

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ (ИПУ РАН)

К 85-летию ИПУ РАН

Ю. Л. Словохотов

ФИЗИКА ОБЩЕСТВА

**Применение физических моделей
в описании общественных явлений**

**Москва
2024**

Словохотов Юрий Леонидович

Физика общества: Применение физических моделей в описании общественных явлений. — М.: ЛЕНАНД. 2024. — 880 с.

ISBN 978-5-00237-048-1

Систематически рассмотрены современные направления общественных наук, в которых применяются модели и методы, заимствованные из физики. Приложения физики к анализу социума охватывают коллективное движение «живых» частиц (включая автомобильные и пешеходные потоки), процессы на графах и сетях, моделирующих социальные структуры, физические идеи в экономике, социологии, политологии, истории и некоторых других дисциплинах. Представлены сведения из элементарной и общей физики, а также элементы теоретической физики и физики сложных систем, используемые в феноменологическом моделировании социальных процессов. На доступном уровне рассмотрены соотношения теории графов, теории игр, теории вероятностей и другие математические конструкции, необходимые для квази-физического описания социума. Обсуждаются проявления распределенного интеллекта в динамике социальных систем, принципы его компьютерного моделирования и «комбинированный» коллективный интеллект человеческих сообществ.

Для студентов и научных работников, интересующихся новыми областями междисциплинарной физики.

© Ю.Л. Словохотов, 2024

© ИПУ РАН, 2024

© ЛЕНАНД, оригинал-макет,
оформление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9	
ВВЕДЕНИЕ	15	
ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К СОЦИУМУ		
ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ФИЗИКА: ЕЕ МОДЕЛИ И ФОРМУЛЫ В ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУКАХ		21
1.1. Основные понятия механики	21	
1.1.1. Кинематика	22	
1.1.2. Сила, масса, энергия	25	
1.1.3. Поле сил	27	
1.1.4. Законы Ньютона	29	
1.1.5. Механика в описании социальных систем	31	
Модель социального поля	32	
Гравитационная модель обмена	33	
1.2. Элементарная физика макроскопических систем	35	
1.2.1. Масштабы физических явлений и система единиц СИ	35	
1.2.2. Газовые законы	37	
Функция Кобба-Дугласа	40	
Оценка стратегического потенциала государства	41	
1.3. Законы постоянного тока	41	
Законы Кирхгофа	45	
Задача о светофоре	46	
Парадокс Браеса	47	
1.4. Школьная математика: дифференцирование и интегрирование	50	
1.4.1. Производная от функции	50	
Производные элементарных функций	51	
Некоторые свойства производной	52	
Правило Лопиталю	53	
Формула Тейлора	54	
1.4.2. Интегралы	56	
Неопределенный интеграл	56	
Определенный интеграл	58	
1.4.3. Дифференцирование и интегрирование функций нескольких переменных	59	
Частные производные	60	
Множественные интегралы	61	
1.5. Дифференциальное исчисление в науках о человеке	63	
1.5.1. Дифференциалы и интегралы в экономике	63	
Функция Кобба-Дугласа: изокванты и изокосты	67	
1.5.2. Количественные соотношения в экспериментальной психологии	69	
ГЛАВА 2. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОПИСАНИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ		74
2.1. Обыкновенные дифференциальные уравнения	74	
Уравнение Мальтуса	75	
Логистическое уравнение	77	
2.2. Классическая механика простых систем	81	

Линейный осциллятор	82
Математический маятник и колебательный контур	84
Физический маятник: малые отклонения от равновесия	86
Физический маятник: общий случай.....	88
2.2.1. Основные положения классической механики	90
Принцип наименьшего действия.....	92
Законы сохранения в механике.....	95
Упругое столкновение частиц	96
2.2.2. Математическое отступление: линии и поверхности 2-го порядка	100
Эллипс.....	100
Гипербола	101
Парабола	102
Поверхности 2-го порядка.....	102
2.3. Элементы молекулярной физики и термодинамики	105
Связь параметров идеального газа с кинетической энергией его молекул	108
Распределение Больцмана-Гиббса и распределение Максвелла	112
2.3.1. Энтропия и термодинамические потенциалы	114
Экономика и энтропия.....	120
«Свободная энергия мысли».....	123
2.4. Динамическое равновесие и химические реакции	123
2.5. Фазовые переходы и критические явления.....	128
Критические параметры фазовых переходов	131
Гиперболический рост населения Земли в XV – XX в.в.	133
ГЛАВА 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ	137
3.1. Некоторые сведения из математики	137
3.1.1. Мнимая единица и комплексные числа	138
3.1.2. Векторы и матрицы.....	143
Векторы.....	143
Матрицы и определители	145
Расчет обратной матрицы	151
Леонтьевские матрицы ввода-вывода	152
Собственные векторы и собственные значения квадратных матриц	156
Начальные сведения о тензорах и дифференциальных операторах	159
3.2. Дифференциальные уравнения в частных производных	163
3.2.1. Общие положения	163
3.2.2. Уравнение теплопроводности.....	165
Уравнение Блэка-Шоулза	167
3.2.3. Волновое уравнение.....	168
Стоячие волны.....	175
Схема вывода уравнения стоячих волн	176
3.2.4. Уравнение Лапласа	178
3.2.5. Течение жидкости	179
Закономерности течения жидкости.....	180
Уравнение Навье-Стокса.....	183
Критерий Рейнольдса	184
3.3. Элементы квантовой механики	185
3.3.1. Волновая функция и уравнение Шредингера.....	187
3.3.2. Простейшие квантовые системы	192
Частица в потенциальной яме.....	192
Матрица оператора Гамильтона	196

Эмиссионные спектры атомов и «социальный лазер»	197
Свободное движение квантовой частицы.....	198
Волны де Бройля и соотношение неопределенностей	199
Интерференция волн де Бройля при рассеянии потока частиц.....	201
Законы сохранения и «квантовая запутанность».....	203
3.4. Компьютерное моделирование многочастичных систем.....	204
3.4.1. Принципы статистической термодинамики	204
3.4.2. Методы расчета состояний многочастичных систем	207
Метод молекулярной механики (ММ).....	207
Метод Монте-Карло (МК).....	208
Метод молекулярной динамики (МД)	209
Модели Изинга и Поттса	211
3.5. Релятивистские представления в физике	214
3.5.1. Инерциальные системы и преобразования Лоренца.....	215
Масса, энергия и импульс релятивистской частицы	219
3.5.2. Геометрия пространства-времени	221
Евклидовы и псевдоевклидовы пространства.....	222
Четырехмерное пространство событий	223
3.5.3. Достижения релятивистской физики	225
ГЛАВА 4. СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ	227
Введение.....	227
4.1. «Аномальные» физические системы.....	228
Сильные проявления межчастичных и межагентных взаимодействий.....	229
4.2. Нелинейные системы	231
Солитоны	231
Ячейки Бенара	232
Другие нелинейные системы	233
4.2.1. Модель Лотки-Вольтерра	234
4.2.2. Колебательные химические реакции.....	237
Брюсселятор	238
Реакция Белоусова-Жаботинского	239
«Мексиканская волна»	241
О происхождении жизни на Земле	241
4.3. Анализ нелинейных дифференциальных уравнений	244
4.3.1. Особые точки нелинейных уравнений 2-го порядка	244
4.3.2. Странный аттрактор и детерминированный хаос	251
4.4. Стохастические системы	257
4.4.1. Мезоскопические системы и процессы в них.....	258
Броуновское движение	258
Стохастические дифференциальные уравнения	260
Стохастический резонанс	263
4.4.2. Дискретные отображения.....	264
Логистическое отображение и его свойства.....	266
ЧАСТЬ II. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ	272
ГЛАВА 5. ДВИЖЕНИЕ «ЖИВЫХ» ЧАСТИЦ.....	275
5.1. Движение бактерий и бактериальные автоволны	275
Моделирование движения «живых частиц».....	279
5.2. Коллективное перемещение в трехмерном пространстве: рыбы, птицы и дроны.....	281

