

«В ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ, В ТЕНИ АКАЦИИ...»

МИХАИЛ ЧЕРТКОВ,
 ВЫПУСКНИК ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА НГУ, 1990 г.
МЕСТО РАБОТЫ:
 ЛОС-АЛАМОССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ, США.
СФЕРА НАУЧНЫХ ИНТЕРЕСОВ:
 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА В ПРИЛОЖЕНИЯХ
 К ИНЖЕНЕРНЫМ ЗАДАЧАМ
 В ЭНЕРГЕТИКЕ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ



Автор – студент второго курса физического факультета (1984)

Я из Петропавловска-Камчатского. По олимпиадным делам попал в ФМШ, ну и далее – без остановок. Развивался я по мере учебы, так же трансформировались мои представления о науке. То, что я получил лучшее образование в том направлении, которое меня интересовало (теоретическая физика), из того, что было доступно в Союзе (а может, и в мире) – это точно.

Учителем по жизни и в науке считаю Александра Захаровича Паташинского – моего любимого научного руководителя. Он был (и есть – живет и работает в Чикаго, США) умен, породист и смел. Иногда порол, но чаще хвалил. Научил быть самоуверенным, не ограничивать себя в фантазиях, и если за что-то взялся – делать лучше всех. Объяснил, что теоретиком, интересующимся прикладными задачами (и везде сующим нос), быть интересно и правильно.

Важна для развития, конечно, была и студенческая среда. Конкретно – Лев Попович, Илья Ланский и Макс Пospelов. Это на первых двух курсах, пока их в армию не забрали (мой черед пришел через год). Общались мы разнообразно – соревновались в решении задач/учебе, веселились и образовывали друг друга (мы все физики-теоретики). Я в армию попал после третьего курса и на четвертом-пятом балансировал между кафедрой низких температур (в криогенном корпусе Института неорганической химии) и теоретическим отделом ИЯФа, куда был приписан научным руководителем. К этому



времени в вышеупомянутую команду «теоретиков-однокурсников», с которыми я плотно общался по науке и жизни, влились Олег Яковлев и Слава Костюк.

Из общественных молодежных «радостей» запомнил-ся военно-патриотический (во!) велопоход «Поиск» (вроде как вместо стройотряда) – это до армии (я там и командиром побывал в 1985 году). Ну а после армии (женитьбу и рождение первого сына пропускаем) важным для меня было знакомство и общение с Игорем Колоколовым, Кешей (Евгением) Подивиловым и Димой (Давидом) Шапиро. Это уже на 4-м–5-м курсах и с переходом в ИЯФовскую аспирантуру. Игорь, Кеша и Дима – к тому времени уже матерые ученые – приняли меня в свою команду как равного, и я стал активным участником «домашних» теор-физических семинаров. Собирались мы (человек 5–6) раз в неделю в аспирантской общаге на Золотодолинской по пятницам после обеда. Семинары давали друг другу по очереди – о том, что горячо и интересно. Длился каждый семинар по 3–4 часа и заканчивался пивом. Записи семинарские вели в «Журнале бочкового разлива».

Диплом я защищал про динамику фазовых переходов. Подходящий эпиграф из Козьмы Пруткива (который я включить в диплом не решился) такой: «В летнее время, в тени акации приятно мечтать о дислокации». Про дислокации – не военные, а в твердом теле – я тогда думал много, и не только летом.



Сейчас я занимаюсь прикладной/инженерной наукой, представляющей из себя сборную солянку статистической физики, вычислительных и инженерных технологий. Подушутя я себя называю «физик-теоретик-инженер». Я про эту довольно новую и (надеюсь) интересную для нынешних студентов деятельность – относительно молодую и потому совсем не представленную в НГУ – постараюсь что-то вразумительное написать... Скоро.

После НГУ я уехал за границу. Толчком к этому шагу послужило то, что все как-то собралось в кучу. Существенное количество старших коллег, включая моего замечательного шефа, уехали. Академ буквально в одночасье превратился из центра (моей) вселенной в научную провинцию, где было к тому же голодно. Если бы не помощь родителей (моих и жены), нам бы просто не хватало на еду.

Паташинский (мой руководитель) тогда был в Германии и вызвал меня на месяц в Брауншвайг. Место, что касается науки, так себе, да и денег на все про все в той поездке у меня было мало – на еду и не более того. Но зато я осознал: мир для меня открыт, а с тем, что я уже умею, можно сделать карьеру. Понял: выбор (куда ехать и чем заниматься) достаточен, но место выбирать для «международного» прыжка надо с умом. Из этой поездки в феврале 1992-го я приехал с решением, и в октябре того же года мы уже были в Израиле. И вот что из этого вышло: в Институте Вейцмана я получил Ph.D., в Принстоне был постдоком, последние 16 лет работаю в Лос-Аламосе.

