

Пролог	11
Глава 1 Где начинается будущее	15
Глава 2 Может ли биология улучшить аккумулятор? ...	35
Глава 3 Вода, вода, везде вода	69
Глава 4 Наночастицы борются с раком	95
Глава 5 Усиление мозга	115
Глава 6 Накормить мир	143
Глава 7 Перехитрить Мальтуса, еще раз	
Как ускорить слияние	173
Благодарности	199
Примечания	203
Предметно-именной указатель	231

*Посвящается Тому и Элизабет
за их постоянное терпение, мудрость и любовь*

Пролог

Последние несколько десятилетий, пребывая в должности декана и проректора Йельского университета, а затем президента и теперь уже президента-эмеритус* Массачусетского технологического института (МТИ), я имела редкую возможность заглянуть за горизонт науки. От того, что я там видела, захватывает дух. Нам выпало стать свидетелями появления гениальных и чрезвычайно мощных биологических инструментов: вирусов, которые могут самостоятельно формировать элементы питания; белков, способных очищать воду; наночастиц, умеющих находить и уничтожать раковые клетки; протезов, которые могут читать мысли; компьютерных систем, повышающих урожайность культур.

Новые технологии словно сошли со страниц фантастических романов, но они реальны. Разработка многих из них продвинулась уже очень далеко, и каждая ведет свое начало из одного и того же революционного источника — соединения¹ биологии и инженерного дела. Эта книга рассказывает о том, как происходит этот синтез, — о значительных научных открытиях, соединивших две такие разные области знаний вместе, и об исследователях-новаторах, использующих это слияние, чтобы изобретать инструменты и технологии, которые изменят нашу жизнь в наступившем столетии.

* Обозначение для преподавателей, которые в связи с преклонным возрастом освобождены от исполнения своих ежедневных обязанностей. — *Прим. пер.*

Нам нужны новые инструменты и технологии. Сегодня население земного шара составляет примерно 7,6 млрд человек², и ожидается, что к 2050 г. оно превысит 9,5 млрд. Вырабатывая энергию, которая служит топливом, согревает и охлаждает сегодняшнее население, мы уже выбрасываем в атмосферу такое количество оксида углерода, какого хватит, чтобы изменить климат планеты на многие века, и сейчас мы сталкиваемся с последствиями этого³. Температура и уровень океана растут⁴, большие участки земного шара поражены засухой, голодом и устойчивыми к лекарствам болезнями. Если просто распространять инструменты и технологии, имеющиеся сейчас в нашем распоряжении, это не решит ужасающие проблемы, с которыми мы сталкиваемся в мировом масштабе. Как мы можем получать доступную, но не загрязняющую природу энергию, производить достаточно чистую воду, разрабатывать более эффективные лекарства по низким ценам, предоставлять равные возможности для инвалидов и обеспечивать больше продуктов питания, не нарушив мировой экологический баланс? Нам нужны новые решения для этих проблем. Без новых технологий мы обречены на трудные времена.

Нам уже приходилось сталкиваться с прогнозами, предсказывающими всевозможные несчастья. В 1798 г. преподобный Томас Роберт Мальтус⁵, английский священник, демограф и экономист, установил, что повышение уровня населения неизбежно превысит рост производства продуктов. Результаты его анализа предупреждали о единственно возможном исходе — массовые вспышки голода, войн и болезней. Как заявлял Мальтус, эти вспышки смогут регулировать численность населения, но только ценой смерти множества людей. “Непреодолимое увеличение народонаселения, — писал Мальтус, — не может сдерживаться без нищеты и бедствий”.

Но Мальтус был не прав. Уже в его дни фермеры начинали применять новые методы обработки земли, в том числе четырехпольный севооборот и внесение удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Эти методы пол-

ностью изменили уравнение. Они сделали землю более плодородной и наполнили рынок большим количеством продуктов. При наличии доступной пищи население Англии выросло даже быстрее⁶, чем предсказывал Мальтус, что помогло удовлетворить требования к рабочей силе в период индустриальной революции. Технологически обусловленная сельскохозяйственная революция⁷ XIX в. внесла свой вклад в начало новой эпохи инноваций и экономического роста.

Сейчас мы подошли к подобному моменту. Предвещающие несчастья проблемы грозят нам последствиями, которые могут стать катастрофическими. Если их ничем не сдерживать, то они приведут к бедствиям и катастрофам на большей части земного шара. У нас нет средств, чтобы справиться с ними, — пока что нет. Но, когда мне удалось заглянуть за научные горизонты, я увидела удивительно яркое будущее. Биология и инженерное дело соединяются такими способами, которые ранее и представить себе никто не мог⁸, и этот синтез вскоре сможет предложить нам решение некоторых самых значительных и кажущихся непреодолимыми проблем. Мы вот-вот вступим в эпоху невиданных ранее новшеств и процветания, и возможность наступления лучшего будущего будоражит как никогда.