Клеточные автоматы.....	284
5.3. Динамика автомобильных потоков	286
Макроскопические модели	289
Микроскопические модели	291
Клеточные автоматы в описании автомобильных потоков	293
Прерывистое управление	295
Системы управления городским транспортом.....	297
5.4. Движение пешеходов	298
5.5. Управление толпой.....	303
ГЛАВА 6. СТРУКТУРА СОЦИУМА: ГРАФЫ И СЕТИ.....	308
6.1. Графы и их характеристики.....	308
Графы и транспортные потоки	314
Задача о ранце	317
Задача о коммивояжере.....	319
Когнитивные карты	320
Комплексное оценивание.....	321
6.2. Сети и их характеристики.....	324
6.2.1. Случайные графы.....	325
Графы Эрдеша-Реньи	325
Графы Уоттса-Строгаца	327
«Растущие» безмасштабные графы.....	329
6.2.2. Сложные сети	330
Математическое отступление: характеристики случайных величин.....	336
Сложные сети в реальном мире.....	337
Нейронные сети мозга.....	338
6.3. Процессы на сетях.....	341
Перколяция.....	342
Математические модели эпидемиологии	344
Устойчивость сетей	346
Каскадные процессы.....	348
6.3.1. Сеть Интернет и ее составные части.....	349
Архитектура сети Интернет.....	349
Компоненты Сети	352
Трафик информации и поиск в Интернет.....	357
6.3.2. Сложные сети и неевклидова геометрия	360
6.4. Фазовые переходы в сетевых структурах.....	365
Термодинамические модели	365
Модель Изинга на сетях	366
Синхронизация узлов сети.....	367
6.4.1. Взаимодействие процессов на сетях. Ко-эволюция.....	370
ГЛАВА 7. ТЕОРИЯ ИГР В ОПИСАНИИ СОЦИУМА	375
7.1. Введение: конкуренция как игра.....	375
Первое математическое отступление: задачи оптимизации	378
Второе математическое отступление: теория групп	379
7.2. Некоторые понятия математической теории игр	382
7.2.1. Простейшие игры двух лиц.....	382
Орел или решка.....	382
Перекресток.....	384

Семейный спор.....	385
Дилемма бандита	386
7.2.2. Преобразования платежной матрицы.....	387
Предпочтения и полезность	387
Упрощение матрицы платежей.....	389
7.3. Решения матричной игры	390
Равновесие в доминирующих стратегиях.....	391
Равновесие в осторожных стратегиях.....	392
Равновесие Нэша и оптимум Парето	394
7.4. Равновесие в смешанных стратегиях	396
Алгебраическое решение	397
Графическое решение.....	398
Игра полковника Блотто	400
7.5. Непрерывные игры	402
«Горизонтальная конкуренция», или мороженое на пляже.....	403
Борьба за ренту	405
Потенциальные игры	406
Дуополия Курно.....	407
7.6. Другие виды некооперативных игр	408
Крестики-нолики на доске 3×3	409
Аукционы.....	411
7.6.1. Игры с неполной информацией.....	413
Полицейский и подозреваемый	413
Дуополия Курно с неполной информацией.....	415
Рефлексивные игры	416
Пенальти в футболе	416
7.6.2. Ограниченная рациональность	418
«Игра в меньшинство»	418
7.6.3. Эволюционные игры.....	421
Ястребы и голуби.....	422
7.7. Кооперативные игры	426
Математическое пояснение: выпуклые множества	432
Формальные соотношения кооперативных игр	433
Вектор Шепли	435
Устойчивые браки.....	437
7.8. Игры и тропическая алгебра.....	441
Третье математическое отступление: группы и алгебры.....	442
Тропическая алгебра	443
ГЛАВА 8. ФИЗИЧЕСКИЕ ИДЕИ В ЭКОНОМИКЕ	447
Очень краткий исторический очерк.....	448
8.1. Основы экономики и физика.....	450
Экономика и физические принципы	452
Экономическое равновесие	454
Управление экономикой: многокритериальная оптимизация	459
8.2. Некоторые соотношения теории вероятностей	462
8.2.1. Вероятности случайных событий.....	462
Математическое отступление: сведения о множествах	463
8.2.2. Распределения вероятностей.....	466
Дискретные случайные величины.....	466

Непрерывные распределения.....	470
А. Нормальное распределение	470
Б. Логарифмически нормальное распределение.....	472
В. Распределение Коши	473
Г. Распределение Гиббса.....	475
Д. Распределение Парето	475
8.2.3. Моменты распределений и статистические параметры выборок.....	477
Статистические средние величины	479
8.3. Экономика и энтропия.....	482
8.3.1. Термодинамическая энтропия и экономика	482
Феноменологическая энтропия в экономике	483
8.3.2. Статистическая энтропия в экономических моделях	486
Энтропия Больцмана-Гиббса и вероятность	487
Энтропия Шеннона.....	489
8.4. Деньги и физика.....	492
8.4.1. Кинетическая теория денег	495
8.4.2. Метод неопределенных множителей Лагранжа и максимум энтропии.....	499
8.4.3. Монетаристские теории	502
Денежные агрегаты	506
Современная монетаристская теория.....	507
Криптовалюты.....	509
8.5. Сетевые структуры экономики.....	510
Сеть мировой торговли	513
Сеть транснациональных корпораций	515
Другие модели сетевых структур	517
Агент-ориентированные модели	518
8.6. Биржа и эконофизика.....	519
8.6.1. Биржевые индексы	520
8.6.2. Биржевые данные и эконофизика.....	525
8.6.3. Прогнозирование биржевой динамики	529
Математическое отступление: фрактальные множества	530
Алгоритмическая торговля	535
8.6.4. Мировые финансово-экономические кризисы	537
Современный мировой кризис 2020-?? гг.....	541
8.7. Экспериментальная экономика и квантовоподобные модели	544
Квантовомеханические модели биржи	545
Квантовая теория игр.....	549
Квантовоподобные модели принятия решений	551
ГЛАВА 9. ПРИНЦИПЫ ФИЗИКИ В ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ.....	559
9.1. Общественные науки и методы физики.....	560
9.2. Методы точных наук в психологии и лингвистике	564
9.2.1. Математические модели семантики	565
Математическое отступление: главные компоненты и сингулярное разложение матриц	566
Латентный семантический анализ.....	572
9.2.2. Формальные модели лингвистики	577
«Игра в имена»	581
Нейролингвистическое программирование.....	583
9.2.3. Закон Ципфа	585

