

# **I. Общие проблемы физического образования**

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЕРАРХИЯ ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ**

**Кондратьев А.С.**

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена  
(г. Санкт-Петербург)

Одним из основных направлений развития научного мышления учащихся является выработка искусства моделирования реальных процессов природы на основе фундаментальных физических представлений об окружающем мире. Использование персонального компьютера позволяет решительным образом сместить акцент деятельности обучаемых с проведения математических выкладок и вычислений в сторону подробного анализа сути изучаемого явления, построения его физической модели и выбора адекватной математической модели. При этом решение любой нетривиальной задачи превращается в проведение вычислительного эксперимента.

В организации и проведении вычислительного эксперимента четко просматриваются определенные этапы. На первом этапе для исследуемого объекта или явления строится модель: сначала физическая, фиксирующая разделение всех определяющих рассматриваемое явление параметров на главные, которые учитываются, и второстепенные, которые на данном этапе исследования отбрасываются. Одновременно формулируются допущения или рамки применимости модели, в которых будут справедливы полученные на ее основе результаты. Затем создается математическая модель — физическая модель записывается в математических терминах; как правило, при исследовании нелинейных явлений математическая модель формулируется в виде систем дифференциальных или интегродифференциальных уравнений вместе с определенными начальными и граничными условиями. Создание математической модели, вообще говоря, должно завершаться исследованием корректности постановки математической задачи, существования и единственности решения и т.д. Второй этап вычислительного эксперимента связан с выбором или разработкой метода расчета сформулированной математической задачи. Ниже мы остановимся подробнее на первой стадии вычислительного эксперимента — создании физической и математической моделей изучаемого явления.

Физическая модель изучаемого явления, независимо от его конкретной природы, должна основываться на фундаментальных положениях физики, а возможно, и биологии, геологии и других областей естественнонаучного знания. При этом развитие физического моделирования показало, что по мере выработки все более реальных представлений о сложных нелинейных системах у их моделей появляется все большая автономность: независи-

мость от деталей начальных условий, от краевых условий и т.д. [1]. Попробуем выяснить, чем обусловлена общность в поведении сложных систем, заключающаяся в том, что заведомо упрощенные физические и математические модели часто дают ту же качественную картину, что и гораздо более полные и сложные модели. Ответы на эти вопросы могут быть найдены на пути последовательного анализа идеи Н.Н. Боголюбова об иерархии временных масштабов, идеи, которая определила генеральное направление развития современной статистической физики неравновесных явлений [2]. Эта идея послужила отправным пунктом обоснования возможности перехода к так называемому сокращенному описанию физических систем многих частиц. Суть ее становится очевидной из следующего.

Пусть в системе, характеризующейся очень большим (но конечным!) числом степеней свободы имеется набор переменных  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , меньший, чем полный набор динамических переменных, обладающий тем свойством, что задание  $X(0)$  при  $t = 0$  определяет значения  $X(t)$  при  $t > 0$ . Например, в электрической цепи достаточно задать распределение зарядов и токов в начальный момент времени, чтобы предсказать их дальнейшее поведение, не прибегая к микроскопической картине поведения отдельных заряженных частиц.

Возможность определения  $X(t)$  по заданным начальным значениям  $X(0)$  означает, что существует так называемое управляющее уравнение, которое оказывается существенно проще, чем уравнение Лиувилля (или Неймана в случае квантовых систем). Управляющее уравнение, замкнутое на уровне набора переменных  $X$ , реализует сокращенное описание рассматриваемой системы. Возможность получения управляющего уравнения на элементарном уровне обосновывается следующим образом. В системе многих частиц, описываемой полным набором динамических переменных, можно выделить относительно небольшое число медленно меняющихся величин  $X$  (квазиинтегралов движения), характерное время изменения которых оказывается существенно больше времени изменения других (быстрых) величин. Величины  $X$  берутся за новые переменные, в результате чего уравнения динамики рассматриваемой системы записываются таким образом:

$$dX/dt = f(X, Y), \quad dY/dt = \varphi(X, Y), \quad (1)$$

где величина  $Y(y_1, y_2, \dots, y_m)$  ( $n < m$ ) меняется быстро. Например, характерное время изменения величины  $Y$  может быть существенно меньше времени проводимого в системе измерения. Медленность изменения величин  $X$  позволяет решать систему уравнений для  $Y$ , считая  $X$  фиксированными параметрами. В результате находим

$$Y = Y(t, Y(0), X). \quad (2)$$

Подставляя эти значения  $Y$  в уравнения для величин  $X$ , получаем