Где начинается будущее

Ранним утром 26 августа 2004 г. на собрании акционеров Масачусетского технологического института¹ меня избрали 16-м президентом МТИ. Выбор моей кандидатуры удивил большинство наблюдателей. Многие указывали на тот факт, что я была первой женщиной, занявшей эту должность, — существенная перемена, если учесть, что все 15 моих предшественников были мужчинами. Но некоторые подметили и кое-что более удивительное: я биолог. Моя дипломная работа и вся научная карьера были посвящены изучению физического, химического и структурного развития мозга, а это не та область, благодаря которой МТИ особенно известен.

Когда я заняла должность президента, институт славился вполне заслуженной репутацией одного из лучших в мире инженерных вузов и был родным домом для всемирно известных отделений физики, химии, математики и информационных технологий. Институт имеет давнюю историю сотрудничества с промышленностью, чтобы, руководствуясь основополагающей миссией “от идеи к действию”*, превращать сделанные в кампусе открытия в полезные и ценные на рынке технологии. Преподаватели и выпускники МТИ основали ряд компаний, в том числе такие, как Intel, Analog Devices,

* Девизом МТИ является латинское выражение “Головой и руками” (лат. *Mens et Manus*). — Прим. пер.

Hewlett-Packard, Qualcomm, TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, тайваньская компания по производству и изучению полупроводников) и Bose Corporation. Когда люди думают о МТИ, в голову им приходят революционные достижения в области инженерных разработок и физики, которые помогли Соединенным Штатам стать лидером в период стремительного развития электроники и цифровых технологий в XX в.

Именно поэтому мое назначение воспринималось как неожиданность. Более предсказуемым выбором была бы кандидатура инженера или специалиста в области теории вычислительных систем, физика или математика. Но в действительности с конца Второй мировой войны МТИ начал заниматься новой, зарождающейся областью науки — молекулярной биологией. К тому времени, когда я начала работать в институте, программа его отделения биологии вошла в число лучших в мире. Преподаватели получали Нобелевские премии за свои открытия, участвовали в основании ведущих мировых биотехнологических компаний.

Благодаря возникновению в институте двух сильных сторон — инженерного дела и биологии — стали появляться новые формы сотрудничества. Вскоре после того, как я приехала в Массачусетс, декан Инженерной школы сообщил мне², что треть из 400 преподавателей-инженеров МТИ используют в работе биологический инструментарий. Администрация института понимала, что в XXI в. это взаимопроникновение дисциплин может создать потрясающие способы превращения идей в технологии. В таком свете мое назначение имело смысл: мы могли воспользоваться возможностью и содействовать слиянию биологии и инженерного дела в МТИ, а также в международных научных и промышленных сообществах.

Мне было нужно хорошо обдумать предложение возглавить МТИ. В то время я была проректором Йельского университета, где помогала планировать развитие естественных наук, медицины и инженерного дела. Эта работа мне чрез-

вычайно нравилась. Главным в ней была реконструкция отделений и зданий для углубления междисциплинарных связей. Моя страсть к налаживанию взаимодействия дисциплин привлекла внимание комитета по выбору президента МТИ, члены которого понимали, что подобное взаимопроникновение обеспечит в будущем практически безграничные возможности.

Могло ли мое положительное решение сработать? И работает ли? Ставки в выборе между двумя такими разными заведениями были очень высоки и для меня, и для МТИ. Но в каком-то смысле вся моя жизнь готовила меня к этому новому назначению. Поэтому я приняла должность и начала то, что должно было стать увлекательным путешествием к новым областям науки, новым идеям и новым обязанностям.



Мною всегда владело непреодолимое желание понять, как работают разные устройства, и я удовлетворяла это любопытство, разбирая их на части. Еще ребенком, задолго до того, как поняла, что хочу быть ученым, я раскурочивала все подряд. Моя любознательность заставляла меня исследовать детали, из которых состояло устройство, и изучать, как эти части собирать вместе, чтобы оно заработало. Зачарованная зрелищем того, как отец чинит почти все в нашем доме, я разобрала утюг и пылесос. Я вскрыла свои любимые часы, чтобы изучить работу пружины и шестеренок, но это кончилось тем, что пружина раскрутилась, часы вырвались у меня из рук, разлетевшись на десятки частей, с которыми уже ничего нельзя было сделать. Мое любопытство распространялось и на то, что было за порогом дома: я потрошила нарциссы в нашем саду, а также желуди, только путившие первые зеленые побеги новых молодых дубков.

То, как работает утюг, мне стало ясно после первой попытки его разобрать, но почему цветут нарциссы и растут дубы, оста-

валось для меня тайной. Как ярко-желтые цветки появляются из зеленого бутона? Почему лепестки желтые, а не красные? Что внутри желудя неожиданно заставляет его прорасти? Тайны живого захватывали меня с самого детства. Что же является его пружинами и шестеренками?

Эта детская страсть все разбирать на части привела меня к работе, которой я посвятила всю жизнь. В то время, когда я формировалась как ученый, мне очень повезло оказаться в центре двух крупных биологических революций. Первая из них, молекулярная биология, открывала тайны строительных блоков всех живых организмов; вторая, геномика, давала молекулярной биологии шкалу, необходимую для того, чтобы определить гены, ответственные за развитие болезней, и отследить их в разных популяциях и видах.