9.3. Физические модели в социологии	590
9.3.1. Иерархии и группы в социальных системах.....	593
Классификация агентов в социальной системе: блочное моделирование	596
Моделирование малых групп	598
9.3.2. Распространение мнений в социуме.....	603
Модель де Гроота.....	609
9.3.3. Содержательный анализ общественного мнения	611
9.3.4. Тематический анализ	614
Математическое отступление: неклассические виды энтропии.....	616
9.3.5. Моделирование коллективных действий.....	619
9.4. Математические методы политологии	627
9.4.1. Системы голосования	628
Манипулируемость выборов и теорема Эрроу	633
9.4.2. Парламентские процедуры	635
Индекс Банцафа	636
9.4.3. Некоторые математические модели политологии	638
Законы Бенфорда	644
9.4.4. Политические технологии.....	646
9.5. Моделирование конфликтов и войн	651
9.5.1. Количественные данные о конфликтах и войнах.....	654
Количественные соотношения в военных науках	654
Компьютерное моделирование войн и политических конфликтов.....	659
Модели прерывистого равновесия	660
9.5.2. Теория катастроф в применении к социальным системам	663
Пример: остойчивость корабля	665
Особенности потенциальных функций и классификация катастроф.....	667
Катастрофы в междисциплинарных задачах	668
9.6. Физическая и математическая история	669
9.6.1. Верификация и математическая обработка исторических данных	672
9.6.2. «Физическая история»	676
Поток солнечной энергии и климат	676
Солнечная активность и историческая динамика.....	679
9.6.3. Математическое моделирование исторических процессов.....	682
ЧАСТЬ III. РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ	693
ГЛАВА 10. ПРОСТЕЙШИЕ ВИДЫ ИНТЕЛЛЕКТА И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ...	695
10.1. Роевой интеллект	698
Научно-популярное отступление: общественные насекомые	698
10.1.1. Роевой интеллект общественных насекомых	702
10.1.2. Роевой интеллект других животных	705
Подчинение и иерархия среди животных.....	706
Роевой интеллект позвоночных.....	707
«Разум толпы».....	708
10.2 Автономные аппараты и теория автоматического управления	711
10.2.1. Теория автоматического управления	711
Пример управления: задача о «шофере-убийце».....	712
Динамика линейной системы с управлением.....	713
10.2.2. Автоматическое управление и робототехника.....	717
Техническое отступление: перемещения робота-пылесоса.....	717
Фильтр Калмана и пространство представлений.....	718

Навигация технических устройств.....	722
Групповая робототехника и роевой интеллект	723
10.3. Нечеткое управление.....	724
Нечеткие множества	725
Нечеткий контроллер.....	729
ГЛАВА 11. «ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ», ИСКУССТВЕННЫЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ	
ИНТЕЛЛЕКТ	736
11.1 Интеллект как коллективный феномен.....	736
11.1.1. Социальный интеллект животных и человека.....	737
11.1.2. Коллективное свертывание информации.....	740
11.2. Типы искусственного интеллекта	742
11.2.1. Искусственные нейронные сети	743
Техническая иллюстрация: «водяная» ИНС XVII-го века.....	745
11.2.2. «Логический» ИИ.....	747
Математическое отступление: некоторые элементы формальной логики	748
Применение «логического» ИИ.....	753
Анализ формальных понятий	754
11.2.3. Компьютерное моделирование роевого интеллекта.....	757
11.3. Коллективный интеллект в человеческих сообществах.....	760
Групповой интеллект.....	762
Интеллект организационных систем.....	766
Коллективный интеллект «макроскопических» систем.....	771
Войны как прямой диспут РИ.....	773
Коллективный интеллект и вариационные принципы	775
ГЛАВА 12. ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТА	779
12.1. Образы действительности в информационном пространстве	780
12.1.1. Общие положения	780
12.1.2. Детализация образов реальности: модули	782
Краниометрическое отступление: как отличить собаку от кошки без помощи ИНС	783
Цифровая обработка изображений.....	785
Теории восприятия в психологии.....	789
12.2. Модульная модель восприятия.....	793
12.2.1. Предварительные соображения	793
12.2.2. Описание модели.....	796
12.2.3. Направления детализации модульной модели	799
12.2.4. Модульная структура РИ.....	803
12.2.5. Модульная модель в ИИ.....	805
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	807
ПРИЛОЖЕНИЕ. НЕОБХОДИМЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МАТЕМАТИКИ.....	813
ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ.....	830
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	831

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Только физики соль, остальное всё ноль.
А филолог и химик – дубина!
студенческая песня физиков*

Начало работы над книгой – серьезный шаг. В своей уже довольно долгой жизни автор лишь несколько раз вступал в такую полосу. Для того, чтобы часть вашего времени полностью принадлежала будущему созданию, нужны аргументы, в том числе эмоциональные. Хочу поделиться ими с читателями.

Физика и математика – солидные дисциплины. В средней школе, где жизнь сортировала нас для будущих профессий, они представлялись мне важными, необходимыми, но трудными и абсолютно неинтересными. Школьный учебник физики для восьмого класса выглядел как мешанина из унылых задач по арифметике («из пункта А в пункт Б против течения реки отправилась лодка...») и не понятных подростку высокоумных рассуждений («близкодействие и действие на расстоянии»). То ли дело химия, где каждая реакция – волшебство! Ради него можно выучить наизусть большие массивы информации: например, таблицу Менделеева.

Получив химическое образование, автор вместе с филологами искренне порицал снобов-физиков, почему-то полагавших свою науку главной. И только потом, разбираясь с физическими данными в той же химии и пытаясь найти им объяснение, я начал понимать: со школьным учебником физики просто не повезло, но сама физика действительно выделяется из всех «естественных» дисциплин, постепенно поглощая их пограничные разделы. А математика – тоже совсем не одна из равноправных наук: она создает их общий язык, то есть формализованные схемы рассуждений в любой области (правда, доступные лишь немногим лицам с болезненной склонностью к абстрактному мышлению).

В XX веке математика, а вслед за ней и физика ворвались в гуманитарные области знания. Демографические данные, итоги социологических опросов и (главное!) цены акций на бирже стали восприниматься как результаты количественных измерений чего-то не вполне определенного под названиями «экономика», «политические пристрастия», «ожидания спекулянтов» и вообще «параметры социума». Массивы полученных чисел начали обрабатывать и обсуждать так, как принято в экспериментальной физике, отчего возникли не только новые термины, но и не вполне традиционные идеи. В который раз (см. Введение) в науках о человеке возродилась надежда на естественные науки, где уже построено описание явлений природы – а разве общество людей не природное явление? Потребовалось время, чтобы снова осознать: прямой перенос методов из одной дисциплины в другую некорректен, человеческое общество не сводится ни к движению планет, ни к термодинамике газа или физическим процессам в сколь угодно сложной конденсированной среде. Но, как и в прошлые годы, натиск физиков выявил явные аналогии «живых» и «неживых» систем, частично формализовал – и оставил без ответа серьезнейший вопрос о причинах их фундаментальной расходимости. Это мы и обсудим в книге.