Представления, что и как будет, были расплывчаты. Повезло с Институтом Вейцмана, куда меня Гриша Фалькович (тоже выпускник НГУ) взял аспирантом еще до того, как я до Израиля доехал. Про Гришу я много слышал, но лично знаком не был, а помогла неформальная рекомендация Игоря Колоколова, с которым я к тому времени и сдружился и сработался. Как раз в те годы, когда я там был в аспирантуре (1992–1996), физический факультет Института Вейцмана превратился сначала в филиал, а потом и в эпицентр взаимодействия Запада с ведущими теоретиками института Ландау (и России) из Черноголовки. Насколько я знаю, Гриша Фалькович пишет «эссе-рассказ» для юбилейного сборника НГУ про этот «героический» период нашей работы в Институте Вейцмана, а заодно и вскользь про Ландау-Вейцман программу-проект и участие в нем нас, новосибирцев.

Наука – дело интернациональное и непростое. Для занятий наукой нужны условия, команда и атмосфера. Нужно ездить на конференции и к коллегам, раскиданным по всему миру, за новыми идеями/фантазиями. Если не создавать искусственных преград (типа тех, которыми нас удерживали в Советском Союзе) – нормальная траектория преуспевающего

ученого покрывает многие города и страны. Это норма. В Советской России доперестроечного периода такой атмосферы мобильности просто не было. К тому же из-за отъезда многих хороших ученых создался вакуум. Хотя ситуация (финансовая и научная) за последние годы, несомненно, улучшилась, осознание того, что любое место, претендующее на значимость в научном смысле, должно быть «продуваемо», к сожалению, еще не возникло.

Реплика в сторону про «продуваемость». Эта палка о двух концах – какой бы ты сам ни был великий ученый, но если ты не отправляешь своих лучших аспирантов на постдок в лучшие американские, европейские, израильские и прочие лаборатории, про тебя и знать будут меньше (если вообще будут), да и на постдок к тебе (не говоря уже о постоянной работе) никто из стоящих молодых ученых не поедет.

В Лос-Аламосе мне заниматься наукой комфортно. Дело тут даже не в зарплате (которая по современным российским понятиям хорошая, но вполне сравнимая с тем, что сейчас можно получать в России по грантам), а в том, что место это не провинциальное – «ветер дует», пронося многих исследователей, являющихся «чемпионами мира» в своих областях. Не говоря уже о том, что у меня в распоряжении имеются возможности и ресурсы, достаточные для приглашения лучших студентов, аспирантов, постдоков и фактически кого угодно интересно мне по науке. Существенно также то, что баланс моего имени и имени моей организации обеспечивает почти стопроцентную гарантию того, что мои приглашения принимают. Создать аналогичные условия в другом месте, скажем в Академе, будет непросто.

Есть у меня сегодня связи и с Россией: я активно сотрудничаю со Сколтехом в качестве «профессора-консультанта», проводя в Москве 2–3 месяца в году. Так что я уже одной ногой в России. Дабы переехать/вернуться совсем, нужна подходящая научная и околонуучная атмосфера (которая, к слову, в Сколтехе и на определенных островках в Академе, таких как Технопарк, уже как-то создается, нарастая заново с постперестроечных времен), а также вышеупомянутая «продуваемость», до которой, впрочем, еще очень далеко.

Что я могу сказать о шансах НГУ войти в ТОП-100 мировых университетов? В этом деле важен не столько результат, сколько участие. Конкретное место не существенно, все же понимают, что критерии очень субъективны, но вот над тем, чтобы у универа начали расти международные вес и имя, надо работать. Такая работа должна развиваться по многим фронтам, что, конечно же, потребует денег и других ресурсов. В частности, нужно привлекать современных специалистов по PR и маркетингу – Академу и универу есть что продавать, но это «нечто» надо еще