Невозможно переоценить важность этих революций. Молекулярная биология серьезно заявила о себе в конце 1940-х и начале 1950-х гг., когда коллектив ученых, многие из которых были по образованию физиками, использовал ряд новых методов (большинство из них ведут свое происхождение от методов, разработанных во время Второй мировой войны) для описания биологических механизмов³ на новом уровне детализации. Они улучшили наше понимание того, что происходит на уровне отдельных молекул, отсюда и произошло название “молекулярная биология”. Самые известные из этих ученых — Джеймс Уотсон, Фрэнсис Крик, Морис Уилкинс и Розалинд Франклин⁴ — использовали изобретенный в то время рентгеноструктурный анализ, чтобы определить структуру ДНК, что обеспечило множество новых возможностей. Ученые могли теперь понимать биологию на уровне клеточного “аппаратного обеспечения” — ДНК, РНК и белки как строительный материал всей живой материи. Со временем новые инструменты позволили выяснить внутреннее устройство здоровых клеток и улучшить наше понимание нарушений, сигнализирующих о возникновении болезни. Попутно ученые также основали биотехнологические компании, такие

как Genentech, Biogen и Amgen, разработали новые способы лечения рака, рассеянного склероза и гепатита. Таким образом они спасли огромное количество жизней, создали десятки тысяч рабочих мест и внесли значительный вклад в экономический рост.

Если молекулярная биология сделала возможным изучение “аппаратного обеспечения” клеток, то геномика — еще один революционный раздел биологии — позволила изучать их “программное обеспечение” — код, хранящий набор инструкций для каждого живого организма. Геномика, дополнительную энергию которой придавали достижения в области вычислительной техники, создала карту человеческого генома⁵, а также инструменты для анализа в высоком разрешении ДНК и РНК всех видов живых существ на Земле. Благодаря успехам в анализе последовательности генов и геномных данных, позволяющим сравнивать геномную информацию тысяч отдельных людей, ученые начали открывать загадки сложных, многофакторных основ многих болезней. Эти достижения дали возможность биомедицине развивать новые методы лечения пациентов, основанные на уникальном для каждого составе генов и подтипе заболевания, так что теперь мы можем бороться с болезнями отдельного человека с помощью индивидуально подобранной терапии. Те же самые методы используются для изучения животных и растений и, как мы увидим в следующих главах, для того, чтобы изобретать новые решения для некоторых из самых сложных промышленных и общественных задач.

Я изучала биологию, еще будучи студенткой, но это было за годы до того, как молекулярная биология и геномика захватили науку. Проходя постдипломное обучение*, я решила специализироваться на нейроанатомии, изучающей строение, развитие и функциональную организацию нервной системы.

* Постдипломное обучение — эквивалент аспирантуры в России. По его окончании присуждается степень PhD (лат. *Philosophiae Doctor*, доктор философии), соответствующая российской степени кандидата наук. — *Прим. науч. ред.*

Красота архитектуры мозга завораживала меня. Используя самые передовые методы, доступные в то время, я изучала нервные клетки и их изысканно-сложные взаимосвязи. Я исследовала, как эти клетки взаимодействуют в процессе развития высокоорганизованных структур, которые дают нам возможность видеть, слышать, думать и мечтать. И я узнавала, как ранний опыт может навсегда изменить и структуру, и биохимию мозга. Но тогда я не могла увидеть более фундаментальные структурные элементы, а именно белки и другие молекулы — механизм работы мозга. Молекулярная биология еще не добралась до нейронауки.

Вскоре после получения степени PhD мне выпала редкая удача получить место в Лаборатории Колд-Спринг-Харбор Джеймса Уотсона, одного из первооткрывателей структуры ДНК. Там я узнала, как биологи, работающие в других отраслях науки, используют молекулярную биологию, чтобы показать, как гены влияют на деятельность всех живых организмов, как растений, так и животных. Вирус гриппа, тина в пруду, тюльпаны, яблони, бабочки, дождевые черви, лососи, щенки гончих, люди — молекулярные биологи доказали, что все эти организмы состоят из одного набора биологических структурных элементов.

Далеко опережая большинство других ученых, Уотсон уловил, что идеи и инструментарий молекулярной биологии могут совершить революцию в изучении всего живого. Он понимал, что у этой научной области есть сила превратить биологию из науки, являющейся результатом наблюдений, в науку прогнозирующую. Под его руководством ученые из Колд-Спринг-Харбор добились успехов в молекулярной биологии, открыв механизмы, управляющие вирусами и дрожжами, а затем использовав те же методы, чтобы понять работу клеток, взятых у животных и выращенных в лаборатории. Задолго до появления необходимых технологий Уотсон также предвидел возможность⁶ того, что инструментарий молекулярной биологии может дать ответы на многие загадки мозга.