Мнение математиков и физиков (а также «естественников» и инженеров) насчет определяющей роли точных наук в прогрессе человечества не совсем верно. Оно принимает за всемирный закон весьма особую динамику трех последних столетий, результаты которой человечеству еще предстоит корректировать. В историческом прошлом для продуктивного интереса к наукам – хоть естественным, хоть гуманитарным – любознательный индивидуум должен был жить значительно дольше тех 25-30 лет, которые отпускала ему природа в архаическом обществе. И эту глобальную революцию произвели совсем не математики,

которых тогда вообще не было, а древние сатрапы (понемногу выросшие из полуживотных вожаков человеческих стай) и лекари (так же эволюционировавшие из колдунов и шаманов). Первых инженеров и ученых-жрецов создали практические запросы всё тех же сатрапов («проведи воду в наши поля, и чтобы всегда была – не то на кол!») плюс естественное желание людей лучше и дольше жить. Геометры в античности не имели отношения к весьма мифологизированной арифметике: они размечали земельные участки, то есть главную древнюю собственность. На их интерпретацию, условно говоря, теоремы Пифагора, примерно как на теоретические построения современных экономистов, вполне могли влиять запросы заказчика. А такие важные отрасли знания, как строительство или оружейное дело, были ремеслами с секретами, передаваемыми по наследству. Локальные очаги культуры понемногу росли, подтягиваясь к высокому искусству и абстрактным понятиям, до очередного снижения потока солнечной энергии, поступающей на Землю – тут случались глобальные неурожаи и эпидемии, голодные завоеватели рушили городскую жизнь и смешивали карты, возвращая регионы в неолит; игра начиналась с начала.

Объединение человечества в техническую цивилизацию за несколько столетий – мгновение в полумиллионе лет существования *homo sapiens* – изменило сознание людей, вложив вновь открытым ученым и инженерам мысль об их исключительной ценности. Рост населения Земли, в разобщенном X веке нашей эры едва составлявшего 250 млн. человек, сопровождался и ускорялся серьезным умягчением нравов. Принципы внешней политики развивались от архаического «убить и съесть» через древнее «разгромить и разграбить» до нынешнего «подчинить и эксплуатировать». Нормы существования индивидуума в социуме обогатились еретическим понятием «личное поведение». Именно в тот период у важной ученой дамы Схоластики объявилась побочная дочь Алгебра (видно, не обошлось без мавра), которая из нескладной занудной дылды быстро превратилась в царицу наук Математику. Во второй половине прошлого века под присягу этой царице стали приходиться гуманитарные дисциплины. Роль церемониймейстера с удовольствием взяла на себя Физика: внучатая племянница Натурфилософии, которая первой из всех естественных наук сделала Математику своей лучшей подругой. По совершенно справедливому мнению Д.А. Новикова – директора Института проблем управления РАН и одного из лидеров современных приложений точных наук в экономике и обществе – идеологически все мы принадлежим не к традиционному человечеству с его воинствующей дикостью, фанатизмом, неолитической деревней, жертвоприношениями и так далее, а к трем последним столетиям взрывного роста цивилизации со всеми их успехами, а также новыми злодействами и иллюзиями.

Эта книга задумана как введение в новые формализованные области обществознания для тех, кто, подобно автору, не является прирожденным математиком или физиком. Главное препятствие в построении логически непротиворечивой физики общества – взаимная нелюбовь физиков и обществоведов ко второй половине такого альянса. Считается, что за точные науки и гуманитарное знание отвечают разные полушария головного мозга. От этого, как и в прежние времена (о чем пойдет речь во Введении), при контактах «физиков» с «лириками» параллельно возникают нестандартные разделы теоретической физики и новые методы обработки информации в науках о человеке. Последними обычно тоже занимаются математики или физики, перешедшие из своей дисциплины, как они полагают, в гуманитарную сферу. Но ядро гуманитарных наук в сознании их профессиональных носителей таким процессом почти не затрагивается.

В нынешнем проникновении методов естествознания в общественные дисциплины есть новое обстоятельство: быстрая компьютеризация всех сторон человеческой жизни. Она

вынуждает оперировать числами представителей самых «неестественных» наук (возможно, за исключением философов). А это подразумевает некоторое владение математикой. Беда приходит с другой стороны: в современных физических моделях общества используют неклассический формализм, поскольку более традиционные математические методы здесь уже опробовали. Это значит, что ученым «гуманитариям» для знакомства с междисциплинарной физикой недостаточно школьной алгебры и геометрии: в настоящее время им следует знать основы теории игр и теории графов, фракталы, нечеткие множества... Правда, в самих этих основах нет ничего особенно сложного или «контринтуитивного» – философские концепции гораздо заумнее. Но понятно объяснить новые разделы математики можно лишь на некотором математическом же фундаменте, которого коллеги-обществоведы обычно не имеют.

Необходимость физико-математической подготовки историков, филологов, юристов и других представителей наук о человеке никем не оспаривается и постепенно реализуется в учебных программах. Главным препятствием здесь остается необходимость возводить верхние этажи почти без фундамента – а достаточный математический фундамент в нашей университетской системе, пожалуй, имеют только физики. Среди попыток указать обходной путь нельзя не назвать «Математику для гуманитариев» А.В. Савватеева [1], где хорошо и просто представлен современный и очень интересный материал. Проблема только в том, что людям, предрасположенным к гуманитарным предметам, математические «ребусы» (включая графы, фракталы и тому подобное) сами по себе неинтересны, а естественные науки, в их понимании, слишком резко и безапелляционно разделяют познанный и непознанный мир. Восприятие нефизических дисциплин – на самом деле начиная с химии и биологии – подразумевает не столько четкую логику, сколько ритм в построении результатов, рифмовку далеких идей и огромный объем почти не структурированной эмпирики. Используя аналогию с компьютерами, быстроедействие и мощный центральный процессор здесь не так важны, как обширная (в том числе оперативная) память. Возможно, в гуманитарных и точных предметах действительно работают разные полушария. И стандартные методы обучения, позволяющие совместить «физику» и «лирику» в одной голове, до сих пор не вполне известны.

Автор этой книги предполагает, что представители гуманитарных направлений решаются на знакомство с новой физикой и математикой не ради красивых задач, а просто для того, чтобы выжить в своей профессии. Формализация мирового обществоведения развивается примерно теми же темпами, что и компьютеризация быта: оставшиеся внутри «традиционного» (на деле устаревшего) круга проблем и методов рискуют отстать навсегда. Негуманный западный принцип *опубликуйся или пропади* (англ. *publish or perish*) хорошо стимулирует умственную деятельность, но статьи наших авторов в международной периодике должны отвечать современным требованиям научных журналов и конференций. Иначе их там не будет.

Книга задумана в помощь всем желающим ознакомиться с новыми разделами «физики общества» – включая тех, кто по объективным причинам овладел математикой и физикой лишь в объеме средней школы либо редко их использовал на практике. Ее основу составили лекции автора по одноименному межфакультетскому курсу в МГУ, а также литературные и собственные результаты в междисциплинарных приложениях физики к описанию социума. Погружаться в этот новый захватывающий мир помогали яркие нестандартные работы, представляемые на семинарах Г.Г. Малинецкого в Институте прикладной математики и Д.С. Чернавского в ФИАНе, на нашем семинаре по социофизике, с 2016 г. носящем имя Дмитрия Сергеевича Чернавского (соруководители Ю.Л. Словохотов и проф.

