

ИСТОРИЯ НАУКИ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2019. – Т. 28. – № 1. – С. 171-177.

DOI 10.24411/2073-1035-2019-10198

НАУКА И СЛОЖНОСТЬ

Фонд Рокфеллера, Нью-Йорк American Scientist. 1948. V. 36. P. 536-544.

УОРРЕН УИВЕР¹

SCIENCE AND COMPLEXITY

WARREN WEAVER

Rockefeller Foundation, New York City American Scientist. 1948. V. 36. P. 536-544. Based upon material presented in Chapter 1 "The Scientists Speak / Ed. by W. Weaver". N. Y.: Boni & Gaer Inc., 1947. 369 p.



Warren Weaver

Наука предоставила в наше распоряжение множество результатов, которые влияют на жизнь людей. Некоторые из этих результатов достаточно тривиальны и воплощены в про-

стых удобствах. Иные из них, опираясь на науку и технологии, необходимы для обустройства современной жизни. Много других результатов, особенно связанные с биологическими и медицинскими науками, создают неоспоримые преимущества и комфорт. Некоторые аспекты науки оказали глубокое влияние на идеи и даже идеалы людей. Кроме того, существуют и другие замечательные (awesome) результаты.

Как мы можем получить представление о той функции, которую наука должна выполнять в будущем развитии человека? Как мы можем оценить, что такое наука на самом деле, и, что не менее важно, чем она не является? Конечно, можно обсуждать природу науки в общепило-софских терминах. Для некоторых целей такая дискуссия нужна и важна, но желательно пойти и более прямым (*кратчайшим?* – Г.Р.) путем.

Давайте, как говорил один очень реалистичный политик, посмотрим на результаты. Пренебрегая более древней историей науки, мы вернемся всего на три с половиной столетия назад и окинем [науку] широким взглядом, пытаясь увидеть основные (общие) черты и опуская незначительные детали. Начнем с физических наук, а не с биологических, ибо место наук о жизни в описательной схеме постепенно станет очевидным.

ПРОБЛЕМЫ ПРОСТОТЫ

Огрубляя ситуацию, можно сказать, что XVII, XVIII и XIX века – это тот период, в течение которого физическая наука изучала те свойства окружающего мира, которые «принесли»

Перевод Г.С. Розенберга.

¹⁻⁵ Комментарий переводчика статьи Уоррена Уивера Г.С. Розенберг смотри в следующей ниже.

нам телефон и радио, автомобиль и самолет, фонограф и движущиеся изображения, турбину и дизельный двигатель, а также современную гидроэлектростанцию.

Параллельный прогресс в области биологии и медицины также впечатляет, но он носил иной характер. Для живых организмов трудно представить ситуацию, когда можно жестко поддерживать постоянными все, кроме двух [исследуемых] переменных. Живые существа, скорее всего, находятся в состояниях, в которых полдюжины или даже несколько десятков параметров меняются одновременно и тонко взаимосвязаны друг с другом². Часто наблюдаются такие ситуации, когда принципиально важные количественные или качественные характеристики (до какого-то момента) ускользают от идентификации или измерения. Таким образом, биологические и медицинские проблемы зачастую связаны с рассмотрением наиболее сложно организованного целого. Неудивительно, что до 1900 года науки о жизни в значительной степени были описательными (были связаны с необходимостью применения предварительных этапов научного метода – сбор, описание, классификация и наблюдение параллельных и, по-видимому, коррелированных эффектов). Эти исследования лишь положили смелое начало количественным теориям и едва ли даже приступили к подробному объяснению физических и химических механизмов, лежащих в основе (или составляющих суть) биологических событий.

Подводя итог развитию физической науки до 1900 года, можно констатировать, что она, в основном, занималась простыми проблемами с двумя переменными величинами. В это же время, науки о жизни, в которых такие простые проблемы играют не столь значительную роль, еще не приобрели высокий статус наук количественного или аналитического характера.

ПРОБЛЕМЫ НЕОРГАНИЗОВАННОЙ СЛОЖНОСТИ

После 1900 года и даже раньше, если включить героических пионеров, таких как Джозайя Уиллард Гиббс³, физические науки развили атаку на природу в принципиально ином и драматически новом направлении. Вместо того, чтобы изучать проблемы, связанные с двумя переменными (максимум тремя или четырьмя), некоторые творческие умы метнулись в другую крайность и предложили: «давайте разработаем аналитические методы, которые могут иметь дело с двумя миллиардами переменных». То есть, ученые-физики (часто с математиками в

авангарде), разработали мощные методы теории вероятностей и статистической механики, чтобы иметь дело с тем, что можно назвать проблемами *неорганизованной сложности* (problems of disorganized complexity).