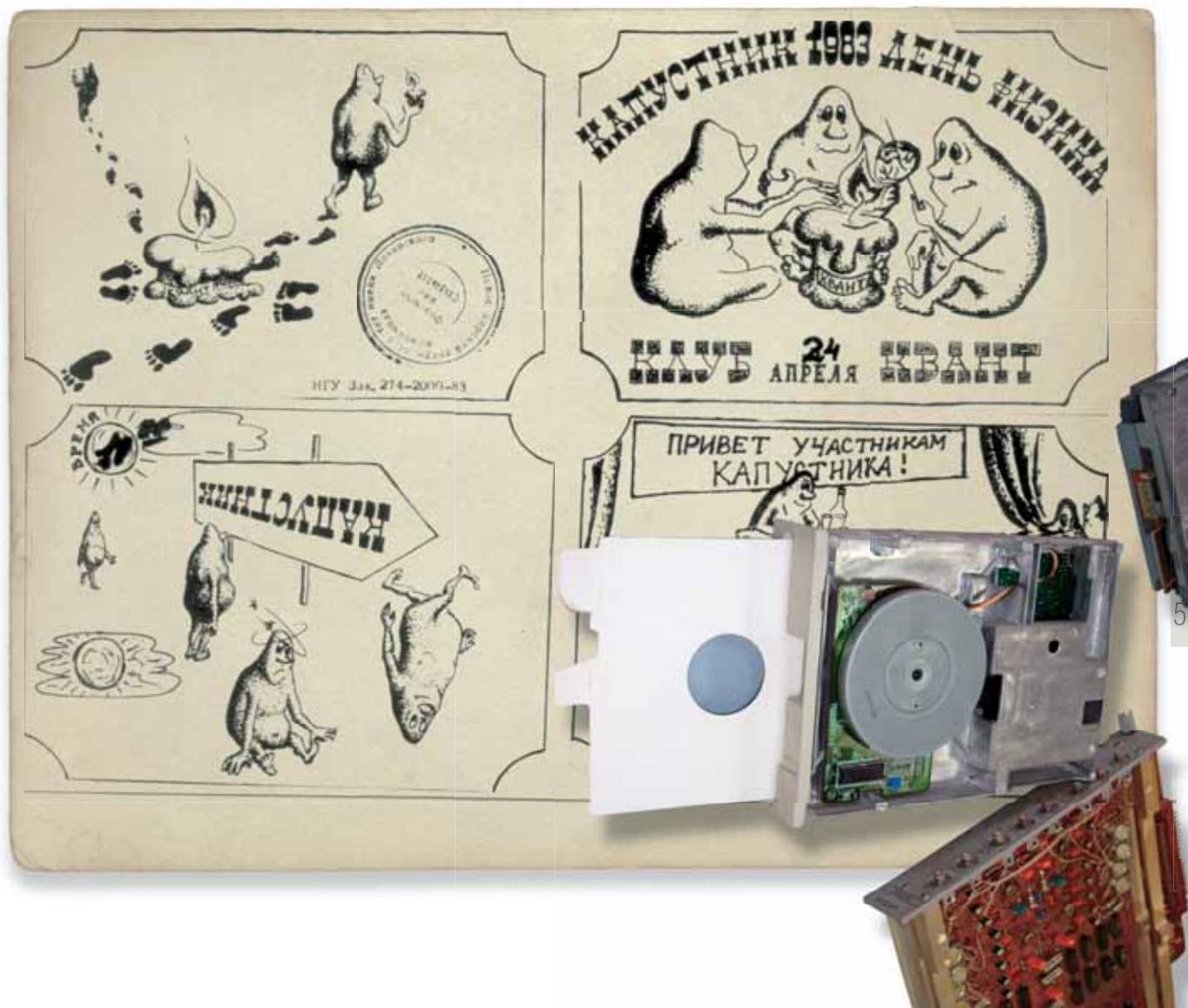
умело запаковать и показать. Привлечение к этой задаче бывших выпускников, преуспевших в соответствующем бизнесе как в России, так и за рубежом, представляется наиболее разумным.

Необычайно важно не фокусироваться лишь на перетасовке того, что в универе (и Академе в целом) и так уже есть, а прилагать специальные усилия для привоза нового, в частности, создавать специальные щедрые гранты для организации новых лабораторий молодыми учеными с международным опытом и именем, переезжающими/возвращающимися в Академ. Причем, я имею в виду гранты, не перекачивающие деньги в карман(ы), а дающие возможность покупать оборудование, нанимать аспирантов и постдоков, ездить по конференциям и приглашать для сотрудничества коллег со всего мира. Для ученых более маститых такая схема тоже может сработать в дополнение к созданию так называемых

«зеркальных» лабораторий, позволяющих плавно наращивать ресурсы НГУ в плотной координации с «основной» зарубежной лабораторией того же профессора/исследователя.

Особенно важным представляется мне импорт новых современных наук, не представленных в сегодняшнем НГУ. Из тех дисциплин, которые мне близки, речь, несомненно, идет о современной инженерной науке, как прикладной, так и теоретической. Про это я планирую в деталях написать в своем эссе.