Л.А. Асланов), на семинаре ректора МГУ академика В.А. Садовниченко «Время, хаос и математические проблемы» и других неклассических форумах. Живую творческую атмосферу формировали регулярные конференции «Математика, компьютер, образование» (МКО), осуществляемые самоотверженными усилиями профессора Галины Юрьевны Ризниченко (биофак МГУ) и ее коллег, российские конференции «Социофизика и социоинженерия» 2015 г. и 2018 г., в организации которых участвовал автор, – а в последние годы новое место работы: лаборатория активных систем Института проблем управления РАН.

При подготовке книги бесценной стала помощь и поддержка специалистов, использующих методы точных наук в изучении экономики и общества. Я очень обязан знакомым авторам, по первой просьбе предоставлявшим доступ к своим обзорам и книгам, среди многих – директору ЦЭМИ РАН чл.-корр. А.Р. Бахтизину, д.ф.-м.н. К.В. Воронцову (МГУ+МФТИ), докт. комп. н. С.Н. Кольцову (НИУ ВШЭ в С.-Петербурге), д.ф.-м.н. С.Н. Дороговцеву (ун-т Авейру, Портулагия + ФТИ им. Иоффе, С.-Петербург), докт. ист. наук (а по первой специальности математику и к.ф.-м.н.) С.А. Нефедову (Институт истории и археологии УрО РАН, Екатеринбург), проф. П.В. Турчину (University of Connecticut, США) и другим коллегам – их список трудно сделать полным. Огромную пользу принесли комментарии и исправления профессиональных физиков и математиков, которым автор навязывал свою продукцию; надеюсь, что учет замечаний улучшил книгу. Особую благодарность я хотел бы высказать директору ИПУ РАН академику Дмитрию Александровичу Новикову, прочитавшему и местами откорректировавшему весь текст, за постоянное внимание, помощь и поддержку. Также огромное спасибо заведующему кафедрой биофизики физического факультета МГУ профессору Всеволоду Александровичу Твердислову, взявшему на себя аналогичный труд, за большую помощь и важные комментарии. Отдельные главы и разделы прочитали, а в ряде случаев и выправили д.ф.-м.н. А.И. Абрамович (химфак МГУ), д.ф.-м.н. А.Г. Чхартишвили (ИПУ РАН), проф. А.А. Васин (ВМК МГУ), д.ф.-м.н. К.Э. Плохотников (физфак МГУ) и к.х.н. И.С. Неретин (Rock Flow Dynamics, Москва). Иван Сергеевич Неретин не только консультировал в трудной области компьютерных сетей, но и был соавтором в наших работах. Составлению авторского макета очень способствовали профессиональные рекомендации ведущего инженера отдела оперативной полиграфии ИПУ РАН С.В. Сухановой. Всем, кто помогал и поддерживал подготовку этой книги, а также своими исследованиями формировал ее содержание (полный список стал бы огромным, но в тексте приведены ссылки), автор чрезвычайно признателен.

Книга состоит из трех частей. Во Введении дан очень краткий исторический очерк о влиянии естественных наук на гуманитарные дисциплины. В первой части представлен выборочный конспект основных понятий физики и используемого в ней математического аппарата на уровне средней школы (глава 1) и институтских курсов физики для студентов-«естественников» (главы 2 и 3), а также материал по физике сложных систем, реже попадающий в учебники (глава 4). Каждую главу иллюстрируют модели, перенесенные из физики в экономику, психологию, теорию транспортных потоков и другие «общественные» приложения.

Во второй части обсуждается применение физических методов к описанию разнообразных социальных систем: потоков «живых» частиц (бактерий, рыб и птиц, автомобилей, пешеходов, глава 5), сетевых структур общества (глава 6), закономерностей экономики и эконофизики (глава 8), а также в лингвистике, социологии, политологии и *математической истории* (глава 9). В каждой главе, по мере необходимости, без строгих

доказательств вводится соответствующий формальный аппарат: элементы теории графов (глава 6), фракталы (глава 8), элементы теории катастроф (глава 9). В главе 7 кратко сформулированы основные положения теории игр и рассмотрены теоретико-игровые схемы конкуренции и противостояния действующих единиц (*агентов*) в экономике и в других социальных системах.

В третьей части представлены основы теории автоматического управления и роевого интеллекта (глава 10); описание разных видов социума как мультиагентных систем, оснащенных распределенным интеллектом, и пути формализации самого понятия «интеллект» (главы 11 и 12). Здесь приводятся сведения об искусственных нейронных сетях, нечетких множествах и формальной логике, рассмотрены «умные» алгоритмы поиска и оптимизации, задачи социолингвистики и некоторые другие вопросы. В целом две последние главы выражают мнение автора о вкладах физики и разума в динамику социальных систем, за которое он несет полную ответственность. В Приложении приведены сведения об использованном математическом аппарате.

Эта книга адресована лицам с разной физико-математической подготовкой, но было бы неразумно осваивать ее «с нуля». Предполагается, что читатель знает математику и физику, как минимум, в объеме средней школы. Если в школе эти предметы не были любимыми (что не редкость в гуманитарной среде), некоторые вопросы желательно повторить – особенно логарифмы и элементы математического анализа по стандартному учебнику математики для старших классов. Чтобы вспомнить школьную физику, хорошо подойдет, например, краткое (немногим больше 500 стр., в основном это задачи) пособие для поступающих на факультет ВМК МГУ [2].

Первая глава книги не содержит новых, не известных выпускнику средней школы фактов из физики. В ней перечислены основные физические законы и связанные с ними квазифизические модели, которые используются в описании экономики и общества. Те, кто имеет подготовку в объеме двух-трех курсов естественных факультетов университета, так же легко прочтут вторую главу, старшекурсники – третью. Здесь будет уместно заглядывать в книги по общей физике, рекомендованные во 2-й главе: учебники С.Э. Фриша и А.В. Тиморевой (почтенный – но, кажется, и лучший) [3], И.В. Савельева [4] либо в Берклеевский курс [5]. Так как многие обсуждаемые нами сложные системы происходят из химии и биологии, желательно по мере прохождения материала главы 4 восстанавливать и эти базовые знания – например, по справочнику Е.А. Ереминой и О.Н. Рыжовой [6] и таблицам А.В. Онищенко [7], рассчитанным на старшеклассников.

Приложения физики к обществу начинаются со «школьных» формул. Поэтому четыре главы первой части следует прочитать всем независимо от уровня подготовки – разница будет лишь в легкости и скорости восприятия. Остальные главы посвящены систематическому, насколько так можно говорить в настоящее время, использованию моделей и методов междисциплинарной физики в современных общественных науках. Некоторые чуть более формализованные либо немного менее общие (однако тоже необходимые) темы представлены мелким шрифтом как дополнительный материал. При первом чтении их можно пропустить, но после освоения главы или ее раздела к ним надо вернуться: «дополнительный» не значит «необязательный»! В списках рекомендуемой литературы по каждой теме из огромного существующего объема приведены несколько хороших книг на русском языке и 1-2 фундаментальных руководства на английском. По ходу изложения также приводятся некоторые полезные ссылки на журнальные статьи и интернет-публикации.