Эта последняя фраза требует пояснения. Рассмотрим сначала простую иллюстрацию, чтобы почувствовать аромат идеи. Классическая динамика XIX века хорошо подходила для анализа и прогнозирования движения одиночного шара из слоновой кости при его перемещении по бильярдному столу. На самом деле, связь между позициями шара и временем, в которое он достигает этих позиций, формирует типичную проблему простоты XIX века. Можно, но с удивительным возрастом сложности, анализировать движение двух или даже трех шаров на бильярдном столе. Это, по сути, внимательное изучение механики стандартной игры в бильярд. Но, как только кто-то пытается проанализировать движение десяти или пятнадцати шаров на столе сразу, как в пуле, проблема становится неуправляемой, не потому, что есть какие-то теоретические трудности, а просто потому, что фактические затраты на борьбу с конкретными деталями с таким количеством переменных оказываются нецелесообразными (огромными).

Тем не менее, представим себе, однако, большой бильярдный стол с миллионами шаров, катящихся по его поверхности, которые сталкиваются друг с другом и с бортами. К большому удивлению, задача теперь становится проще, так как становятся применимы методы статистической. Можно быть уверенным, что подробная история [движения] одного выбранного шара нам проследить не удастся, но на некоторые важные вопросы можно ответить с практически значимой точностью (useful precision), например: сколько, в среднем, шаров в секунду попадает на данный участок борта? как далеко, в среднем, движется шар, прежде чем его ударит какой-то другой? сколько, в среднем, ударов в секунду испытывает шар?

Ранее было заявлено, что новые статистические методы применимы к задачам неорганизованной сложности. Как слово «неорганизованный» соотносится с большим бильярдным столом с шарами? Оно применимо для обоснования возможности использования методов статистической механики, которые эффективны только тогда, когда шары расположены на столе и движутся беспорядочно, то есть дезорганизованным образом. Например, статистические методы не будут работать, если кто-то расположит шары в ряд параллельно одной боковой

направляющей стола, а затем начнет их движение точно параллельными путями, перпендикулярными ряду, в котором они стоят. Тогда шары никогда не столкнутся ни друг с другом, ни с двумя бортами [параллельными их движению], и не возникнет ситуации неорганизованной сложности.

Из этого примера ясно, что подразумевается под проблемой неорганизованной сложности. Это проблема, в которой число переменных очень велико, и в которой каждая из многих переменных имеет поведение, которое индивидуально неустойчиво или, возможно, совершенно неизвестно. Однако, несмотря на такое поведение всех отдельных переменных, воспринимаемое как беспорядочное или неизвестное, система в целом обладает определенными упорядоченными и анализируемыми средними свойствами.

Широкий спектр событий попадает под такое определение неорганизованной сложности. Метод применяется с возрастающей точностью при увеличении числа переменных. Это относится, например, с достаточно высокой точностью к работе большой телефонной станции, при прогнозировании средней частоты вызовов, вероятности перекрытия вызовов одного и того же номера и т. д. Это делает возможной финансовую устойчивость страховой компании: хотя компания не может иметь никаких знаний о приближающейся смерти какого-либо конкретного человека, она имеет надежные знания о средней частоте, с которой произойдет смерть.

Последний момент интересен и важен. Статистические методы не ограничиваются ситуациями, когда научная теория отдельных событий хорошо известна, как в бильярдной теории (например, есть красивая и точная теория удара одного шара о другой). Эти методы также могут быть применены к ситуациям, подобным примеру о страховой компании, когда отдельное событие так же окутано тайной, как цепь сложных и непредсказуемых событий, связанных со случайной смертью здорового человека.