Еще один важный момент: НГУ должен перейти в состояние поощрения и поддержки «режима продуктивности» в отношении мобильности молодежи, особенно студентов и аспирантов. От отправки лучших студентов и аспирантов за границу или в Москву – в тот же Сколтех, Физтех и т.д. – НГУ будет только выигрывать.



ФИЗИК–ТЕОРЕТИК–ИНЖЕНЕР, или АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ, СТАТИСТИЧЕСКАЯ и ИНЖЕНЕРНАЯ ФИЗИКА

Эти записки биографические – отражающие эволюцию моих интересов, занятий и взглядов на протяжении последних 25 с небольшим лет. Срок не велик, но и путь не совсем стандартен, потому может быть интересен другим, – так я рассуждал, взявшись за свое писание. В особенности надеюсь на интерес к этим запискам студентов и аспирантов, обучающихся либо изучающих точные науки – физиков и математиков, склонных к теоретизированию, но при этом не чуждающихся приложений и компьютеров. Я абсолютно уверен в том, что многих из этого и следующего поколений *исследователей* (по передавшейся от моих учителей привычке я буду избегать слова «ученый», ассоциируемого с ученым котом) ожидает похожая трансформация.

Действительно, роль инженерных наук растет вместе с открывающимися возможностями. Как мне сейчас представляется, область инженерно-компьютерных приложений для точных наук необъятна. Притом что плотность исследователей на единичную меру возможностей привлекательно мала, и не потому, что исследователей мало, а потому что возможностей много. При этом в классических (физических) науках наблюдается стагнация – переизбыток исследователей необычайно высокого уровня, толкущихся на одном пятачке (если это и преувеличение, то небольшое).

Мы вполне привыкли к тому, что образованный физик способен относительно легко сменить занятие, переквалифицировавшись в бизнесмена, программиста или инженера. Однако мы предполагаем, что речь при таких (обычно необратимых) преобразованиях