Задачи и контрольные вопросы больше ориентированы на «гуманитарных» читателей. В основном они призваны поддерживать интерес к материалу и заодно показать некоторые элементы устройства мира с точки зрения закоренелых материалистов. Кроме того, даже самые простые вопросы и задачи (а трудных заданий в этой книге нет) помогают усвоить информацию. По мере написания текста автор убедился в этом на собственном опыте – приходилось вспоминать забытые сведения и разбираться в новых.

Книга не в меньшей степени адресована и тем, кто приходит в междисциплинарную физику из естествознания или инженерных дисциплин. Таким читателям задачи покажутся элементарными, но лучше все-таки находить их решения. Наша главная цель – рассказать, не перегружая теоретическими выкладками, как физические и математические подходы используются в разных разделах современных общественных наук, какие результаты здесь уже достигнуты и что в дальнейшем можно ожидать от этого процесса.

Рекомендуемая литература

1. А.В Савватеев. *Математика для гуманитариев. Живые лекции.* - М.: Литрес, 2020.
2. К.Н. Драбович, В.А. Макаров, С.С. Чесноков. *Физика. Практический курс для поступающих в университеты.* М: Физматлит, 2006.
3. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева, *Курс общей физики.* В 3-х томах. 12-е изд., т. 1. СПб.: Лань, 2017.
4. И.В. Савельев, *Курс общей физики.* В 5 томах. 7-е изд. СПб.: Лань, 2022.
5. *Берклевский курс физики.* В 5 томах, Пер. с англ. М.: Наука, 1977-1986.
6. Е.А. Еремина, О.Н. Рыжова. *Химия: справочник школьника.* 2-е изд., М.: МГУ, 2014.
7. А.В. Онищенко. *Биология в таблицах и схемах,* 3-е изд., СПб: Виктория плюс, 2017.

ВВЕДЕНИЕ

*Предмет моей лекции – плодотворная дебютная идея. Что такое, товарищи, дебют, и что такое, товарищи, идея? Дебют, товарищи – это quasi una fantasia...
И. Ильф, Е. Петров. 12 стульев*

Поскольку книга называется «Физика общества», надо определить значение слов в этом сочетании. В Физической энциклопедии (Научное издательство «Большая российская энциклопедия», 1998 г, Москва) первое понятие раскрывается так:

Физика – наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства и законы движения окружающих нас объектов материального мира. Вследствие этой общности не существует явлений природы, не имеющих физических свойств или сторон. Понятия физики и ее законы лежат в основе всего естествознания.

За обтекаемыми фразами здесь кроется весьма агрессивное экспансионистское заявление: весь материальный мир и всё естествознание – суть современные или будущие главы физики. Его трудно оспорить на материале истории науки: астрономия как наблюдение звезд породила сначала небесную механику, а потом общую теорию относительности; кристаллография из описания формы кристаллов и методов их выращивания эволюционировала в сильно математизированный раздел физики твердого тела; инженерная теория паровых машин создала термодинамику, сложные электрические схемы открыли путь качественному анализу нелинейных дифференциальных уравнений и так далее. Ближе к нашему времени эмпирические закономерности транспортных и пешеходных потоков, в первой половине XX века относившиеся к городскому хозяйству, к концу века перешли в физику сложных систем, а технический анализ биржи создал экономфизику. Этот список можно продолжать почти бесконечно.

Но даже если физика – действительно «наше всё», правила ее использования в других дисциплинах этим не определяются. Математический формализм в каждой из упомянутых областей настолько разный, что возникает обоснованное подозрение: возможно, универсальных рецептов его построения не существует. Тогда теоретическое описание явлений в новых приложениях физики (в этих случаях ее называют *междисциплинарной*) не сводится к переносу уже известных соотношений и формул в другую науку: оно должно вырасти в каждой области из ее специфических задач.

Существует столько разных определений общества, что без ущерба для их многообразия можно сформулировать еще одно. Оно основано на стандартных сочетаниях слова «общественный» с очень разными существительными: общественный резонанс, общественная собственность, общественные насекомые... Так как общество в интеллектуальной среде принято называть *социумом*, а любые социумы (и не только они) в гуманитарных науках обычно считаются «системами» – дадим определение:

Социальная система – это динамическая совокупность автономных индивидов, которые преследуют собственные цели при взаимодействии друг с другом и с окружающей средой.

Определению удовлетворяет широкий спектр систем, состоящих из индивидов или индивидуумов*: кружок филателистов, первобытное стадо, муравейник, колония бактерий, «стая» (или *формация*) беспилотных аппаратов... (Совокупность взаимодействующих аппаратов или ансамбль квазичастиц в компьютерном алгоритме мы назовем *искусственной социальной системой*). Частные, но важные примеры социальных систем –

человеческое общество и его отдельные фракции: группы людей, организации и предприятия, политические партии, классы, ...

Ключевое слово *взаимодействие* перебрасывает мостик от социума к «неживым» многочастичным системам, где кооперативную динамику вычисляют через суммы состояний взаимодействующих частиц. Расчетные компьютерные модели социальных систем, называемые *агентными моделями*, создаются именно на этом пути – со всеми его достоинствами («мультиагентный» характер социальной системы трудно отрицать) и недостатками. (В отличие от покупателя в магазине, молекула или атом как частица конденсированной среды не может *передумать* – и эта разница отражается в коллективной динамике социума).

Чтобы применять физику к обществу, желательно сформулировать основное содержание этой науки. Для многих дисциплин ответы на такой вопрос общеизвестны. Химия исследует превращения веществ, то есть химические реакции. Биология изучает живые организмы, включая разнообразные физические и химические процессы внутри них и с их участием. Социология занимается строением и динамикой общественных структур, то есть одной из частных сторон социальных систем; экономические науки анализируют другую их сторону: взаимодействие структур и индивидуумов, основанное на обмене. Математика создает формулы и уравнения. Тогда физика, в ее бытовом понимании, исследует такие явления природы, которые можно выразить математическими уравнениями и формулами. Под формулами здесь понимаются любые соотношения, которые соединяют «А» и «В» – не обязательно однозначные, но непременно *объективные*, то есть существующие независимо от тех лиц, кто эти соотношения обнаружил.

Грубый материализм, как к нему ни относиться – основа физического подхода к миру. Объективность явлений природы, измеримость связанных с ними эффектов, воспроизводимость результатов измерений – без этого физики нет. И если мы считаем социальные системы природными объектами (а какими еще?), сколь угодно сложные и неоднозначные процессы в них *объективны*. В этом и только в этом случае можно надеяться на их формальное описание языком физики^{** 1}.

Основные физические понятия – скорость, массу, силу, энергию, и т.д. – мы будем обсуждать, но каждый имеет о них интуитивное представление. Чтобы не обосновать, а скорее ощутить их применимость к общественным системам, проведем мысленный эксперимент. Представим, что читателю этого текста в зимнем городе поручили отвести пешеходов от опасного участка на тротуаре, куда сбрасывают снег и лед с крыши, не обеспечив средствами ограждения: флажками, столбиками, предупреждающей лентой... Вдвоем, тем более втроем с такой задачей легче справиться: мы перегорим тротуар и будем вежливо повторять всем, кто упрется в наше оцепление: впереди опасная зона, обход.