На примерах телефонной и страховой компаний предлагается целый комплекс практических рекомендаций по применению статистических методов, основанных на неорганизованной сложности. В некотором смысле, это неудачные примеры, поскольку они, как правило, отвлекают внимание от более фундаментального использования этих новых методов в науке (в более широком смысле). Движения атомов, которые формируют всю материю, а также движения звезд, которые формируют Вселенную, подпадают под диапазон этих новых ме-

тодов. Ими анализируются фундаментальные закономерности наследственности. Законы термодинамики, описывающие основные и неизбежные свойства всех физических систем, выводятся из статистических соображений. Вся структура современной физики, наше современное представление о природе физической Вселенной и доступные экспериментальные факты, касающиеся ее, опираются на эти статистические концепции. Действительно, весь вопрос о доказательствах и о том, каким образом знания могут быть выведены из доказательств, в настоящее время признается зависящим от этих же статистических идей; так что понятия вероятности имеют важное значение для любой теории самого знания.

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗОВАННОЙ СЛОЖНОСТИ

Этот новый метод борьбы с неорганизованной сложностью демонстрирует мощный прогресс по сравнению с более ранними методами [решения простых проблем] с двумя переменными, и имеет большое нетронутое поле для применения. У одного возникает соблазн упростить и сказать, что научная методология перешла от одной крайности к другой – от двух переменных к астрономическому числу, – и оставила нетронутой большую среднюю область. Кроме того, важность этой средней области не зависит только от того факта, что число участвующих переменных является умеренным, – большим по сравнению с двумя, но небольшим по сравнению с числом атомов в щепотке соли. Проблемы систем этой средней области, по сути, часто связаны также со значительным числом переменных. Действительно важной характеристикой проблем систем этой средней области, которые наука еще мало изучила, является то, что, в отличие от неорганизованных ситуаций, с которыми может справиться статистика, они демонстрируют особую роль *организации*. На самом деле, к этой группе проблем можно отнести проблемы *организованной сложности*.

Что происходит с вечерней примулой (*Oenothera biennis*), когда ее цветы открыты? Почему соленая вода не утоляет жажды? Почему один конкретный генетический штамм микроорганизма может синтезировать в своем мельчайшем организме определенные органические соединения, которые другой штамм этого же организма не может произвести? Почему одно химическое вещество является ядом, когда другое, молекулы которого имеют точно

такие же атомы, но собраны в зеркальном отображении, совершенно безвредно? Почему количество марганца в рационе влияет на материнский инстинкт животного? Как описать старение в биохимическом плане? Какой смысл должен быть присвоен вопросу: является ли вирус живым организмом? Что такое ген и как оригинальная генетическая конституция живого организма выражается в развитых характеристиках взрослого человека? «Умеют» ли сложные белковые молекулы повторять свой рисунок, и является ли это существенным ключом к проблеме размножения живых существ? Все это, безусловно, сложные проблемы, но они не являются проблемами неорганизованной сложности, в которых ключевую роль играют статистические методы. Все эти проблемы связаны с *одновременным учетом значительного числа факторов, которые взаимосвязаны в единое целое*. Все они, на предложенном здесь языке, являются проблемами *организованной сложности*.

От чего зависит цена пшеницы? Это тоже проблема организованной сложности. Здесь задействовано весьма значительное число соответствующих переменных, и все они взаимосвязаны сложным, но, тем не менее, не беспорядочным образом.

Как можно разумно и эффективно стабилизировать валюту? Насколько безопасно зависеть от свободного взаимодействия таких экономических сил, как спрос и предложение? В какой степени необходимо использовать системы экономического контроля для предотвращения широких колебаний от процветания к депрессии? Это также, очевидно, сложные проблемы, и они также включают в себя анализ систем, которые являются органическим целым, с их частями в тесной взаимосвязи.

Как можно объяснить модель поведения организованной группы лиц, такой как профсоюз, или группы производителей, или расового меньшинства? Ясно, что существует много факторов, но столь же очевидно, что здесь нечто большее, чем математика средних. С учетом общего объема национальных ресурсов, которые могут быть задействованы, какая тактика и стратегия быстрее всего выиграют войну, или лучше: какие жертвы, представляющие эгоистичный интерес, можно принести наиболее эффективно для достижения стабильности, порядка и мира в мире (and peaceful world)?

Эти проблемы (и широкий спектр аналогичных проблем в биологических, медицинских, психологических, экономических и политиче-

ских науках) слишком сложны, чтобы решаться старым методом XIX века, которые были успешны для двух-, трех- или четырех переменных в проблемах простоты. Кроме того, эти новые проблемы не могут быть решены и с помощью статистических методов, столь эффективных для описания среднего поведения в задачах неорганизованной сложности.

