базе потенциалов нулевого радиуса [I.V.Andronov *Generalized point models in structural mechanics* // World Scientific, 2002, 262 p.].

Приложения: кораблестроение, шумовая защита, устойчивость нефтяных платформ, акустика помещений (концертных залов).

Другой причиной, приводящей к трудностям численных расчётов, может быть сильное отличие (в десятки раз) размеров тела в продольном и в поперечных направлениях. Здесь достижения И.В. Андронина состоят в разработке специальной асимптотической процедуры для задач дифракции на сильно вытянутых телах. С конца 2009 г., когда была придумана эта процедура, опубликовано более 30 статей из WoS/Scopus.

Приложения: антенны (акустические и радио), радиолокация, эхолокация, расчёт поглощающих покрытий, распространение звука в океане.