* В естественных науках *индивидом* обычно называют единичный объект из исследуемого множества: одушевленный (в антропологии), неодушевленный (представитель биологического вида) и даже неживой (так, в кристаллографии это один из сросшихся монокристаллов в друзе). В гуманитарных науках одушевленный субъект чаще называется *индивидуумом* – но, например, социологи традиционно используют первый термин. Поскольку мы обсуждаем всю совокупность наук о человеке и обществе, нестыковка названий в разных дисциплинах неизбежна. В этой книге мы будем называть «индивидуумами» людей в тех или иных социальных системах, а «индивидами» – иные действующие единицы: это могут быть пчелы, приматы, роботы, фирмы, учреждения и так далее. Чтобы уменьшить неопределенность, любые участники социального процесса будут предпочтительно называться *акторами* или *агентами*: расшифровку этих терминов мы дадим в первой главе.

** Измерения в квантовых системах, воспроизводимость среднего результата, ограниченность причинно-следственных связей и прочие интересные вопросы будут обсуждаться в третьей главе.

Если же отворачивать пешеходный поток (а это социальная система!) придется в одиночку, окажется, что многие идущие погружены в себя и вас просто не воспринимают; кто-то поймет обращение как агрессию, кто-то не поверит, не расслышит и пойдет под падающие сосульки – в общем, спасение людей будет трудной задачей. Зато, если вы оказались достаточно настойчивы и все-таки отвернули череду пешеходов с тротуара на край проезжей части дороги, дальнейшее будет зависеть уже от сознательности водителей. Большинство людей станут автоматически поворачивать с тротуара вслед за идущими впереди, вам останется корректировать самых рассеянных (рис. 1). А это значит, что у социальной системы, при всей сложности ее структуры и процессов, есть *инерция*.

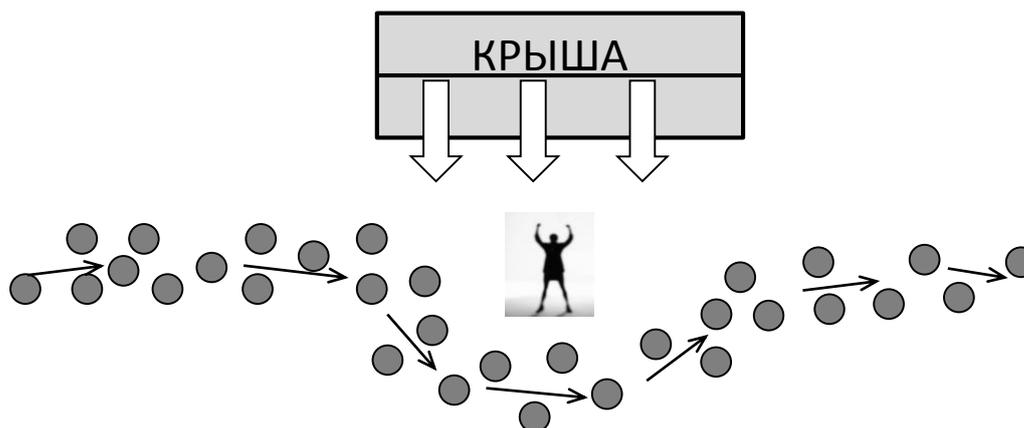


Рисунок 1. Как повернуть толпу? (мысленный эксперимент)

Количественной мерой инертности в физике является масса. В нашем мысленном эксперименте тоже есть количественная мера: чем больше поток пешеходов, тем труднее его повернуть, но тем легче поддерживать установившееся движение. Можно придумать похожие модельные задачи о продвижении нового товара на рынок, предвыборной агитации и так далее – во всех случаях более многочисленная общность людей окажется более устойчивой к внешнему воздействию.

Другой «квазифизический» эксперимент каждый может провести самостоятельно. Для этого в разговоре со спокойным уравновешенным человеком, который не поймет вас неправильно, достаточно сделать полшага по направлению к собеседнику. Вы наглядно убедитесь, что естественное расстояние в разговоре – около метра: ваш собеседник его восстановит, автоматически сделав полшага назад (рис. 2). Между «неживыми» частицами действуют силы притяжения и отталкивания – здесь же проявляется взаимное отталкивание «живых» частиц, нарушивших неприкосновенность личного пространства. (В переполненном автобусе отталкивание по необходимости отключается, и в такой дороге пассажиры сильно устают).

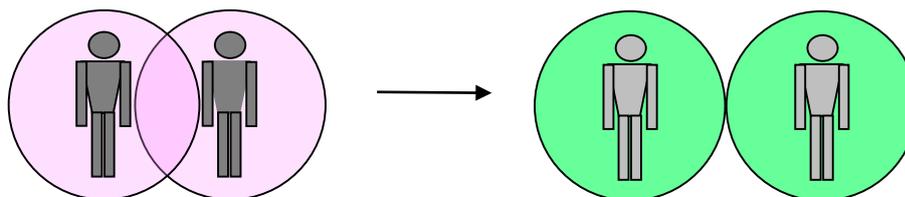


Рисунок 2. Комфортное расстояние при разговоре

В описании социальных систем используются и другие физические понятия. Не обязательно конструировать новые мысленные эксперименты, достаточно вспомнить словосочетания: волна банкротств, творческий импульс, энергия денег – даже «борьба с энтропией». Но чтобы физический подход работал, состояния социальных систем должны объективно существовать (в физике это аксиома) и воспроизводимо регистрироваться.

Воспроизводимость общественных процессов традиционно вызывает сомнения («в одну и ту же реку нельзя войти дважды»). Однако и простые физические параметры – такие как вес тела – воспроизводимы лишь в пределах точности измерительного устройства (весов). Если мы характеризуем состояние общества числами – например, процентом живущих ниже черты бедности – необходимо понять степень объективности тех, кто поставляет эти числа (они могут быть заинтересованы в искажении информации) и оценить разброс данных. Конечно, мы всегда подозреваем, что наш «измерительный прибор» не очень надежен, а в критический момент может проявить свободу воли, извратив показания. Но именно так и воспринимает свои приборы профессиональный физик-экспериментатор.

Другими словами, методы физики могут применяться и уже применяются к описанию разных аспектов жизни общества. При этом, как для любой исследуемой материальной (то есть объективно существующей) системы, возникают вопросы о корректности получаемых данных и о правомерности выбранных теоретических моделей. Модели, теории и целые направления могут оказаться ошибочными, для естествознания это нормально. Но возрастание роли физики, постепенно трансформирующей гуманитарные дисциплины в особую область естественных наук – объективный процесс, в котором нет непреодолимых запретов.