Эти новые проблемы (а будущее мира зависит от решения многих из них) требуют, чтобы наука сделала третий большой шаг⁴ вперед, шаг, который должен быть еще больше, чем завоевание проблем простоты XIX века или победа XX века над проблемами дезорганизованной сложности. Наука должна в течение следующих 50 лет научиться решать эти проблемы организованной сложности.

Есть ли на горизонте какие-либо надежды, что этот новый прогресс действительно может быть достигнут? Существует много общих свидетельств, и есть два недавних примера особенно многообещающих доказательств. Общее свидетельство состоит в том, что в сознании сотен ученых во всем мире уже достигнут важный, хотя и неизбежно незначительный прогресс в решении таких проблем. Как никогда ранее, количественные экспериментальные методы и математико-аналитические методы физических наук применяются к биологическим, медицинским и даже социальным наукам. Результаты пока разрозненные, но весьма обнадеживающие. Хорошим примером из наук о жизни может служить сравнение нынешней ситуации в области исследований рака с тем, что было двадцать пять лет назад. Совершенно справедливо, что мы только царапаем (scratching) поверхность проблемы рака, но теперь, по крайней мере, есть некоторые инструменты, чтобы углубляться [в эту проблему], и есть все основания надеяться, что мы почти наверняка найдем золотую жилу (pay-dirt). Мы знаем, что некоторые виды рака могут вызываться определенными чистыми химическими веществами. Что-то известно о наследовании восприимчивости к определенным видам рака. Миллионвольтовые и еще более интенсивные излучения стали нам доступны благодаря атомной физике. Есть радиоактивные изотопы, как для фундаментальных исследований, так и для лечения. Ученые занимаются невероятно сложной историей биохимии стареющего организма. Создается база знаний о нормальной клетке, позволяющая распознавать и анализировать патологическую клетку. Какой бы далекой ни была

цель, мы сейчас, наконец, на пути к успешному решению этой большой проблемы.

В дополнение к растущему числу общих свидетельств того, что проблемы организованной сложности могут быть успешно решены, существуют по крайней мере два многообещающих примера специальных доказательств. На фоне чудовищных злодеяний войны произошли два новых события, которые вполне могут иметь большое значение в оказании помощи науке в решении этих сложных проблем XX века.

Первое свидетельство – разработка в военное время новых типов электронных вычислительных устройств. Эти устройства по своей гибкости и мощности больше похожи на человеческий мозг, чем на традиционное механическое вычислительное устройство прошлого. У них есть память, в которой может храниться огромное количество информации. Им можно «поручить» выполнение вычислений очень большой сложности и их можно не контролировать, пока они автоматически справляются со своей задачей. Поразительная скорость, с которой они продвигаются, иллюстрируется тем фактом, что одна небольшая часть такой машины, если умножить два десятизначных числа, может выполнять такие умножения примерно в 40 000 раз быстрее, чем человек-оператор сможет произнести «Джек Робинсон». Такое сочетание гибкости, мощности и скорости позволяет предположить, что такие устройства окажут огромное влияние на науку. Они позволят решать проблемы, которые ранее были слишком сложными, и, что более важно, будут обосновывать и вдохновлять на разработку новых методов анализа, применимых к этим новым проблемам организованной сложности.

Вторым из достижений военного времени является «смешанный» подход («mixed-team approach») к анализу операций. Эти термины требуют разъяснения, хотя они очень хорошо знакомы тем, кто занимался применением математических методов в военном деле.

В качестве иллюстрации рассмотрим общую проблему переброски и снабжения войск через Атлантику. Учтем количество и эффективность имеющихся в наличии кораблей ВМФ, характер подводных атак и множество других факторов, в том числе и такой непредсказуемый, как безотказность визуального наблюдения (люди способны уставать, болеть или скучать). Учитывая целую массу факторов, часть из которых измерима, а некоторые неуловимы, ответим на вопрос: какая стратегия (процедура) приведет к

лучшему результату, то есть лучше всего с точки зрения комбинации скорости, безопасности, стоимости и так далее? Должны ли эскадры быть большими или маленькими, быстрыми или медленными? Должны ли они двигаться зигзагообразно и дольше подвергать себя возможной атаке, или строиться в прямую линию и стремиться как можно быстрее достичь пункта назначения? Как эскадры должны быть организованы, какая оборона лучше, и какие структуры, вооружения и инструменты следует использовать для наблюдения и нападения?