Эта возможность пленяла меня. Когда я начала работать в Лаборатории Колд-Спринг-Харбор, нейронаука оставалась одной из последних биологических наук, которые сопротивлялись радикально новым открытиям молекулярной биологии. Я пошла поперек главного направления нейробиологии и присоединилась к горстке предприимчивых ученых, которые воспользовались инструментарием молекулярной биологии и стали основателями новой области — молекулярной нейробиологии.

Даже интеллектуальные революции сопряжены с опасностями и сеющими раздор силами. Сражение за новый подход к нейронауке поставило под удар наши гранты, места работы и карьеру. Яростные споры превращали чопорные заседания в рассадники тайной ненависти. В одном споре на международном совещании ученые, изучавшие человеческий мозг, схлестнулись с теми, кто занимался нервной системой насекомых. Столкновение возникло из-за вопроса, могут ли знания о насекомых пролить свет на происходящее с людьми. В своей основе это был спор о молекулярных механизмах эволюции. И по правде говоря, он скорее представлял из себя неприглядную сцену в духе “кто кого перекричит”, а не научный спор, поскольку у нас еще не было “комплектной ведомости” нервной системы, чтобы можно было окончательно и бесповоротно сравнить ее у насекомых и людей. Мы не знали ничего о ее генах и не могли проследить их экспрессию* в процессе развития нервной системы.

Наша маленькая группа ренегатов, наша “банда” пионеров молекулярной биологии постепенно брала верх, и начатое нами движение выросло в крупную силу, которая, объединив классические исследования мозга и инструментарий молекулярной биологии, изменила нейронауку, позволив сделать открытия, ранее просто немислимые и объясняющие, как

* Процесс реализации генетической информации, которую несет данный ген, — синтез на его основе РНК с возможностью последующего синтеза белка. — *Прим. науч. ред.*

работает мозг, а также открывающие новые стратегии клинических вмешательств. Благодаря этим прорывам в молекулярной биологии сегодня у нас есть новые способы диагностировать и лечить заболевания мозга, которые еще несколько десятилетий назад считались трудно контролируемы. Среди них эпилепсия, нарушения развития нервной системы, инсульт и воспалительные заболевания, такие как рассеянный склероз. Кроме того, есть причины надеяться на новые открытия, касающиеся множества все еще неизлечимых болезней, в том числе болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний.

Невозможно описать, насколько потрясающе было участвовать в научной революции, которая свела вместе такие разные дисциплины и идеи. Живя и работая в то время, я стала участницей и сторонницей того, о чем теперь думаю как о “сходящемся” подходе к открытиям.

Мое избрание президентом МТИ не было первым случаем, когда выбор пал на весьма неожиданного кандидата. Еще в 1930 г., в разгар Великой депрессии, во главе МТИ встал Карл Тэйлор Комптон, физик из Принстона.

Оглядываясь назад, можно сказать, что назначение Комптона выглядит вполне естественным, даже очевидным, но в те времена оно потрясло многих людей как нарушение традиции. Сам Комптон позднее говорил, что оно стало самой большой неожиданностью в его жизни. С момента основания в 1865 г. физика в МТИ считалась частью основной деятельности учебного заведения, но репутация института была связана не с научными исследованиями, но с успехами в технических областях. Люди знали МТИ как место, где готовят инженеров, создающих инструменты и технику, которые могут содействовать индустриальной эпохе. Студент МТИ мог, скорее, ожидать, что его будут готовить к работе в хи-

мической промышленности или в зарождающейся отрасли электроники.

Комптон принадлежал к совершенно иной вселенной. В Принстоне он возглавлял отделение физики и руководил прославленной по всей стране физической лабораторией Палмера. Он уделял большое внимание атомной физике — потрясающей области с еще не известным потенциалом, появившейся всего поколение назад. Отделение физики в Принстоне занималось фундаментальной наукой, создавая основание для технологий, за которыми гнались другие.

В начале XX в. можно было наблюдать потрясающее превращение фундаментальных открытий науки в продукцию на рынке. После открытия составных элементов атома и их сил появилась дорога в совершенно новую область — электронную промышленность. Путь от открытия физических основ до их применения в полезных продуктах был и остается трудным и непредсказуемым. Немногие университеты занимались одновременно открытиями и их применением (наукой и инженерным делом), и всего несколько компаний — в основном известна AT&T со своими лабораториями Белла — вкладывали средства и в фундаментальные открытия, и в разработку новых продуктов.

В 1897 г. великий физик Дж. Дж. Томсон⁷ определил электрон как частицу, обладающую отрицательным электрическим зарядом. Он и другие физики его поколения, среди которых были Пьер и Мария Кюри, Вильгельм Рентген и Эрнест Резерфорд⁸, заложили фундамент для моделирования элементарных частиц, из которых состоит материя. Хотя каждый из них шел своим путем, вместе они помогли собрать “спецификацию” компонентов, составляющих физический мир и управляющих всем его поведением: протонов и нейтронов атомного ядра, которые окружает облако электронов.