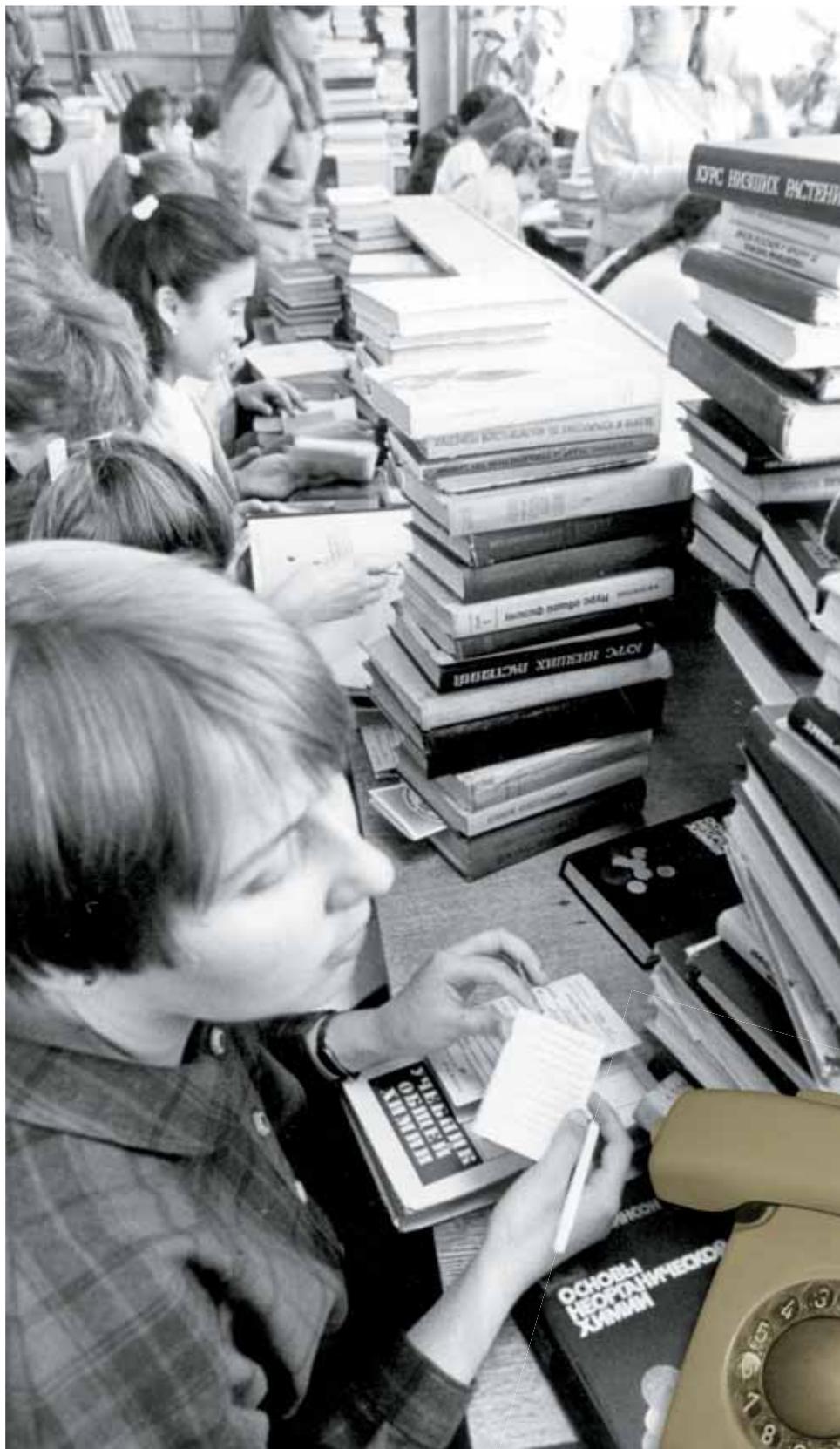


идет не о развитии физики как таковой, а, скорее, об эффективном применении натренированного навыка обучаться быстро. Заметим, что ситуация с математиками, погружающимися в инженерные науки (не во все, а в науки определенного сорта), может отличаться от вышеупомянутой кардинально. Возникли целые области, такие как теория информации, управление (контроль), теория вычислений, исследование операций, автоматическое (компьютерное) обучение и т. д., которые «прописаны» на инженерных факультетах, но при этом ведут эти темы математики по образованию, да и по сути занятий. Более того, развитие этих новых областей воспринимается математическим сообществом в целом как развитие инженерной, но математики.

Выдающиеся математики второй половины XX в., такие как Колмогоров, Тирринг, Фон-Нейман, Шаннон, Канторович, Бодэ и другие, своими теоретическими работами способствовали появлению прикладных направлений, расширяющих математическую/теоретическую инженерию.

Почему физики (почти) не участвовали в этом революционном «открытии» новых инженерных областей, остается для меня загадкой. Единственное (но не вполне удовлетворительное) объяснение этому я вижу в том, что физики были заняты своими революциями – квантовая механика, ядерные исследования, теория поля, сверхпроводимость, ускорители, фазовые переходы. Меж тем, теоретическая инженерия не просто развивалась, а набирала обороты параллельно с развитием компьютерных технологий, т.е. по закону Мура экспоненциально быстро. Конечно же, столь стремительное развитие компьютеров произошло из транзисторной (полупроводниковой, кремниевой), т.е. физической, революции, но эта транзисторная физика так быстро ушла в технологию, что физики про нее забыли. Меж тем, многие из широкого спектра задач в теоретической инженерии явно или неявно – намеками – выходили на схожие физические вопросы, постановки или аналогии. Хотя и с запозданием лет так на 20–30, но неминуемо физики стали интересоваться и вносить вклад в эти новые инженерные дисциплины. Ниже я приведу несколько субъективно личных, но, надеюсь, разъясняющих примеров.

О личном. Начинал я как теоретический физик, без ложной скромности замечу – неплохо обученный по канонам школы Л.Д. Ландау, но при этом перенявший типичную для этой области и школы манеру смотреть чуть свысока на другие занятия. Но мне повезло с неортодоксальными учителями, соавторами,





коллегами, студентами, постдоками, а также обстановкой и возможностями, которые меня окружали последовательно в Академе, Вейцмане, Принстоне и Лос-Аламосе. Все это в комбинации трансформировало меня в довольно странного исследователя-оппортуниста, который по утрам может думать о квантовых спинах, в обед обсуждать, синхронизуема ли конкретная электрическая сеть, а закончить день в размышлениях о распределенном алгоритме для оптимального разбиения на пары (*matching*).

Эволюцию моих (научных) занятий и интересов можно условно разделить на пять этапов, описание которых, собственно, и составляет суть этих записок. Разделение на этапы я провожу по времени и месту, где соответствующий интерес зародился и развился в занятие. Первый этап, стартовавший в Академе на последних курсах НГУ, проходил внутри традиционной физики. Этап этот в основном был обучающим (под чутким руководством Александра Паташинского) и формирующим мою физическую базу и кругозор. Я продвигался от классической гидродинамики и фазовых переходов к статистической и квантовой физике спиновых и электронных систем (последнее – во взаимодействии с Игорем Колоколовым и с уже, к сожалению, ушедшим Виктором Белиничером).