Попытка ответить на такие широкие проблемы тактики, или даже более широкие вопросы стратегии, была работой во время войны определенных групп, известных как группы анализа операций (operations analysis groups). Новые процедуры анализа операций, с блеском открытые англичанами, Великобритания с особым успехом применяла в противолодочной кампании своих ВМФ и ВВС. Кроме того, эти группы анализа операций представляли собой, так называемые, смешанные группы. Хотя математики, физики и инженеры были необходимой и главной их составляющей, в лучшие из групп также входили физиологи, биохимики, психологи и множество представителей других областей биохимических и социальных наук. Среди членов наиболее выдающихся английских смешанных команд, например, были эндокринолог и рентгеновский кристаллограф. Война заставила эти смешанные группы объединить свои ресурсы и сосредоточить все свои различные взгляды на решении общих проблем. Было установлено, что, несмотря на современные тенденции к интенсивной научной специализации, члены таких смешанных групп могли работать вместе и могли создавать команду-единицу, которая намного больше, чем просто сумма ее частей⁵. Было показано, что такие группы могут эффективнее решать определенные проблемы организованной сложности и получать полезные ответы.

Заманчиво спрогнозировать, что большие успехи, которых наука может и должна достичь в ближайшие 50 лет, будут в значительной степени обеспечены такого рода смешанными группами (в чем-то похожими на группы оперативного анализа военных действий) и их деятельность станет эффективной благодаря использованию больших, гибких и высокоскоростных вычислительных машин. Однако нельзя предположить, что это будет единственно возможным путем и образцом для всей будущей научной работы: атмосфера полной интеллектуальной свободы необходима науке (the

atmosphere of complete intellectual freedom is essential to science; я специально привел всю эту простую фразу на английском, чтобы подчеркнуть важность мысли Уивера 70-летней «выдержки» об интеллектуальной свободе в научном творчестве. Сегодня научный чиновник у нас в стране делает все, чтобы искоренить такую свободу (Розенберг, 2017. – Г.Р.). Всегда (и это правильно) останутся те ученые, для которых интеллектуальная свобода обязательна; такие люди должны и будут работать в одиночку. Некоторые глубокие и творческие достижения могут быть получены только таким образом. Кроме того, разнообразие является важной характеристикой американского способа ведения дел. Конкуренция между всевозможными методами всегда хороша. Таким образом, здесь нет намерения представлять будущее, в котором все ученые организованы в жесткие модели деятельности. Нисколько. Мы лишь предположили, что некоторые ученые будут искать и разрабатывать для себя новые способы совместных действий; что в этих группах будут представители практически всех областей науки; и что эти новые способы работы, эффективно «сдобренные» огромными компьютерами, будут способны отработать аванс, который был выдан им почти полвека тому назад, для решения проблем в биологической и социальной науках.

ГРАНИЦЫ НАУКИ

Давайте вернемся к первоначальным вопросам. Что такое наука? Что не является наукой? Чего можно ожидать от науки?

Наука явно является способом решения проблем – не всех проблем, а большого класса важных и практических. Проблемы, с которыми наука может иметь дело, – это те, в которых преобладающие факторы подчиняются основным законам логики и по большей части измеримы. Наука – это способ организации воспроизводимых знаний о таких проблемах; фокусирования и дисциплинирования нашего воображения; взвешивания доказательств; принятия решений о том, что актуально, а что нет; беспристрастного тестирования гипотез; безжалостного отбрасывания данных, которые оказываются неточными или неадекватными; поиска и интерпретации фактов (а природные факты – слуги человека).

Суть науки заключается не в ее внешнем виде, не в ее физических проявлениях, а в ее внутреннем духе. Этот строгий, но захватывающий метод исследования, известный как

научный метод, – вот что важно в науке. Этот научный метод требует от своих практиков высоких стандартов личной честности, открытости, сфокусированного видения и любви к истине. Это твердые добродетели, но наука не имеет на них исключительного права. Поэт также обладает этими достоинствами и часто использует их для достижения более высоких целей.

Наука добилась заметного прогресса в решении своей основной задачи – решения логических и количественных задач. Действительно, успехи были настолько многочисленны и поразительны, а неудачи так редко публиковались, что средний человек неизбежно пришел к выводу о том, что наука – это почти самое впечатляюще успешное предприятие, когда-либо запущенное человеком. Дело, конечно, в том, что этот вывод во многом оправдан.