Составив этот список, а также обнаружив ряд законов, управляющих их поведением, физики той эпохи начали работать с инженерами. Этот мощный союз привел к созданию

новых устройств: лампы накаливания, радио, телевизора, телефона и даже электрического освещения домов и целых городов. Так родилась электронная промышленность, которая стала привлекать для работы тысячи людей и обеспечила экономический рост страны. Сегодня в нашем цифровом компьютеризованном мире мы продолжаем наслаждаться плодами тех открытий и сочетанием физики и инженерного дела.

К 1930 г. в МТИ решили, что нужно усилить позиции в этой игре, улучшив качество научного отдела. Позднее, вспоминая о своих чувствах в тот момент, один из сотрудников физического факультета писал: “Мы пробуждались, чтобы увидеть новый мир⁹ — мир науки в фундаментальном понимании, который практически полностью отсутствовал в то время в институте, — и осознать, как современная наука может изменить инженерное дело будущего”. Со своим свежим пониманием этого будущего и только что обретенным слиянием физики и инженерного дела МТИ обратился к Комптону и предложил ему президентство.

Поначалу застигнутый врасплох, Комптон не горел желанием покидать своих студентов и работу в Принстоне. Но в конце концов он пришел к той же мысли, что и я 74 года спустя, — о том, что появилось предложение всей жизни. “Значительность этой возможности помочь науке воплотиться в инженерном образовании, — говорил он в интервью в студенческой газете *The Daily Princetonian*¹⁰, — налагает обязательства, которые оказываются выше всех других соображений”.

С самого начала президентства Комптон посвятил себя развитию интеграции физики и инженерного дела в МТИ. Он воспользовался девизом института и определил, что лучший способ добиваться практических решений в инженерном деле и науке — это поощрять высокий уровень междисциплинарного сотрудничества. Таким образом, за много десятилетий

до меня он использовал встречный подход к открытиям и новым изобретениям.

Технические запросы во время Второй мировой войны, которую иногда называют “войной физиков”, еще сильнее сблизили инженерное дело и науку. И в этом процессе важную роль сыграл Комптон. В 1933 г., признавая его способности как ученого и управленца, президент Франклин Рузвельт назначил Комптона главой недавно образованного Научно-консультативного совета, который в 1940 г. стал Национальным исследовательским комитетом по вопросам обороны (National Defense Research Committee, NDRC). Как глава комитета Комптон помогал организовывать развитие таких технических новшеств, как радар, реактивный двигатель и цифровые вычислительные машины, которые вместе со множеством других технологий оказались жизненно важными для победы, в конце концов одержанной союзниками. Например, Радиационная лаборатория¹¹, созданная в МТИ с помощью Комптона, собрала почти 3500 человек — ученых, инженеров, лингвистов, экономистов и других, которые в беспрецедентном сотрудничестве изобрели, сконструировали и построили радары — “технологию, позволившую победить в войне”.

К концу войны МТИ, которым руководил Комптон, был на пути к тому, чтобы стать домом для одного из самых лучших физических факультетов в стране, известного растущим потенциалом в фундаментальной науке и занявшего свое место среди инженерных отделений МТИ, отвечающих мировым стандартам. Дав институту удвоенную силу — инженерного дела и физики — и выполнив свои обязанности по руководству, Комптон помог наметить план действий для развития Соединенных Штатов как державы, занявшей лидирующее положение в экономике и промышленности на несколько десятилетий после войны.

За этот период приобрела популярность электронная промышленность. Транзисторы заменили лампы, а позже кремниевые схемы заменили транзисторы, дав начало множе-

ству открытий и устройств, распахнувших ворота в компьютерную эпоху. Хотя Комптон понимал, что компьютеры полностью изменят многие подходы к передаче информации и национальной обороне, он не мог предсказать, как технологии, которые он продвигал, создадут цифровой мир, в котором мы живем сегодня. Немногие это предвидели. Такова природа научных революций: они открывают мощные, не поддающиеся предсказаниям пути и предоставляют огромные возможности. Но Комптон сознавал, что сочетание физики и инженерного дела дает начало новой технической эпохе, и он делал все что мог — в МТИ, как советник правительства и публичная фигура, — чтобы быть уверенным: США останутся в выигрыше после этой революции.

Уже только благодаря этим достижениям Комптон занимает высокое положение как глубоко мыслящий творец технической и промышленной силы Америки после Второй мировой войны. Но за время работы в МТИ его замечательная прозорливость позволила увидеть приближение другой революции, а именно слияния биологии и инженерного дела.