Физика в истории обществознания

Постоянное внедрение физики в науки об обществе лучше всего иллюстрирует история науки. Каждое новое достижение физико-математических теорий последних столетий испытывалось во всех областях знания без разделения на естественные и гуманитарные. (В XVI-XVII веках само это разделение только оформлялось). Фундаментальная для политологии книга «Левиафан, или материя, форма и власть государства церковного и гражданского» (1651 г.), написанная Томасом Гоббсом под сильным впечатлением от Английской революции и запрещенная в послереволюционной Англии, была классическим натурфилософским трактатом о человеке, сообществах людей и христианской вере; основу обществоведения составила его вторая часть. Вышедшая в 1691 г. книга Уильяма Петти «Политическая арифметика: рассуждение о величине и ценности земель, населения, строений, земледелия, мануфактур...» (полное название очень длинное) положила начало классической политической экономии и ввела количественные, в нынешних терминах *статистические* расчеты в науки об обществе. В конце XVIII века еще один знаменитый англичанин, астроном Уильям Гершель среди многих своих достижений установил корреляцию активности Солнца (по числу ежегодно наблюдаемых солнечных пятен) с колебаниями цен на пшеницу. Выдающийся французский математик Пьер Симон Лаплас в книге «Опыт философии теории вероятностей» (1814 г.) сопоставлял результаты новой дисциплины, одним из создателей которой он был, с вопросами демографии, судебной практики, деятельности страховых обществ и другими сторонами общественной жизни. Термин «социальная физика» в первой половине XIX века использовали основатель математической статистики Адольф Кетле и родоначальник научной социологии Огюст Конт. Во всех случаях «физика» понималась как количественные закономерности природы:

в теории и практике общественных наук прежде всего применялись новые математические приемы и методы.

К началу XIX века физика вполне отделилась от математики и механики и стала самостоятельной экспериментальной дисциплиной, интенсивно использующей математические инструменты. Ее быстрое расширение в сопредельные области затронуло науки о человеке. Немецкий психолог Густав Теодор Фехнер в своей книге *Elemente der Psychophysik*, вышедшей в 1860 г., сформулировал основные положения *психофизики* (фактически – экспериментальной психологии), обосновав количественную связь между внешним стимулом и реакцией субъекта. Во второй половине того же века физическая идея равновесия между спросом и предложением стала фундаментом *неоклассической экономики*. Эту область создавали, в том числе, математики и физики – так, знаменитый американский экономист Ирвинг Фишер в 1891 г. защитил свою, по-нынешнему, кандидатскую диссертацию «Математический анализ теории стоимости и цен» под руководством социолога У.Г. Самнера и создателя статистической термодинамики Дж.У. Гиббса. В другой кандидатской работе «Теория спекуляций» (1900 г.) французский математик Луи Башелье при описании биржи, по сути, впервые предложил модель движения броуновской частицы. Были и встречные процессы – так, одним из провозвестников социофизики ныне считают Льва Николаевича Толстого. В роман «Война и мир» действительно встроен профессиональный историко-философский текст (по понятным причинам школьники его пропускают), где человеческое общество названо физической системой и обсуждаются параллели исторических событий с физическими явлениями.

Двадцатый век внес много нового во взаимодействие естественных и гуманитарных дисциплин, куда вошли и многочисленные направления социальной инженерии. Политические и социальные кризисы ускорили развитие всего, что можно использовать в военном деле; «царицей наук» становилась техническая физика. Эти же кризисы заставляли отказаться от некоторых устаревших аксиом в гуманитарной сфере – например, от сугубо позитивного восприятия народных масс. Такие новые направления физики, как релятивистскую теорию и квантовую механику (в том числе превратно понятые), подобно прошлым столетиям, пытались немедленно применить в психологии, экономике, общественных дисциплинах. Результатом, как и прежде, стали усовершенствование экспериментальных методов и новые термины в науках о человеке, частичное преодоление штампов в сознании физиков («принцип дополнительности») – но не «социальная физика» как самостоятельная отрасль знания.

По существу, с начала XX века в науке проявилось *ускорение истории*, вызванное четырехкратным ростом населения Земли за этот период: мы обсудим его во второй части книги. При этом возникли новые разделы физики, которые вплотную приблизили ее к нефизическим дисциплинам. Из упомянутой теории броуновской частицы выросла физика стохастических явлений – именно они преобладают в социуме, где нет настоящих макроскопических систем. Нелинейные связи физических параметров так расширили набор возможных видов динамики системы, что для классификации множества решений дифференциальных уравнений потребовался новый математический аппарат. Прикладная математика занялась вопросами планирования и управления в социальных структурах, в том числе на основе соотношений физики, хотя само это слово до конца XX столетия здесь почти не употреблялось. Развитие транспорта, формализация производственных связей и межчеловеческих контактов (в частности, для задач эпидемиологии), а затем Интернет породили теорию сетей и процессов на сетях. В вычислительной математике возникли

компьютеры и затем суперкомпьютеры, первые модели нейронных сетей (*перцептрон*) и искусственный интеллект. В машинных расчетах обнаружили явление *детерминированного хаоса*, где вскоре тоже научились делать ограниченные прогнозы. Все это позволяет современной теоретической физике, с рядом необходимых оговорок, непосредственно перейти к описанию биологических и социальных систем.

Первую успешную попытку распространить физический подход на любые неравновесные процессы предпринял немецкий физик Герман Хакен в конце 1960-х годов. В его многократно переизданной книге «Синергетика» [1] для сходной динамики в системах разной природы были предложены однотипные дифференциальные уравнения. В том же направлении эволюционировали математическая социология (Вольфганг Вайдлих [2] и его школа в Германии), дифференциальные стохастические уравнения макроэкономики (Томас Сарджент в США [3]) и другие дисциплины. Термин *биофизика* появился в начале XX века, но был официально утвержден только в 1961 г. на 1-м конгрессе биофизиков в Стокгольме. Во второй половине века стали развиваться математические и агентные модели генетики, экологии, эволюционной биологии. В 1990-е годы возникли официальные термины *эконофизика* (Юджин Стенли, США) и чуть позже *социофизика* (Серж Галам, Франция), затем сформировались *клиодинамика* (Петр Турчин, США), как одно из направлений математической истории, и некоторые другие дисциплины. Таким образом, соединение физики с описанием социальных систем – не пожелание или предвидение, а свершившийся факт.

В этой книге будут рассмотрены основные направления физики общества, развиваемые в мире и в нашей стране. Предполагается, что её поймут не только те, кто по роду своей деятельности уже сталкивается с многообразными аспектами математики или физики, но и такие представители естественных и гуманитарных наук, которых жизнь заставляет углубиться в эту чужую, как сначала может показаться, область (см. Предисловие). На деле анти-гуманитарных научных методов не существует; нужно лишь потратить некоторое время на усвоение логики коллег-«естественников», в ходе тренинга решать простые учебные примеры и не огорчаться, если физики и математики в своих публикациях продолжают называть собственные представления о Вселенной единственно возможными. Синтез естественнонаучного и гуманитарного знания автор оставляет для будущих титанов мысли. У нас куда более скромная задача: рассказать о современных приложениях физики в науках о человеке и обществе так, чтобы их восприняли специалисты «естественных», инженерных и гуманитарных профессий.

Рекомендуемая литература

1. Г. Хакен, *Синергетика*, М., Мир, 1980.
2. В. Вайдлих, *Социодинамика. Системный подход к математическому моделированию в социальных науках*, М.: URSS, 2005.
3. T.J. Sargent, *Dynamic Macroeconomic Theory*, Cambridge, Harward University Press, 1987.