Второй этап, еще вполне физический, начавшийся во время Вейцмановской аспирантуры, закрепленный Принстоновским постдокством и продолженный в Лос-Аламосе, заключался в погружении в теорию турбулентности. Основной вехой этого периода стало построение в соавторстве с Гришей Фальковичем, Игорем Колоколовым и Володей Лебедевым теории аномального скайлинга пассивного скаляра (детали этого героического периода, отлично описанные в Гришиных записках, опускаю). Из этого периода также «растут ноги» моих переходящих (из периода в период) занятий инстантонами (изучением редких событий в контексте разнообразных приложений), а также прикладной и теоретической неравновесной статистической физикой.

Третий этап был инициирован «случайными» разговорами с Ильдаром Габитовым (тогда моим лос-аламосским коллегой, теперь профессором U. of Arizona, Tucson) об изучении эффектов шума и беспорядка на передачу информации в оптических волокнах. Мои «турбулентные» коллеги, Володя Л. и Игорь К., регулярно посещавшие меня в тот период в Лос-Аламосе, а также Володя Черняк, за которого мы «зацепились языками» во время одного из его первых (вскоре ставших регулярными) визитов, поддержали «разговор», быстро переросший в полноценное занятие для всей компании. Мы были мотивированы «социальным запросом» на качественную теорию со стороны экспериментаторов из Bell Labs (Молленауэра и Мамышева). Наша теория описывала, как последовательность импульсов, кодирующая информацию, распространяется по волокну, при этом рассеиваясь на флуктуациях и неоднородностях, встречающихся на пути. Статистическое описание явлений рассеяния как паразитных, приводящих к перекрытию импульсов, их дрейфу и деградации, было существенно для разработки и тестирования новых, менее шумящих волокон. К сожалению, волоконно-оптическому бизнесу, оплачивающему эти исследования, срок уже был определен – грянул *dot-com bubble* 2001 г. (из которого эта прикладная наука если и начала выбираться, то только сейчас). И, как предвестник проблемы, интерес коллег-экспериментаторов (и бизнеса, их финансирующего) к теории сошел на нет в одночасье. Благодаря ими «открытой» возможности передавать информацию с меньшими потерями с помощью науки и технологии коррекции ошибок, позаимствованной из других (более медленных и шумящих) коммуникационных приложений. Наука о коррекции ошибок мне тогда была незнакома. Разработанная в рамках

этой науки схема обещала немедленное разрешение проблемы – дорогие новые волокна не нужны, так как можно обойтись существующими (дешевыми либо уже зарытыми в землю). Эти события спровоцировали мой интерес к «чудесной» теории коррекции ошибок.

Мое знакомство, а потом увлечение (через науку о коррекции ошибок) вышеупомянутой теоретической инженерией определило следующий, четвертый, этап моей карьеры. Для начала выяснилось, что небольшое количество высококлассных физиков-теоретиков, специалистов в спиновых стеклах уже проявили себя в этой области. Да так, что термин «статистическая физика» в одночасье (где-то в 2001–2004 гг.) стал чрезвычайно популярным. Оказалось, что физическая теория, развитая за (примерно) 20 предшествующих лет Джоржио Паризи, его учениками и последователями (в основном из Италии и Франции) для описания неупорядоченных материалов (стекло), гораздо лучше описывает поведение так называемых низкоплотностных (или разреженных) кодов. Такие коды разумно рассматривать не по одиночке, а в группах (ансамблях), разбитых по признаку графических свойств-соотношений между битами информации и связями, выражающими суть кодирования. То есть защиты информации от неконтролируемого шума и деградации посредством искусственно введенной (закодированной) повторяемости. Усреднение по многообразию кодов внутри ансамбля, игнорирующее петли в графическом представлении кодов, а также изучающее асимптотически большие коды (в так называемом термодинамическом пределе), позволило физикам описать разницу между хорошими и плохими кодами как переход между фазами: похоже на то, как различаются газовая, жидкая и твердая фазы в классической физике. Заметим, что существование таких фазовых переходов было теоретически предсказано Шенноном, основателем теории информации, аж в 1948 г., но не конструктивно. Тогда как современная теория низкоплотностных кодов, обогащенная физическими оценками и интуицией, позволила построить коды, реализующие ранние предсказания Шеннона с большой вероятностью (превращающуюся в термодинамическом пределе в стопроцентную).