Комптон говорил об этом слиянии¹² уже в 1936 г. в лекции под названием “Что физика может сделать для биологии и медицины?”, где рассказал о последних достижениях ядерной физики, в том числе о том, как новое поколение циклотронов делает возможным внедрение радиоактивных меток в вещества¹³. С такой меткой вещество можно отследить, когда оно становится частью молекулы и далее, когда молекула проходит через химические реакции и по метаболическим путям клетки или организма. Лекция побудила доктора Саула Герца задаться вопросом, может ли эта технология быть использована для изучения и поиска возможного лечения заболеваний щитовидной железы. Герц был главой отделения болезней щитовидной железы в Массачусетской больнице общего профиля и вместе с коллегами изучал усвоение йода щитовидной железой. Он спросил Комптона, нельзя ли сделать йод более радиоактивным. Герц понял, что тогда можно было бы про-

следить накопление йода в щитовидной железе. Это, в свою очередь, помогло бы диагностировать заболевания щитовидной железы и, возможно, избирательно убивать клетки опухоли для лечения гипертиреоза и рака щитовидной железы.

Мысль была великолепной, и Комптон увидел ее перспективы. Он связал Герца и его коллег-эндокринологов с физиками из МТИ, и вскоре команда осуществила эту идею, успешно пролечив ряд пациентов с помощью радиоактивного йода¹⁴. Это был один из первых примеров того, что сегодня мы называем “прецизионная медицина”*.

Комптон увидел потенциал в соединении биологии и инженерного дела и ожидал, что в конце концов оно станет таким же мощным, таким же социально и экономически значимым, как и слияние физики и машиностроения. Чтобы обучать студентов в этой области на стыке наук, в 1939 г. он создал учебную программу по биоинженерии¹⁵, а в 1942 г. изменил название факультета биологии¹⁶ МТИ на факультет биологии и биоинженерии. Но Комптон значительно опережал свое время. Биологи тех дней еще даже не разработали “список комплектующих” для живых существ, подобный тому, который физики создали для материи. А без такого списка инженеры мало что могли сделать. Стесненный этой нехваткой инструментария, факультет биологии и биоинженерии не смог оправдать своего названия и в течение нескольких лет снова стал факультетом биологии.

К началу 1940-х гг. все внимание мирового сообщества сосредоточилось на Второй мировой войне. Необходимой наукой стала физика, а не биология. В военные годы Комптон чрезвычайно активно работал как ученый, администратор и публичная фигура. Он возглавлял американские исследования¹⁷ по созданию радаров, синтетической резины, систем управления

* Термин означает индивидуальный подход к лечению больных, противоположность лечению усредненного пациента. Методики лечения адаптируются под конкретного пациента, однако создание уникальных для него препаратов или методов не предполагается. — *Прим. пер.*

огнем, изучению теплового излучения; он возглавлял зарубежные программы Управления научных исследований и разработок (Office of Scientific Research and Development, OSRD); он был научным советником генерала Макарура, а в 1945 г. вошел в число восьми советников, назначенных, чтобы следить за использованием атомной бомбы президентом Трумэнном.

После окончания войны Комптон получил награды за все свои усилия в военное время. В 1946 г. Министерство обороны вручило ему самую высокую награду для гражданского лица — медаль “За заслуги”, за работу, способствовавшую “скорейшему прекращению военных действий”. На следующий год Национальная академия наук вручила Комптону медаль Марцеллуса Гартли за “огромные заслуги в применении научных достижений на благо общества”.

Эти две награды, как и многие другие, указывают на одну и ту же особенность в достижениях Комптона. Соединив физику и инженерное дело и обеспечив поддержку революции, которую принес этот союз, он помог не только закончить войну, но и начать новую эпоху американского процветания и возможностей. Инициативы Комптона дали нам потрясающий набор новых инструментов и технологий — не просто радио, телефоны, самолеты, телевизоры, радары и компьютеры, но и ядерную энергию, лазеры, магнитно-резонансную и компьютерную томографию (МРТ и КТ), ракеты, спутники, систему глобального позиционирования (GPS), интернет и смартфоны. Эти приборы и технологии так изменили наш мир, что мы и представить не можем без них свою жизнь.

Новые цифровые продукты и цифровая экономика* способны и дальше его изменять. Дав жизнь Большим данным, интернету вещей** и промышленному интернету, они создали

* Управление денежными и сырьевыми ресурсами, товарами и услугами компании электронным способом через интернет. — Прим. пер.

** Вычислительная сеть физических объектов / “вещей”, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней цифровой средой. — Прим. пер.

возможность новых бизнес-моделей в розничной торговле (вспомните Amazon), гостиничном бизнесе (Airbnb) и транспорте (Lyft, Uber). Революция продолжается полным ходом, и, если бы Комптон все еще был с нами, он, безусловно, с восхищением бы наблюдал за ее плодами¹⁸.

Но, конечно, с не меньшим восхищением он бы узнал и о том, что другая революция, которую он начал, — слияние биологии и инженерного дела, — наконец началась.



Поступив на работу в МТИ, я с радостью узнала, как далеко продвинулись многие преподаватели по этой новой дороге. Инженеры института начали удивительными способами применять в своей работе биологические инструменты. Мартин Польц, инженер-эколог, использовал вычислительную геномику, чтобы найти популяцию планктона, поглощающую наибольшее количество оксида углерода из Мирового океана. Кристина Джонс Пратер, инженер-химик¹⁹, использовала микроорганизмы для создания новых веществ, например транспортного топлива и лекарств. Скотт Маналис, физик, ставший инженером-биологом²⁰, внедрил высокочувствительный метод измерения, который разработал для того, чтобы взвешивать отдельные клетки и отслеживать их рост. А вдохновил их всех профессор института Роберт Лангер, который считается самым плодовитым биоинженером в мире²¹, получившим более 1000 патентов, как действующих, так и ожидающих решения, и являющимся основателем более 25 компаний.