Впечатляет то, что мы называем научно-техническим прогрессом. Правда, справедливо и то, что науке до сих пор удавалось решать огромное количество относительно легких проблем, в то время как сложные проблемы и проблемы, решение которых, возможно, сулит людям в будущем огромные перспективы, еще впереди.

Поэтому мы должны перестать думать о науке с точки зрения ее впечатляющих успехов в решении проблем простоты. Это означает, среди прочего, что мы должны перестать думать о науке с точки зрения техники. Прежде всего, наука не должна рассматриваться как современная улучшенная черная магия, способная на все и вся (accomplishing anything and everything).

Я думаю, что каждый информированный ученый уверен, что наука способна внести огромный вклад в благосостояние человека. Она может продолжать идти вперед в своем триумфальном шествии против физической природы, изучая новые законы, приобретая новую силу предсказания и контроля, создавая новые материальные вещи для человека, чтобы использовать и наслаждаться ими. Наука также может внести блестящий вклад в наше понимание живой природы, давая людям новое здоровье и энергию, более длительную и эффективную жизнь и более мудрое понимание человеческого поведения. Действительно, я думаю, что большинство информированных ученых идут еще дальше и ожидают, что точные, объективные и аналитические методы науки найдут полезное применение в отдельных областях социальных и политических дисциплин.

Есть еще, достаточно обширные замечания, которые можно сделать науке и научному методу. В качестве неотъемлемой части научной процедуры ученый настаивает на точном определении терминов и четкой характеристике своей проблемы. Конечно, легче точно определить термины в научных областях, чем во многих других областях. Однако остается верным и тот факт, что наука – это почти подавляющая иллюстрация эффективности четко определенного и принятого языка, общего набора идей, общей традиции. То, как эта универсальность преуспела в преодолении временных и пространственных барьеров, политических и культурных границ, имеет огромное значение. Возможно, лучше, чем в любом другом интеллектуальном предприятии человека, наука решила проблему передачи идей и продемонстрировала всемирное сотрудничество и общность интересов, неизбежно ведущие к получению результатов.

Да, наука – мощный инструмент и у нее впечатляющий послужной список. Но скромный и мудрый ученый не ожидает и не надеется, что наука может сделать все. Он помнит, что наука учит уважению к особой компетентности, и он не верит, что любая социальная, экономическая или политическая чрезвычайная ситуация была бы автоматически ликвидирована, если бы «ученые» только поставили ее под контроль. Он не ожидает – с некоторыми ошибочными исключениями, – что наука предоставит кодекс морали или основу для эстетики. Он не ожидает, что наука станет мерилom для измерения, двигателем для контроля любви человека к красоте и истине, его чувств ценности или его убеждений веры. Есть богатые и существенные части человеческой жизни, которые являются нелогичными, несущественными и

неколичественными по своему характеру, и которые нельзя увидеть под микроскопом, взвесить с помощью весов, или поймать наиболее чувствительным микрофоном.

Если наука занимается количественными проблемами чисто логического характера, если наука не имеет признания или не заботится о ценностях или целях, то как может современный ученый человек достичь сбалансированной хорошей жизни, в которой логика является спутником красоты, а эффективность – партнером добродетели?

В каком-то смысле, ответ очень прост: наша мораль должна догнать нашу технику. Однако заявлять о необходимости не означает добиваться этого. Огромная пропасть, которая лежит между нашей силой и нашей способностью мудро использовать силу, может быть преодолена только благодаря огромному сочетанию усилий. Необходимо совершенствовать знания о поведении отдельных лиц и групп. Необходимо улучшить коммуникацию между народами различных языков и культур, а также между всеми различными интересами, которые используют один и тот же язык, но часто с такими опасно различными коннотациями. Необходимо добиться революционного прогресса в нашем понимании экономических и политических факторов. Необходимо развивать готовность жертвовать эгоистичными краткосрочными интересами, будь то личные или национальные, с тем чтобы добиться *долгосрочных* улучшений для всех.

Ни один из этих пунктов нельзя выиграть (can be won), если люди не понимают, что такое наука на самом деле; всеобщий прогресс должен быть достигнут в мире, в котором современная наука станет пользоваться неизбежным, постоянно расширяющимся влиянием.