Заложив в основу наших исследований методов коррекций ошибок творческое использование аналогий с методами и подходами современной статистической физики, мы последовали по пути физиков из школы Паризи. Однако наш подход был иной – алгоритмический, предполагающий работу с конкретными кодами (а не ансамблями), на конечных графах – с петлями (а не в термодинамическом пределе, когда эффект петель становится асимптотически несуществен). В сотрудничестве с Мишей Степановым (тоже выпускником НГУ, в тот момент моим постдоком, а в настоящее время профессором U. of Arizona, Tucson) мы разра-

ботали инстантонную методику, позволяющую найти конфигурацию петель в графическом представлении данного кода, которая приводит при декодировании, игнорирующем петли, к наиболее вероятной ошибке. Эти достаточно специальные (в применении к теории коррекции ошибок) результаты заставили нас задуматься над более широким классом статистических задач, определенных на конечных графах и заключающихся в систематическом учете эффекта петлевых поправок.

Ответом на вызов стала теория «петлевых вычислений». Эта работа, сделанная в 2006 г. в соавторстве с Володей Ч., вывела меня на новую орбиту понимания связей между разнообразными областями теоретической инженерии, доселе мне не известными. Наши результаты, исходно мотивированные теорией информации (или еще более точно ее подразделом – наукой о коррекции ошибок), оказались применимы к сложным задачам комбинаторной оптимизации, задачам восстановления статистических моделей (*statistical inference*), построению моделей теории компьютерного обучения (*machine learning*). И в целом – к задачам из дисциплин, где вероятностные либо логические соотношения или запреты выражены в виде графа (как говорится, заданы в виде графической модели). Более того, я с удивлением обнаружил, что наш, мотивированный физикой, метод петель (как и вышеупомянутый фазово-переходный подход) объединяет эти молодые, но уже стремительно разбегающиеся по своим углам науки.

Отягощенный новыми знаниями теоретической инженерии, я задумался о нахождении для них практических приложений – инженерных или физических. Глава про последние (в том числе нацеленная на дизайн новых материалов), с предварительным названием *Back to the future physics*, еще не написана, в то время как приложениями теоретической инженерии и физики к современным энергетическим системам я занимаюсь последние шесть лет. И вот про этот, пятый, текущий, этап моей деятельности следующая мини-история. Однако начну я ее немного издалека – с рассказа о том, как сам факт пребывания в Лос-Аламосе стимулировал (очередной) поворот в моих исследованиях.

Дело в том, что свобода выбора занятий в моей организации, Лос-аламосской национальной лаборатории (*Los Alamos National Laboratory – LANL*), обретается не автоматически, а через нахождение финансирования. По-английски эта система называется *soft money model*. Либо ты, как *staff member* (постоянный сотрудник, по статусу примерно соответствующий профессору университета), сам себя обеспечиваешь грантами внутренними или внешними, либо начальники тебе сами находят занятие в больших (многомиллионных), стабильно финансируемых проектах, в которых ты подчинен идеям и воле других. Мне повезло: я попал в ситуацию необходимости поиска финансирования не

сразу, а где-то году в 2002-м, по истечении *Oppenheimer fellowship*, который позволил мне пребывать в состоянии вольного художника первые три года в LANL. С тех пор я свою команду, обычно включающую 2–4 постдока и 5–6 студентов, аспирантов или мастерантов, приезжающих в Лос-Аламос на летние месяцы, финансировал сам. Достичь этого мне помогла замечательная система, сложившаяся в LANL благодаря, во-первых, существованию Center for NonLinear Studies (CNLS), который в лице директора Боба Экке софинансировал многих моих постдоков, студентов и многочисленных визитеров, и, во-вторых, – благодаря существованию жесткой, но честной системы распределения 6% общего бюджета LANL на новые (*exploratory*) исследования. Системе соревновательно демократичной, в которой решения принимаются в основном комитетами исследователей, а не только менеджерами. Интересная особенность этой системы распределения средств заключается в том, что, во-первых, один раз получив внутреннее финансирование на некую тему, второй раз войти в ту же реку не получится. Предполагается, что финансирование определенных исследований, обычно выделяемое на три года, должно помочь в создании задела для нахождения средств извне – через федеральные, международные или частные механизмы и организации. Вторая особенность LDRD-системы состоит в том, что получить большой грант на свежую идею проще (в плане затрат времени на грантописание), однако это требует формирования разношерстной команды, привлекающей исследователей из разных подразделений LANL – экспертов в разных областях.