Чем больше я узнавала о невероятных проектах в том новом “королевстве” — не только в МТИ, но и в лабораториях по всему миру, — тем больше убеждалась, что соединение биологии и инженерного дела может изменить мир. Поэтому я сделала это слияние одной из главных задач своего пребывания на посту президента, создавая ресурсы и места, чтобы она реализовалась в жизнь так быстро, как только возможно.

Это принесло свои плоды. Преподаватели факультета биологии, в состав которого входил Центр исследования рака, один из самых известных в стране, занимающийся фундаментальными биологическими исследованиями, объединились со своими коллегами-инженерами и основали на базе МТИ Институт интегративных исследований рака имени Дэвида Кока. Эта организация представляет собой потрясающее соединение инженеров, врачей и биологов, работающих вместе с 2007 г., чтобы по-новому понимать, диагностировать и лечить рак и другие заболевания. Из Института Кока вышли десятки компаний, многие из которых производят биоинженерные продукты, проходящие в данный момент клинические исследования: наночастицы, внедряющиеся в раковые клетки, чтобы доставлять химиотерапевтический препарат непосредственно в те места, где он необходим; технологии формирования изображений, позволяющие хирургу более точно определить и удалить раковые клетки; стратегии определения возбудителей инфекционных заболеваний, которые будут намного эффективнее, чем современные методы, так что своевременное назначение необходимого лекарства сможет спасти бесчисленное количество жизней. Подобным же образом мы начали в институте Энергетическую инициативу, ускоряющую разработку новых технологий, связанных с энергией. Во многих из них используются биологические компоненты. За свои первые 10 лет Энергетическая инициатива породила около 60 компаний, которые разрабатывают новые аккумуляторы, новые солнечные батареи и новые системы управления производством и передачей энергии.

За всю свою карьеру и особенно за годы работы в МТИ мне посчастливилось встретиться со множеством первооткрывателей в этой находящейся на стадии становления отрасли науки, и я видела, как новые открытия, сделанные в лабораториях, превращаются в продукты на рынке, воплощая идеи в действие. В следующих главах я покажу, как все это произошло, по-

знакомлю с ключевыми фигурами и расскажу о некоторых из способов, которыми эти ученые надеются использовать инструментарий и технологии, разрабатываемые ими, чтобы решить масштабные гуманитарные, медицинские и экологические проблемы нашего времени.

Работа, которую они делают, — научная история этого века. Я в этом нисколько не сомневаюсь. Столетие назад физики и инженеры полностью изменили наш мир, а теперь биологи и инженеры так же глубоко изменяют наше будущее. Эта книга является предисловием к зарождающемуся будущему, так что вы тоже можете насладиться зрелищем того, как оно наступает.

В книге я организовала деление по главам так, чтобы шаг за шагом провести вас от базовых до более сложных биологических понятий. Новый мир основанных на биологии технологий вырос из одной из самых значительных научных революций. Короче говоря, в 1950 г. мы не знали о физической структуре гена и о том, как он влияет на индивидуальные черты. Мы не знали о причине неконтролируемого деления раковых клеток и о том, что определяет цвет кукурузных зерен. Но теперь мы знаем.

В главе 2 я расскажу о нуклеиновых кислотах ДНК и РНК, которые выполняют функцию биологических информационных систем. Нуклеиновые кислоты управляют всей совокупностью биологических структур и обеспечивают точную передачу признаков от одного поколения к другому. Нуклеиновыми кислотами можно манипулировать, и эта глава описывает, как нуклеиновые кислоты вирусов могут быть использованы для производства аккумуляторов следующего поколения. ДНК и РНК несут в себе ряд инструкций по сборке белков — мини-машин, отвечающих за многие биологические функции. Глава 3 рассказывает историю открытия одного из таких белков под названием аквапорин, который является чрезвычайно избирательным каналом, пропускающим молекулы воды, позволяя ей поступать в клетку и покидать ее (в клетках бактерий, жи-

вотных и растений). Сейчас этот белок применяется в коммерческих водяных фильтрах.

Технологии, описанные в главе 4, представляют одну из самых быстро развивающихся областей медицины, а именно молекулярную медицину. В ее основе лежит положение о том, что болезнь создает соответствующие отклонения в нормальных молекулярных процессах внутри наших клеток. Новая, высокочувствительная техника, которая распознает эти отклонения, делает раннюю диагностику заболеваний более надежной и дешевой.

Сложные биологические функции человека, такие как дыхание, пищеварение и слух, осуществляются с помощью тканей, состоящих из нескольких видов клеток, собранных вместе. Головной мозг — самая сложная ткань в организме. В главе 5 описывается, как мозг посылает сообщения по нервам, чтобы двигать конечностями, и как новые технологии могут восстановить ампутированные руки и ноги и помочь жертвам заболеваний мозга вернуть возможность пользоваться частями своего тела.

Глава 6 возвращает нас к сумме всех частей. Для каждого живого организма совокупность генов и экспрессия белка выражается в физических особенностях и называется фенотипом. По крайней мере последние 10 000 лет человечество отбирало и разводило животных и растения, оценивая их фенотипы. В этой главе описываются новые технические средства, которые ускоряют основанный на фенотипе отбор, что даст возможность отбирать зерновые с более высокой всхожестью и устойчивостью, чтобы прокормить растущее население планеты.

Из технологий, которые я описала в этой книге, каждая по-своему является продуктом революционного союза биологии и инженерного дела, происходящего буквально на наших глазах. Если я успешно сумею описать эти новые явления, которые обвенчали инженерное дело с биологией, вы увидите, что у вирусов, создающих аккумуляторы, много общего с бел-

ками, очищающими воду, и другими описанными в книге технологиями: они пользуются преимуществами обеих отраслей. И я надеюсь, что вы начнете видеть за линией горизонта эту общую характерную особенность многих технических решений.

Мы должны делать все, что можем, чтобы обеспечить это слияние и принести стирающие барьеры технологии в нашу жизнь, причем делать это надо быстро. В конце, в последней главе, я расскажу о нескольких стратегиях того, как мы можем действовать настолько быстро и эффективно, насколько это вообще возможно.

Может ли биология улучшить аккумулятор?

Когда в 1999 г. Анджела Белчер подала документы на получение своего первого гранта, один из рецензентов назвал ее проект “безумным”. Белчер только что приступила к работе в качестве профессора химии в Техасском университете в Остине, и для того, чтобы начать исследования, ей нужен был грант. То, что предлагала Анджела, казалось настоящим сумасшествием: она хотела сконструировать вирусы, которые можно было бы использовать, чтобы “вырастить” электрические цепи, а в конце концов и аккумуляторные батареи. Белчер предполагала, что выращенные вирусами аккумуляторы станут заряжаться быстрее, чем те, которые мы используем сегодня, не будут оставлять после себя практически никакого токсичного мусора и отчасти окажутся биоразлагаемыми. Ее предложение, по сути, давало чистый, дешевый и естественный способ сделать возобновляемую энергию практической альтернативой горючим ископаемым. Белчер чувствовала, что эта идея может изменить весь мир.

То, что ее мысль была отвергнута как сумасшедшая, уязвило Белчер до глубины души. “Когда я читала рецензию, — рассказывала она мне не так давно, — я плакала и плакала”. Анджела была огорчена, но не сдалась, и список ее достижений по прошествии времени скорее показывает безумным того рецензента. В 2000 г. она доказала жизнеспособность своей неординарной идеи¹ и опубликовала ее в *Nature* — одном из са-

мых престижных научных журналов в мире. Это была первая опубликованная статья Белчер как независимого исследователя. В 2001 г., разглядев ее потенциал, Массачусетский технологический институт принял Анджелу на работу; в 2002 г. *Technology Review* включил Белчер в список 100 лучших изобретателей мира моложе 35 лет²; в 2004 г. она получила “грант для гениев”³ Фонда Макартуров*, а в 2006 г. *Scientific American* назвал ее “Лучшим исследователем года”⁴. Сегодня Белчер является профессором энергетики в МТИ, где помимо других обязанностей руководит группой исследователей биомолекулярных материалов и является активным членом Энергетической инициативы, возглавляя команду, разрабатывающую новые способы аккумулирования электроэнергии. Также она основала несколько стартапов, чтобы превратить полученные в лаборатории результаты в рыночные продукты.

Я познакомилась с Энджи Белчер в начале своего пребывания на посту президента МТИ. В тот период мне предстояло быстро вникнуть в новую работу. Мне нужно было понять, как МТИ поддерживает развитие нестандартных идей и как эти идеи с потрясающей быстротой выходят на рынок.

Чтобы узнать как можно больше в сжатые сроки, я приглашала маленькие группы недавно получивших постоянную должность преподавателей на завтраки. Чтобы быть зачисленными в штат МТИ, преподаватели должны были достичь чего-то, чего ранее никто не добивался, и я была уверена, что те, кого я приглашаю на завтрак, смогут описать магическое соединение ресурсов, людей и духа, которое позволило каждому из них одержать победу. Что сделало МТИ особенным для них и как мы можем сделать его еще лучше? К каким еще захватывающим новым рубежам они стремятся?

* Награда, которая ежегодно предоставляется Фондом Джона и Кэтрин Макартуров гражданам или резидентам США, обычно от 20 до 40 лет, работающим в любой отрасли и “демонстрирующим исключительные достижения и потенциал для долгой и плодотворной творческой работы”. Иногда награду называют “грантом для гениев”. — Прим. пер.