Первый большой LDRD-грант (5 млн долларов на три года) я получил на «физику алгоритмов». Примерно за год до завершения этого финансирования возникла идея попробовать организовать новую команду на что-то прикладное, если и имеющее отношение к предшествующей теме, то не прямое. Поразмывав о возможных, интересных как для меня, так и (в проекции на будущее) для LANL, я остановился на тематике электрических сетей. Исходный ход мысли был примерно такой: электричество – это про физику (поверхность для меня твердая), ток протекает через систему флуктуируя, а значит, неравновесно-стат-физические постановки ждут своего исследователя. И, наконец, речь идет о статистических задачах, поставленных на больших разветвленных и закольцованных графах (магистральных сетей – распределительные сети обычно оперируют в древесном/беспетлевом режиме), что казалось близким к тому, чем я занимался предшествующие пять лет. Решение сфокусироваться на этой теме (тогда еще совсем не популярной: неоднозначный термин *smart grids*, типично заменяемый в России на «активно-адаптивные сети», в тот момент еще не набрал обороты) возникло достаточно быстро, однако серьез-

ные усилия требовали создания серьезной команды. Выяснилось, что тогда мне еще неизвестный Скотт Баххаус (теплофизик-экспериментатор, изучавший энергетику в бакалавриате) двигается примерно в том же, хотя и гораздо более практическом, направлении. Боб Экке нас познакомил, и команда, также пополнившаяся Расселом Бентом (экспертом в практической оптимизации и компьютерных науках) написала, подала и выиграла грант, который мы назвали «Оптимизация, управление и контроль электрических систем». Последующие три года мы изучали электрические сети, знакомились друг с другом, а также с исследователями-энергетиками и другими экспертами, полезными для проекта (обычно приглашая их на еженедельные семинары в Лос-Аламосе), и, конечно же, писали многочисленные статьи по теме. К концу третьего года мы подошли уже вполне известными исследователями, как для традиционных энергетиков-исследователей, так и для вновь нарождающегося сообщества экспертов из теоретической инженерии, выбравшими (как и мы) современные электрические системы в качестве объекта прикладных исследований. Многие ведущие специалисты из этих областей стали направлять к нам на практику своих лучших аспирантов, что в особо успешных случаях перерастало в долгосрочное и, несомненно, взаимно обогащающее сотрудничество. Как результат – наши усилия были замечены, и DOE (министерство энергетики США), увидев в нас лидеров нового и стратегически важного исследовательско-прикладного направления, поставило нашу команду на прямое (*programmatic*) и долгосрочное финансирование.

На этой мажорной ноте можно было бы и закончить повествование. Но кажется уместным дополнить сии записки, нацеленные в основном на молодых исследователей – мастерантов и аспирантов (повторяюсь, потому как считаю эту оговорку важной), краткими соображениями о том, каким новым теор-инженерным дисциплинам стоит обучать студента-мастеранта, физика или математика (по бакалавриату), интересующего новыми инженерными приложениями (например, современными энергетическими системами). Обучение таким дисциплинам также будет полезно мастеранту-физику, желающему понять и изучить, а что же физика (и другие естественные науки) может почерпнуть из теор-инженерных наук, например, для более современной работы с данными, для разработки более быстрых и эффективных вычислительных алгоритмов, для создания новых обратных методов, позволяющих разработать материалы, обладающие желанными свойствами, и т. д. В силу всего вышесказанного мне представляется важным включить в соответствующие учебные программы следующие четыре курса, рассматриваемые по отдельности либо, в случае необходимости, сжатые в один или два агрегированных курса: «Теория оптими-

зации и приложения» (*optimization*), «Теория управления (контроля) и приложения» (*control*), «Теория и приложения алгоритмов и вычислений» (*computer science*), «Методы автоматических (машинных) вычислений» (*machine learning*). Замечу, что такие курсы, хотя еще и не адаптированные для физиков и инженеров, а нацеленные на мастерантов информационных наук, уже читаются в Сколтехе. С другой стороны, мастерантам традиционных (не теоретических) инженерных специальностей (скажем, энергетикам) кажется естественным ознакомиться с теор-инженерными методами через более мягкий – физический – подход (меньше теорем, больше оценок), предлагаемый, например, в курсе «Статистическая физика в приложениях к инженерным системам», который я планирую подготовить и прочитать в Сколтехе в следующем году.

Вместо заключения – комментарии. Во-первых, хотел бы пояснить, что я решил не прерывать повествование ссылками, а вместо этого переадресовать интересующегося читателя к моему сайту (<https://sites.google.com/site/mchertkov>), содержащему полную (обновляемую раз в несколько месяцев) библиографию моих публикаций, слайды большинства презентаций и (опосредовано) работы других авторов, упоминавшихся выше. Во-вторых, ссылки на Сколтех (www.skolkovotech.ru), в части, касающейся современного инженерного образования, не случайны – я активно вовлечен в этот новый российский образовательный проект в качестве профессора-консультанта (*founding faculty fellow*), в том числе выполняющего функцию директора-координатора образовательных программ энергетического сектора.

